



Dr inż. Tomasz Hardy

Maszynoznawstwo energetyczne

Sierpień 2010r.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



Politechnika Wroclawska

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



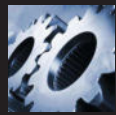
Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego



Tematy kolejnych wykładów

1. Człowiek a energia
2. Wybrane zagadnienia energetyki ciepłej
3. Zasoby i rezerwy energetyczne, paliwa
4. Konwersja i magazynowanie energii
5. Siłownie i niektóre urządzenia pomocnicze elektrowni
6. Kotły parowe
7. Turbiny parowe
8. Turbiny gazowe i układy kombinowane
9. Spalinowe silniki tłokowe
10. Sprężarki i wentylatory
11. Pompy, urządzenia chłodnicze
12. Elektrownie jądrowe
13. Energetyka niekonwencjonalna
14. Urządzenia do oczyszczania spalin
15. Ogrzewanie i wentylacja

2



Wykaz literatury

Literatura podstawowa

Z. Gnutek, W. Kordylewski: Maszynoznawstwo energetyczne, Oficyna Wyd. PWR, Wrocław, 2003.
 Z. Gnutek, W. Kordylewski: Maszynoznawstwo energetyczne, Oficyna Wyd. PWR, Wrocław, 1994.

Literatura uzupełniająca

W. Biały: Maszynoznawstwo, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2004.

D.Laudyn, M.Pawlik, F.Strzelczyk: Elektrownie, WNT, Warszawa, 1997, 2010.

W.R.Gundlach: Podstawy maszyn przepływowych i ich systemów energetycznych, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2007.

R. Szafran: Podstawy Procesów Energetycznych, Oficyna Wyd. PWR., Wrocław, 1997.

Polecane są także inne dostępne publikacje obejmujące treść poszczególnych wykładów, a przeznaczone dla studentów kierunków: energetyka oraz mechanika i budowa maszyn wyższych uczelni technicznych.



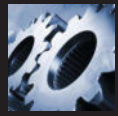
3



Człowiek a energia

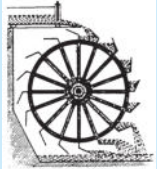
Rozwój maszyn i urządzeń oraz związane z nim formy przetwarzania energii:

siła fizyczna i umysłowa człowieka:	opanowanie ognia – 150–80 tys. lat p.n.e., żarna – 5500–4250 p.n.e., odlewnictwo – 4250–3750 p.n.e., żagiel – 3750–3250 p.n.e., młyn wiatrowy europejski – w Europie w X w. n.e.,
woda:	koło czerpakowe – 3250–2750 p.n.e., pompa tłocząca – 150 p.n.e., młyn wodny – 80 n.e., turbina wodna – 1827 n.e.,
zwierzęta:	wykorzystanie siły zwierząt – 3750–3250 p.n.e.,
wytop metali:	miedź, srebro, ołów – 4250–3750 p.n.e., żelazo – 1400 p.n.e.,
energia cieplna:	maszyna parowa Newcomena – 1712, maszyna parowa Watta – ze skraplaczem – 1769, turbina parowa Parsonsa – 1884,
energia chemiczna:	silnik spalinowy Otto z zapłonem iskrowym – 1876, silnik spalinowy Diesla z zapłonem samoczynnym – 1892, turbina gazowa – 1939, silnik turbodoładowy Von Ohaina – 1939, ogniwo paliwowe – 1959,
energia elektryczna:	silnik elektryczny Faradaya – 1825, prądnicą elektryczną Faradaya – 1931,
energia słoneczna:	Archimedes zapalił okręty promieniowaniem słonecznym skupionym lustrami – 200 lat p.n.e., silnik parowy z kolektorem słonecznym Schumana – 1913,
energia jądrowa:	reaktor Fermiego (USA) – 1942, elektrownia jądrowa w Obrnsku (ZSRR) – 1955.

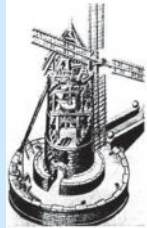


Człowiek a energia

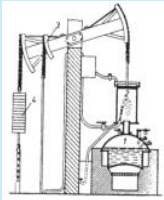
Rys historyczny



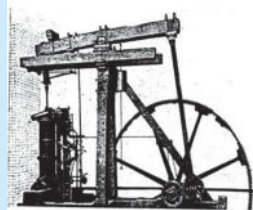
Koło wodne nasiębierne



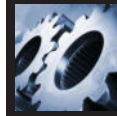
Wiatrak wieżyczkowy



Maszyna parowa Newcomena: 1 – kocioł, 2 – cylinder, 3 – dźwignia, 4 – przeciwwaga

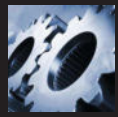
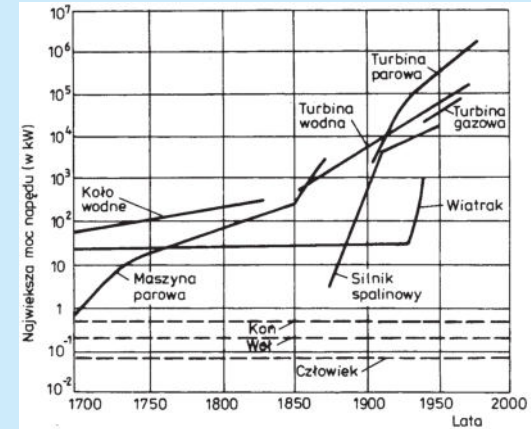


Maszyna parowa Watta z układem korbowym



Człowiek a energia

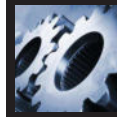
Wzrost mocy urządzeń napędowych w ostatnich stuleciach



Człowiek a energia

Korzystanie przez człowieka z różnych nośników energii zależało od możliwości technicznych, które zdołał stworzyć, dlatego poszczególne formy energii pojawiły się w użyciu w odpowiednim czasie:

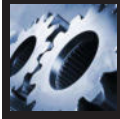
drewno – od opanowania ognia,
 praca zwierząt – około 4 tys. lat p.n.e.,
 energia wody i wiatru – 5–3 tys. lat p.n.e.,
 węgiel – w Europie w 1113 r.,
 ropa naftowa – 1853 r. (Łukasiewicz),
 gaz (oświetlenie) – 1792 r. (Murdock),
 energia elektryczna – 1831 r. (Faraday),
 energia geotermalna – 1946 r.,
 energia jądrowa – 1955 r. (pierwszy reaktor).



Człowiek a energia

Porównanie wskaźnika zużycia energii pierwotnej oraz energochłonności gospodarek wybranych krajów w 1989r.

Wielkość	Kraj				
	Polska	Austria	Francja	Niemcy	USA
Dzienne zużycie energii pierwotnej na mieszkańca, MJ	380	370	460	520	930
Energochłonność krajowego produktu brutto, t p.u./10 ³ USD	1,07	0,36	0,42	0,46	0,6

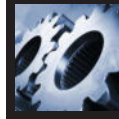


Wybrane zagadnienia energetyki cieplnej

Energetyka zajmuje się przetwarzaniem **energii pierwotnej**, zawartej w różnych nośnikach energii, na formy energii bezpośrednio przydatne użytkownikowi, jak energia elektryczna lub cieplna.

Maszynoznawstwo jest dziedziną wiedzy technicznej zajmującą się maszynami i ich elementami, obejmującą zasady budowy i działania maszyn.

Maszynoznawstwo energetyczne dotyczy obszernego działu maszyn i urządzeń, które mają zastosowanie w energetyce i w pokrewnych dziedzinach, gdzie występują procesy *przetwarzania* energii.



Wybrane zagadnienia energetyki cieplnej

Maszyna - obiekt, w którym przemiana energii wiąże się z ruchem obiektu lub jego części.

Urządzenie - obiekt, którego elementy podczas pracy się nie poruszają.

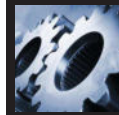


Wybrane zagadnienia energetyki cieplnej

Nośniki energii dzieli się na:

- **nośniki energii pierwotnej** – paliwa kopalne (węgiel, ropa naftowa i gaz ziemny), biomasa oraz paliwa jądrowe,
- **nośniki energii wtórnej** – prąd elektryczny, para wodna, gorąca woda, sprężone powietrze.

Nośniki energii pierwotnej zwykle się też nazywało surowcami energetycznymi, nośniki energii wtórnej są tylko środkami do przenoszenia energii.



Wybrane zagadnienia energetyki cieplnej

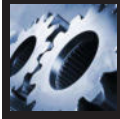
Energia całkowita układu jest sumą energii w różnej postaci.

Najważniejsze **składniki energii ciała** są następujące:

- energia kinetyczna ruchu postępowego i obrotowego ciała,
- energia potencjalna ciała,
- energia wewnętrzna ciała.

W energetyce największe znaczenie ma **energia wewnętrzna ciała**; jej składniki są następujące:

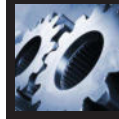
- energia ruchu postępowego i obrotowego cząsteczek,
- energia ruchu drgającego atomów w cząsteczce,
- energia potencjalna w polu wzajemnego przyciągania się drobin,
- energia chemiczna (związana z możliwością przebudowy ciała),
- energia stanów elektronowych,
- energia jądrowa.



Wybrane zagadnienia energetyki cieplnej

Energię do układu można doprowadzić lub odprowadzić za pomocą:

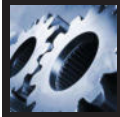
- pracy mechanicznej (maszyny tłokowe, wirnikowe),
- ciepła (przez przewodzenie, promieniowanie lub konwekcję),
- prądu elektrycznego (silniki, generatory elektryczne, grzejniki elektryczne),
- strugi czynnika.



Wybrane zagadnienia energetyki cieplnej

Ze względu na łatwość wykorzystania energii wyróżnia się:

- energię pierwotną** – energia pod jakąkolwiek postacią, która nie podlega konwersji, ani transformacji (na przykład paliwa kopalne),
- energię wtórną** – energia pod jakąkolwiek postacią, pochodząca z przetworzenia energii pierwotnej lub z innej energii wtórnej,
- energię bezpośrednią** – energia pod jakąkolwiek postacią, pierwotna lub wtórna, dostarczona do odbiorcy w postaci właściwej dla jego odbiorców,
- energię użyteczną** – energia pod jakąkolwiek postacią, która odebrana, po przetworzeniu energii bezpośredniej, zostaje wykorzystana do właściwych zastosowań.



Wybrane zagadnienia energetyki cieplnej

Podstawową jednostką ilości ciepła, pracy i energii (równą pracy wykonanej przez siłę 1 N, w kierunku jej działania, na drodze długości 1 m) jest **dżul**

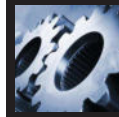
$$\begin{aligned} 1 \text{ J} &= 1 \text{ N}\cdot\text{m} && (\text{kJ}, \text{MJ}) \\ 1 \text{ cal} &\approx 4,187 \text{ J} && (\text{kcal}) \\ 1 \text{ Btu} &\approx 1055 \text{ J} \approx 1,055 \text{ kJ} && (\text{British thermal unit}) \end{aligned}$$

W układzie SI podstawową jednostką mocy, czyli energii wytwarzanej lub zużywanej w ciągu jednostki czasu, jest **wat**

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} \quad (\text{kW}, \text{MW}, \text{GW})$$

Jednostką mocy do dziś stosowaną w motoryzacji jest **koń mechaniczny**

$$1 \text{ KM} = 735,5 \text{ W} = 0,7355 \text{ kW}.$$



Wybrane zagadnienia energetyki cieplnej

Do określenia zasobów energetycznych używa się odpowiednich jednostek.

Za paliwo wzorcowe przyjmuje się wysokokaloryczny węgiel kamienny o wartości opałowej 7000 kcal/kg – tpu (*tona paliwa umownego*) lub tce (*ton of coal equivalent*)

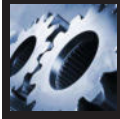
$$1 \text{ tpu} = 1 \text{ tce} = 7 \text{ Gcal} \approx 29,3 \text{ GJ}$$

lub ropę naftową o wartości opałowej 42 MJ/kg – toe (*ton of oil equivalent*)

$$1 \text{ toe} \approx 42 \text{ GJ}$$

Zasoby energetyczne w skali gospodarki krajowej lub światowej bilansuje się w znacznie większych jednostkach, np.

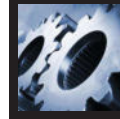
$$1 \text{ TW}\cdot\text{a} = 1 \text{ TW}\cdot\text{h} = 31,54 \cdot 10^{18} \text{ J}.$$



Wybrane zagadnienia energetyki cieplnej

Przedrostki oznaczające dziesiątne wielokrotności podstawowych jednostek miar

Mnożnik	Przedrostek	Oznaczenie
10^{18}	eksa	E
10^{15}	peta	P
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	kilo	k
10^2	hekto	h
10^1	deka	da
1	–	–
10^{-1}	decy	d
10^{-2}	centy	c
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	mikro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	piko	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	A

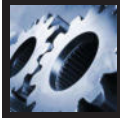


Wybrane zagadnienia energetyki cieplnej

W zapotrzebowaniu krajowym na energię pierwotną najważniejsza jest **energia cieplna**, głównie do ogrzewania i klimatyzacji pomieszczeń oraz na potrzeby technologiczne, które stanowią ponad 70% całości zapotrzebowania. Energia elektryczna jest także wytwarzana z użyciem energii cieplnej.

Dział techniki i nauki zajmujący się problemami racjonalnego pozyskiwania, przetwarzania, przesyłania i użytkowania energii nosi nazwę **gospodarki energetycznej**.

Gospodarka cieplna jest jej obszerną częścią, do której zadań należy przemiana energii zawartej w nośnikach energii pierwotnej (paliwach) w energię cieplną, zawartą w gorącej wodzie lub w parze.

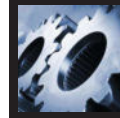


Wybrane zagadnienia energetyki cieplnej

W zapotrzebowaniu krajowym na energię pierwotną najważniejsza jest **energia cieplna**, głównie do ogrzewania i klimatyzacji pomieszczeń oraz na potrzeby technologiczne, które stanowią ponad 70% całości zapotrzebowania. Energia elektryczna jest także wytwarzana z użyciem energii cieplnej.

Dział techniki i nauki zajmujący się problemami racjonalnego pozyskiwania, przetwarzania, przesyłania i użytkowania energii nosi nazwę **gospodarki energetycznej**.

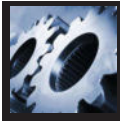
Gospodarka cieplna jest jej obszerną częścią, do której zadań należy przemiana energii zawartej w nośnikach energii pierwotnej (paliwach) w energię cieplną, zawartą w gorącej wodzie lub w parze.



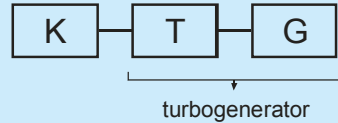
Wybrane zagadnienia energetyki cieplnej

Najważniejsze **zakłady energetyczne**, (w których dokonuje się przemiana energii pierwotnej w inne formy energii użytecznej), są następujące:

- **ciepłownie** lub **kotłownie** dostarczające energii cieplnej zawartej w gorącej wodzie o temperaturze od 373 do 500 K lub parze wodnej o ciśnieniu od 0,6 do 2,0 MPa i temperaturze 700 K,
- **siłownie**, dostarczające za pośrednictwem energii cieplnej energii mechanicznej; w zależności od nośnika energii pierwotnej wyróżnia się ciepłe siłownie parowe, spalinowe i jądrowe,
- **elektrownie**, wytwarzające energię elektryczną,
- **elektrociepłownie**, wytwarzające jednocześnie, w skojarzonym procesie przemian energetycznych, energię elektryczną i cieplną.



Wybrane zagadnienia energetyki cieplnej

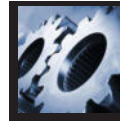


Schemat energetycznego bloku parowego:
K – kocioł parowy, T – turbina parowa, G – generator

Podstawowymi urządzeniami ciepłowni, elektrociepłowni i elektrowni są **kotły** (generatory pary). Dokonuje się w nich przemiana energii chemicznej zawartej w paliwie na energię cieplną spalin, a następnie na energię cieplną pary wodnej.

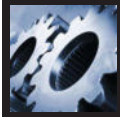
Energia cieplna pary wodnej zostaje zamieniona na energię mechaniczną przez podstawową maszynę energetyczną – **turbinę parową**.

Energię elektryczną uzyskuje się przez przemianę energii mechanicznej w **generatorze elektrycznym** (w prądnicie synchronicznej).

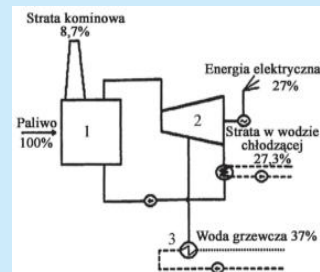
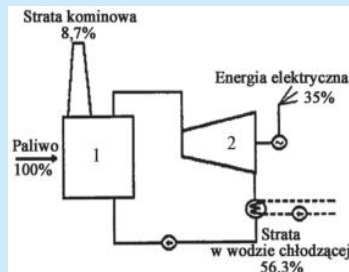


Wybrane zagadnienia energetyki cieplnej

Jednoczesne wytwarzanie energii elektrycznej i cieplnej (czyli wykorzystanie części strumienia pary z turbiny do podgrzewania wody w systemie ciepłowniczym) nazywa się **gospodarką skojarzoną** lub **kogeneracją**.



Wybrane zagadnienia energetyki cieplnej



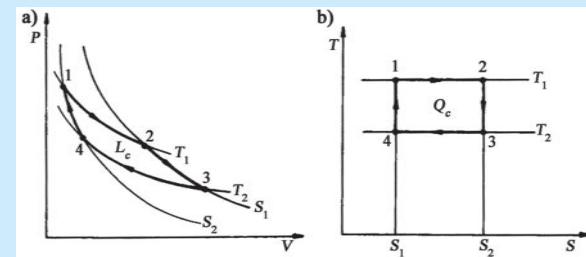
Schemat ciepłowni energetycznego:

- a) w układzie kondensacyjnym, b) w układzie skojarzonym;
1 – kocioł, 2 – turbina, 3 – wymiennik ciepłowniczy

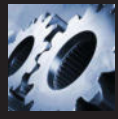


Wybrane zagadnienia energetyki cieplnej

W analizie działania maszyn i urządzeń cieplnych ważną rolę odgrywa pojęcie **obiegu termodynamicznego**, które oznacza zespół przemian, w których stan końcowy czynnika termodynamicznego pokrywa się ze stanem początkowym



Obiegi Carnota w układzie: a) pracy (P, V), b) ciepła (T, S)



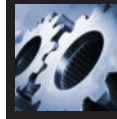
Wybrane zagadnienia energetyki cieplnej

Sprawność energetyczna obiegu silnika cieplnego jest to stosunek wykonanej pracy do ciepła dostarczonego; dla obiegu Carnota otrzymuje się

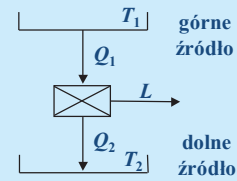
$$\eta = \frac{L_c}{Q_1}$$

Wartość pracy uzyskiwanej z silnika wynika z różnicy ciepła pobieranego z górnego źródła Q_1 i oddanego do dolnego źródła Q_2

$$Q_1 - Q_2 = Q_c = L_c$$



Wybrane zagadnienia energetyki cieplnej



Schemat działania silnika Carnota

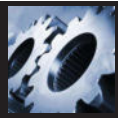
$$\eta = \frac{L_c}{Q_1}$$

$$Q_1 - Q_2 = Q_c = L_c$$

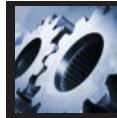
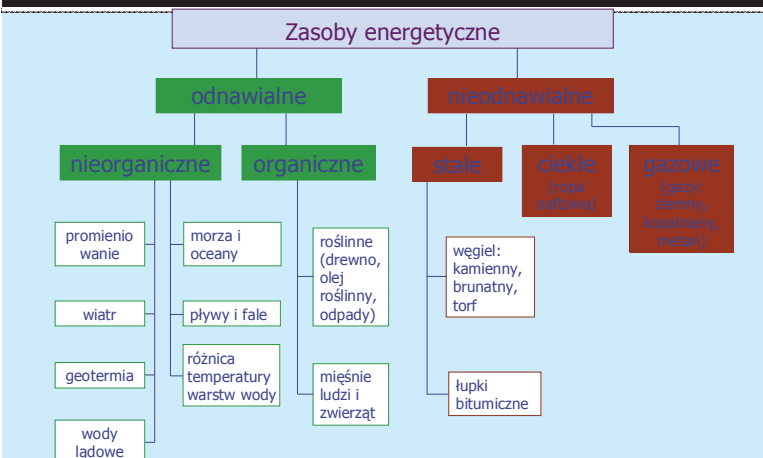
$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

$$\eta = \frac{T_1(S_2 - S_1) - T_2(S_2 - S_1)}{T_1(S_2 - S_1)} = \frac{(S_2 - S_1)(T_1 - T_2)}{(S_2 - S_1)T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Wyrażenie to wskazuje, że obieg Carnota będzie tym sprawniejszy, im wyższa będzie temperatura T_1 doprowadzonego ciepła i im niższa temperatura T_2 ciepła odprowadzanego.



Zasoby energetyczne

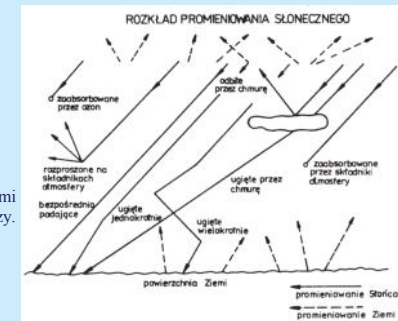


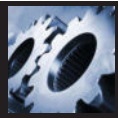
Zasoby energetyczne

Głównym dostawcą energii na Ziemię jest Słońce, dostarczające do powierzchni Ziemi strumień energii rzędu $173 \cdot 10^{15}$ W (gęstość mocy wynosi $1,395 \text{ kW/m}^2$).

Okolo 30% energii słonecznej jest odbijane jako promieniowanie krótkofalowe, 47% pochłania atmosfera i powierzchnia Ziemi. Okolo 32% energii słonecznej zużywane jest na parowanie, konwekcję i opady w cyklu hydrologicznym.

Tylko 0,23% energii słonecznej docierającej do Ziemi jest pochłaniane przez rośliny w procesie fotosyntezy.



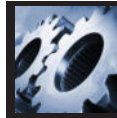


Zasoby energetyczne

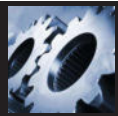
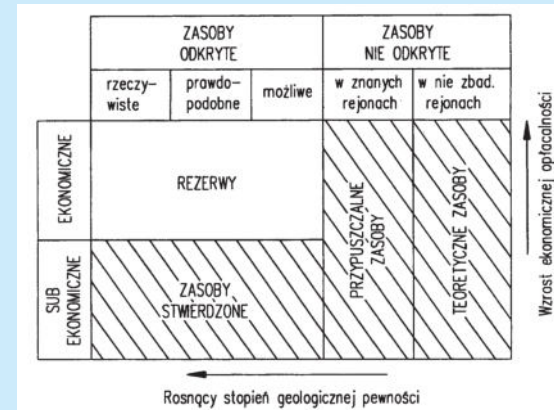
Zasoby energetyczne ocenia się, zależnie od stopnia wiarygodności ich rozpoznania – *ekonomiczny* i *subekonomiczny*, i oznaczają odpowiednio opłacalne i nieopłacalne do wydobycia, w istniejących warunkach rynkowych.

Należy zwłaszcza wyróżnić dwa pojęcia:

- zasoby *prawdopodobne* (lub krótko – *zasoby*); całkowita ilość surowca, rozpoznana do ustalonej głębokości w skorupie ziemskiej, bez względu na ich przydatność do eksploatacji,
- zasoby *pewne* (lub krócej *rezerwy*); ta ilość zasobów, która według uzasadnionej oceny może nadawać się do eksploatacji (do pozyskania) środkami będącymi racjonalną ekstrapolacją dzisiejszych technologii wydobycia i kosztach, które można w przyszłości uznać za dopuszczalne.



Zasoby energetyczne



Zasoby energetyczne

Rezerwy i zasoby energii pierwotnej w Polsce i w Świecie w EJ

Nośnik energii pierwotnej	Polska		Świat	
	Rezerwy	Zasoby	Rezerwy	Zasoby
Węgiel kamienny	755	4 440	19 600	224 000
Węgiel brunatny	87	250	2 800	16 000
Ropa naftowa	0,1	10	6 300	15 000
Gaz ziemny	4,2	25	4 700	11 00
Energia wodna	9,4	11,2	5 600	12 600
Uran	-	-	5 600	32 000



Zasoby energetyczne

Struktura zapotrzebowania na energię bezpośrednią w Polsce w 1995 r.

Dział gospodarki	Udział, %
Przemysł	32,7
Budownictwo	1,2
Rolnictwo	7,7
Transport	5,6
Sektor bytowo-komunalny	52,8



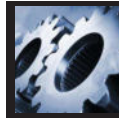
Zasoby energetyczne

Oceniając przydatność danego typu zasobów energetycznych należy brać pod uwagę ich *potencjał techniczny*, czyli ten który da się wykorzystać na obecnym lub dającym się przewidzieć poziomie techniki.

Potencjał techniczny wszystkich odnawialnych źródeł energii Ziemi ocenia się na 17,245 TWa rocznie.

Udziały poszczególnych rodzajów energii odnawialnej w tym potencjale są następujące:

- biomasa 34,7%
- energia wodna 17,4%
- energia wiatrów 17,4%
- energia słoneczna 12,8%
- energia geotermalna 11,6%
- energia maretermiczna (wynikająca z różnic temperatury w morzach) 5,8%
- energia maremotoryczna (energia pływów i prądów morskich) 0,3%



Zasoby energetyczne

Potencjał techniczny zasobów energii odnawialnej w Polsce

Nośnik energii	Jedn.	Potencjał techniczny
Energia słoneczna	PJ	60
Energia wiatrowa	PJ	36
Energia geotermalna	PJ	100
Energia wodna	PJ	50
Biomasa	PJ	300
Razem	PJ	546



Zasoby energetyczne

Udział energii odnawialnej w bilansie energetycznym Polski

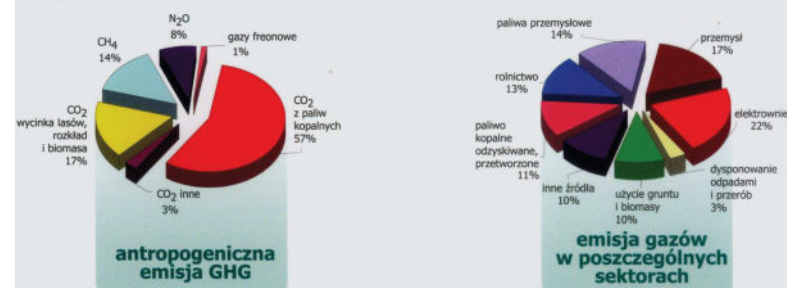
Rok	2000	2010	2020
Udział	2,5%	7,5%	14,0%

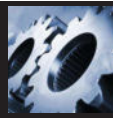
Wybór jakiego rodzaju energii odnawialnej (jako strategicznego) pozwoli na spełnienie tego wymogu?



Zasoby energetyczne

Antropogeniczne źródła gazów cieplarnianych



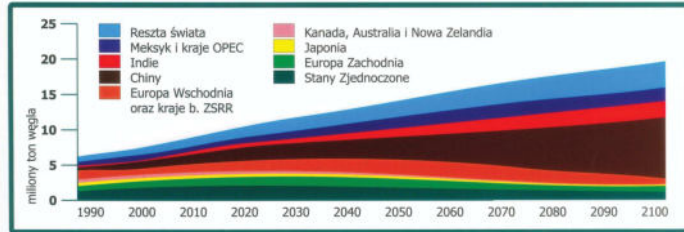


Zasoby energetyczne

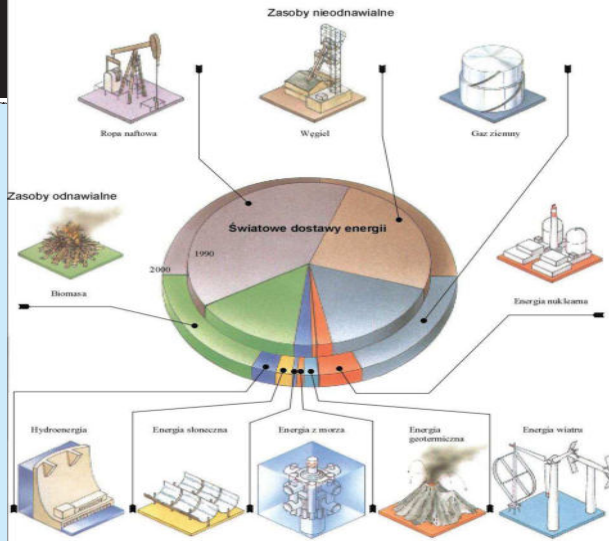
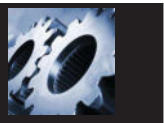
Antropogeniczne źródła gazów cieplarnianych



Jednym z powodów występowania zmian klimatu jest działalność człowieka, który jest odpowiedzialny za emisję do atmosfery gazów cieplarnianych, które powstają na skutek spalania.



Zasoby energetyczne



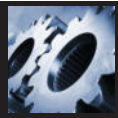
Konwersja i magazynowanie energii

Konwersja energii –

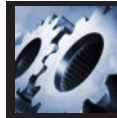
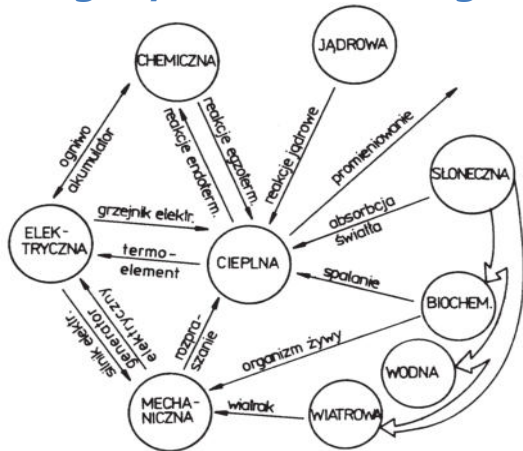
przemiany jakim podlega energia od energii pierwotnej (takiej jak energia chemiczna zawarta w paliwie, energia słoneczna, albo energia ruchu wody lub wiatru) do postaci energii przydatnej użytkownikowi.

Na przykład:

w wyniku spalania paliwa następuje przemiana energii chemicznej na energię cieplną;
 energię mechaniczną można otrzymać przez zamianę ciepła na pracę w silnikach cieplnych;
 energia elektryczna może być otrzymywana przez konwersję energii mechanicznej, cieplnej (efekt Seebecka), słonecznej (efekt fotoelektryczny) lub chemicznej w ogniwach paliwowych.

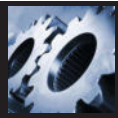


Konwersja i magazynowanie energii

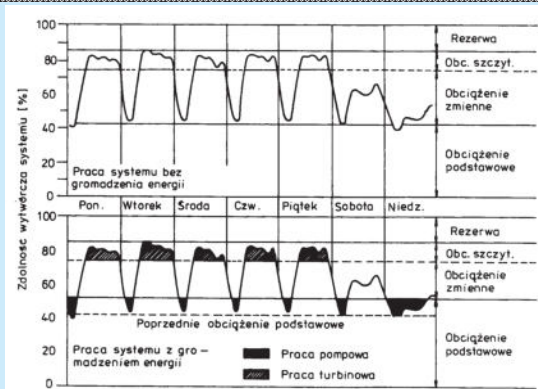


Konwersja i magazynowanie energii

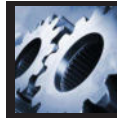
Przemiana energii	Urządzenie	Sprawność
Energia mechaniczna ⇒ energia mechaniczna	Turbina wodna Silnik wiatrowy	0,90 0,46
Ciepło ⇒ energia mechaniczna	Turbina parowa (siłownia bez kotła i generatora elektr.) Silnik parowy	0,40 0,20
Paliwo ⇒ ciepło ⇒ energia mechaniczna	Silnik Diesla Silnik spalinowy z zapłonem iskrowym Turbina gazowa	0,40 0,30 0,38
Paliwo ⇒ ciepło ⇒ energia mechaniczna ⇒ energia elektryczna	Elektrownia parowa Układ parowo-gazowy Generator MHD	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	Fotoogniwo	0,12



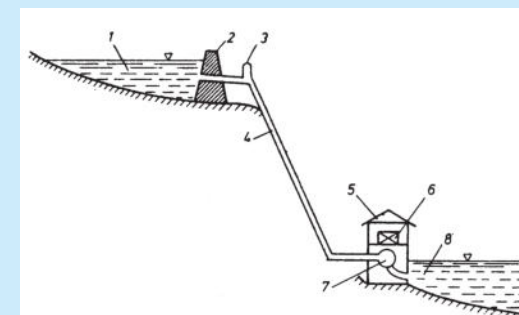
Konwersja i magazynowanie energii



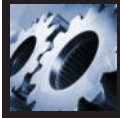
Porównanie działania systemu energetycznego bez (górn) i z magazynowaniem energii (dół)



Konwersja i magazynowanie energii



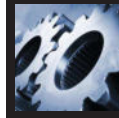
Schemat układu elektrowni pompowej:
1 – zbiornik górny, 2 – tama, 3 – zbiornik wyrównawczy,
4 – rurociąg, 5 – budynek elektrowni pompowej,
6 – generator (silnik), 7 – turbina (pompa), 8 – zbiornik dolny



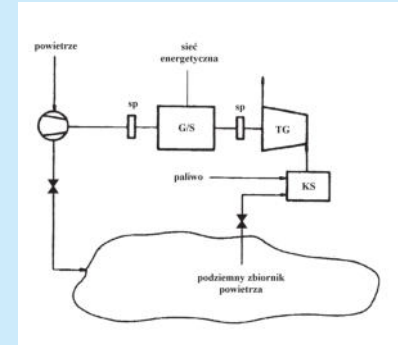
Konwersja i magazynowanie energii

Efektywność magazynowania energii elektrycznej przez energię potencjalną wody zależy od sprawności cyklu elektrowni pompowej, która jest stosunkiem energii oddanej do sieci energetycznej podczas pracy turbinowej do energii elektrycznej pobranej z sieci przez silnik napędzający pompę podczas pracy pompowej.

Tak określona sprawność elektrowni pompowych wynosi średnio 0,75.



Konwersja i magazynowanie energii



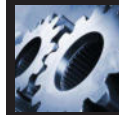
Magazynowanie energii poprzez sprężanie powietrza na potrzeby turbiny gazowej, G/S – generator elektryczny/silnik elektryczny, KS – komora spalania, SP – sprzęgło



Konwersja i magazynowanie energii

Zastosowanie układu z magazynowaniem sprężonego powietrze umożliwia zredukowanie zużycia paliwa przez turbinę gazową o 30–40%.

Problemem w rozpowszechnieniu tego typu systemu magazynowania energii jest zbiorników powietrza o ogromnej pojemności (rzędu setek tysięcy metrów sześciennych) i trudności z ich szczelnością.



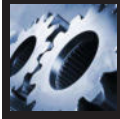
Konwersja i magazynowanie energii

Paliwa to chemiczne „magazyny” energii, która zwracana jest kiedy zmienia się struktura chemiczna paliwa (przede wszystkim w procesie spalania).

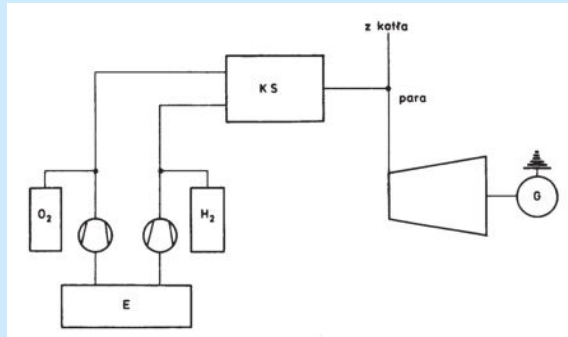
Duży potencjał zastosowania w magazynowaniu energii znajduje się w technologiach wytwarzania paliw: **wodoru, metanu i metanolu**.

W szczególności **wodór** wydaje się być dobrym kandydatem do magazynowania energii – przemawia za tym stosunkowa łatwość wytwarzania (elektroliza wody), duża wartość opałowa oraz brak emisji zanieczyszczeń podczas jego spalania. Wodór przewidywany jest jako przyszłościowe paliwo do pojazdów – nadaje się bowiem do zasilania tłokowych silników spalinowych oraz jako paliwo do ogniw paliwowych.

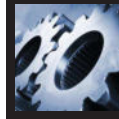
Ze względu na małą gęstość (w warunkach normalnych 0,0898 kg/m³) magazynowanie wodoru w postaci sprężonej, a nawet w postaci skroplonej (w temperaturze poniżej 20 K), jest kłopotliwe.



Konwersja i magazynowanie energii

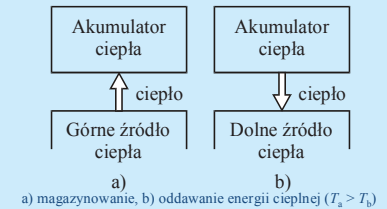


Układ zwiększania mocy elektrowni przez spalanie wodoru,
E – elektrolizer, KS – komora spalania



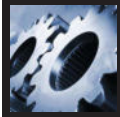
Konwersja i magazynowanie energii

Magazynowanie energii cieplnej opiera się na przekazywaniu ciepła od ciała o wyższej temperaturze do *akumulatora ciepła*, a następnie przekazywaniu ciepła do odbiornika o niższej temperaturze.



Najczęściej stosowane procesy do magazynowania energii można podzielić na trzy grupy, w których wykorzystuje się:

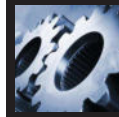
- pojemność cieplną ciał stałych (skała, cegła, beton, piasek) i ciekłych (woda, glikole, metale),
- przemiany fazowe (parafin i wosków, wody i metali),
- chemiczne reakcje odwracalne w niewielkim zakresie temperatury.



Konwersja i magazynowanie energii

Zastosowanie przedstawionych metod magazynowania energii zależy od wymagań systemu energetycznego, do których należą:

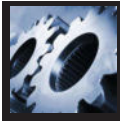
- maksymalna moc,
- magazynowana energia,
- czas dostarczania energii,
- zwłoka zadziałania.



Siłownie i urządzenia pomocnicze

Roczne zużycie węgla w Polsce i na świecie

Węgiel	Świat, mld Mg	Polska, mln Mg
Kamienny	3,7	130
Brunatny	0,944	66



Siłownie i urządzenia pomocnicze

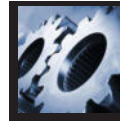
Zużycie węgla w Polsce

Węgiel kamienny

Wyszczególnienie	Wielkość, mld Mg
Wydobycie	100,4
Import	2,7
Zużycie:	
- wytwarzanie innych nośników energii	62,0
- zużycie bezpośrednie	20,0
- eksport	23,0

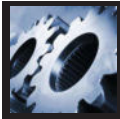
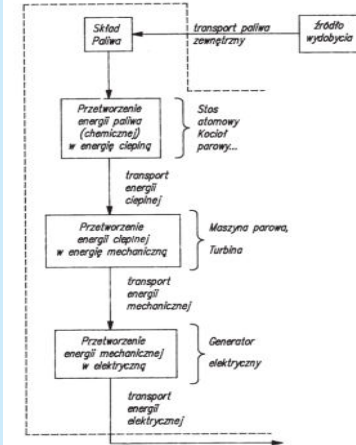
Węgiel brunatny

Wydobycie węgla brunatnego wynosiło ok. 58,2 mln Mg w 2002 r. i zostało prawie w całości wykorzystane jako paliwo w elektrowniach systemowych



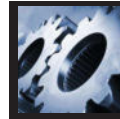
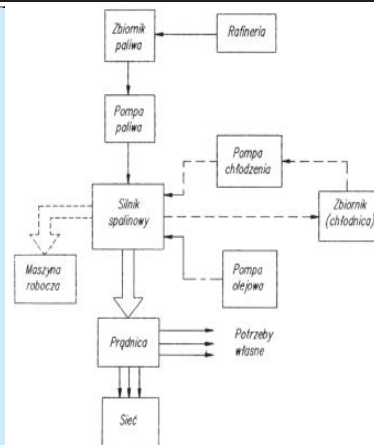
Siłownie i urządzenia pomocnicze

Podstawowy schemat siłowni



Siłownie i urządzenia pomocnicze

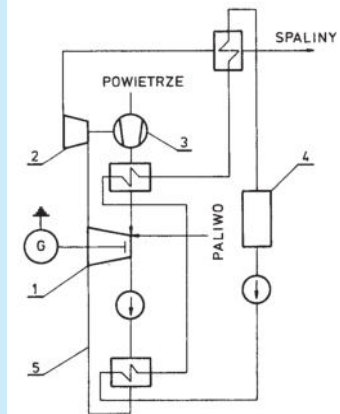
Schemat siłowni spalinowej

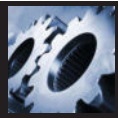


Siłownie i urządzenia pomocnicze

Schemat siłowni ze spalinowym silnikiem wysokoprężnym w układzie skojarzonym

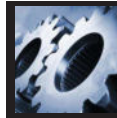
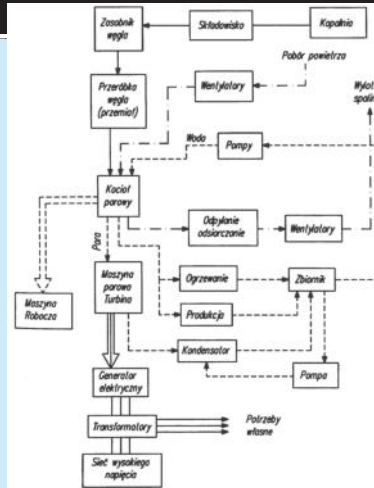
- 1 – wysokoprężny silnik spalinowy,
- 2 – turbina gazowa,
- 3 – sprężarka,
- 4 – odbiorniki ciepła,
- 5 – chłodzenie cylindrów





Siłownie i urządzenia pomocnicze

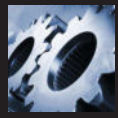
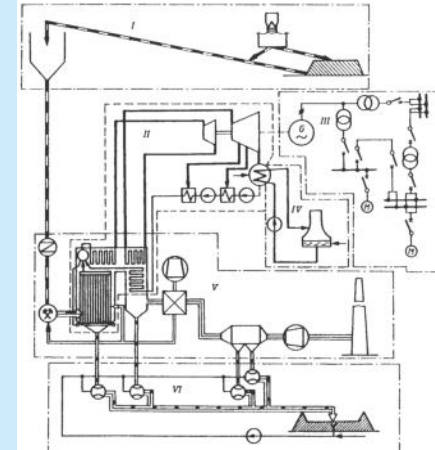
Schemat siłowni parowej



Siłownie i urządzenia pomocnicze

Ważniejsze układy elektrowni węglowej

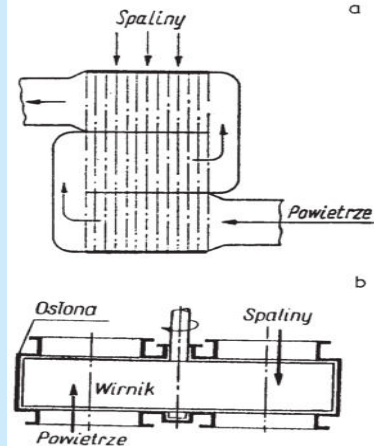
I – układ nawęglania,
 II – układ cieplny,
 III – układ elektryczny,
 IV – układ chłodzący,
 V – układ zasilania powietrzem i odprowadzania spalin,
 VI – układ odpopielania



Siłownie i urządzenia pomocnicze

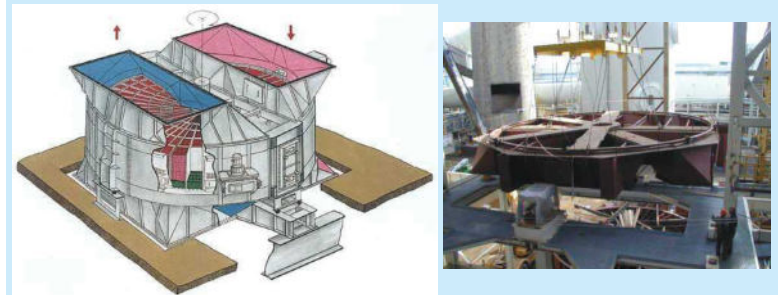
Podgrzewacze powietrza

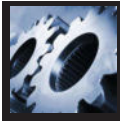
a) rurowy,
 b) Obrotowy Ljungstoma (LUVO)



Siłownie i urządzenia pomocnicze

Obrotowy podgrzewacz powietrza - LUVO





Siłownie i urządzenia pomocnicze

Młyny węglowe stosowane są w energetyce przy eksploatacji kotłów pyłowych (wyposażonych w palniki spalające węgiel jest w postaci pyłu).

Podział młynów węglowych.

- młyny szybkoobrotowe ($n=400-1500\text{obr/min}$)
 - młyny bijakowe
 - młyny wentylatorowe
- młyny średnioobrotowe ($n=30-150\text{obr/min}$)
 - młyny pierścieniowo-kulowe
 - młyny misowo-rolkowe
 - młyny talerzowo-rolkowe
 - młyny walcowe
- młyny wolnoobrotowe ($n=15-30\text{obr/min}$)
 - młyny bębnowo-kulowe

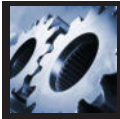
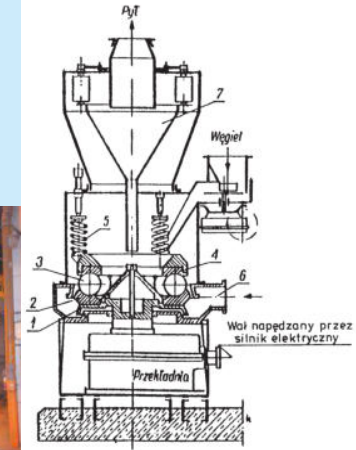


Siłownie i urządzenia pomocnicze

Młyn kulowo-pierścieniowy (średnioobrotowy)

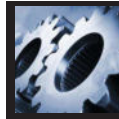
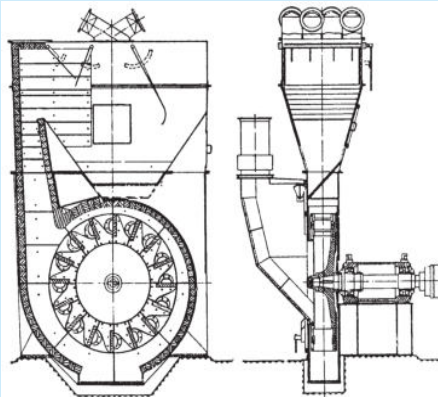


- 1 – tarcza,
- 2 – pierścień,
- 3 – kula,
- 4 – pierścień dociskowy,
- 5 – sprężyna,
- 6 – przewód dolotowy powietrza,
- 7 – odsiewacz



Siłownie i urządzenia pomocnicze

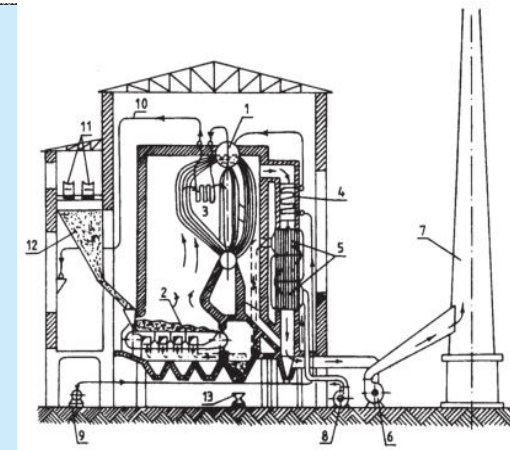
Młyn wentylatorowy (szybkoobrotowy)

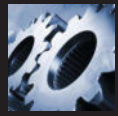


Kotły parowe

Schemat instalacji kotłowej

Schemat instalacji kotłowej,
 1 – walczak,
 2 – ruszt, 3 – przegrzewacz pary,
 4 – podgrzewacz wody, 5 – podgrzewacz powietrza,
 6 – wentylator spalin, 7 – komin,
 8 – wentylator powietrza, 9 – pompa wody,
 10 – rurociąg parowy,
 11 – wózki z węglem,
 12 – zasobnik węgla,
 13 – wózek z żużłem





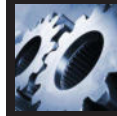
Kotły parowe

Kocioł jest to naczynie zamknięte, w którym woda podgrzewa się lub przechodzi w parę pod wyższym ciśnieniem od atmosferycznego, w celu użytkowania na zewnątrz naczynia.

Kocioł parowy jest więc przetwornicą energii, która przetwarza energię chemiczną paliwa w energię cieplną (pary).

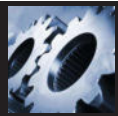
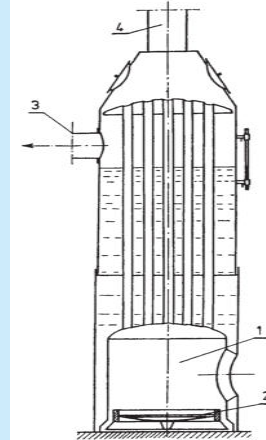
Na wytwarzanie pary w kotle składają się następujące zjawiska:

- spalanie paliwa połączone z wytwarzaniem potrzebnej ilości ciepła,
- wymiana ciepła między spalinami a wodą zasilającą,
- zamiana wody na parę.

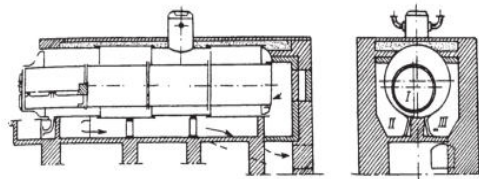


Kotły parowe

- 1 – płomienica, komora spalania,
- 2 – palenisko,
- 3 – króciec odprowadzania pary,
- 4 – komin

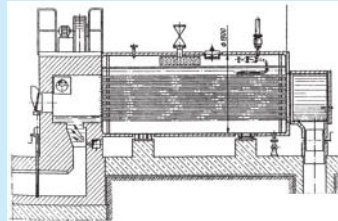


Kotły parowe



Kocioł płomienicowy

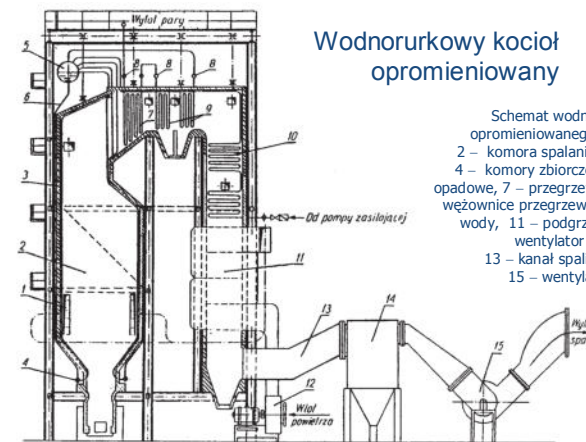
Kocioł płomieniówkowy

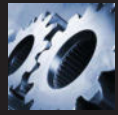


Kotły parowe

Wodnorurkowy kocioł opromieniowany

- Schemat wodnorurkowego kotła opromieniowanego, 1 – palniki pyłowe, 2 – komora spalania, 3 – rury parownika, 4 – komory zbiorcze, 5 – waleczak, 6 – rury opadowe, 7 – przegrzewacz pary, 8, 9 – komory i węzownice przegrzewacza, 10 – podgrzewacza wody, 11 – podgrzewacz powietrza, 12 – wentylator podmuchowy, 13 – kanał spalin, 14 – elektrofiltr, 15 – wentylator wyciągowy





Kotły parowe

Parametry kotłów

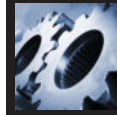
Najważniejsze parametry kotłów:

- wydajność kotła (strumień pary, kg/s),
- ciśnienie i temperatura wytwarzanej pary (Pa, K),
- pole powierzchni ogrzewalnej kotła (m²),
- natężenie cieplne powierzchni ogrzewalnej (W/m²),
- sprawność kotła (η).

Wydajność kotła - wytwarzany w kotle strumień masowy pary wodnej o określonych parametrach (ciśnienie, temperatura).

Ciśnienie wytwarzanej w kotle pary wodnej zależy od rodzaju kotła i wynosi od 0,05 MPa dla małych kotłów centralnego ogrzewania do 26 MPa dla kotłów wysokoprężnych.

Uzyskiwana obecnie temperatura pary sięga 600 °C, a dalsze jej zwiększenie jest ograniczone wytrzymałością stali, z której są wykonane rury parownika.

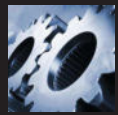


Kotły parowe

Parametry kotłów

W kotle właściwym przepływa woda i para, jego powierzchnia zewnętrzna natomiast, omywana przez gorące spaliny, stanowi **powierzchni ogrzewalną kotła**.

Natężeniem cieplnym powierzchni ogrzewalnej nazywa się strumień ciepła przenikający 1 m² powierzchni ogrzewalnej kotła; zawiera się ono w zakresie od 10 do 300 kW/m².



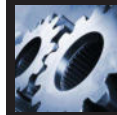
Kotły parowe

Sprawność kotła jest zdefiniowana jako stosunek:

$$\eta = \frac{\text{strumień ciepła przekazany wodzie}}{\text{strumień energii dostarczony w paliwie}}$$

Sprawność zależy od użytego paliwa, dla kotłów węglowych ważny jest ich rozmiar:

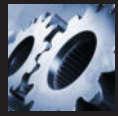
- $\eta = 0,5-0,7$ dla małych kotłów,
- $\eta = 0,7-0,8$ dla średnich kotłów,
- $\eta = 0,8-0,9$ dla dużych kotłów.



Kotły parowe

Ważniejsze typy kotłów

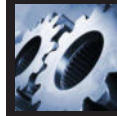
1. Ze względu na przeznaczenie różni się kotły na następujące potrzeby:
 - ogrzewania,
 - przemysłu,
 - ciepłowni i elektrociepłowni,
 - dużych elektrowni zawodowych.
2. Podstawą podziału konstrukcji kotłowych może także być rodzaj paleniska:
 - kotły rusztowe,
 - kotły komorowe,
 - kotły fluidalne.



Kotły parowe

Ważniejsze typy kotłów

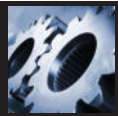
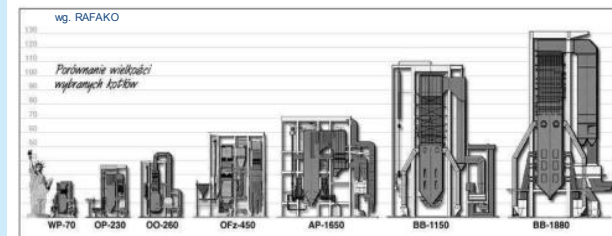
3. Zależnie od rodzaju obiegu wody w kotle rozróżnia się najogólniej:
- kotły z naturalnym obiegiem wody wywołanym różnicą gęstości wody,
 - kotły z wymuszonym obiegiem wody przez pompę.
4. Ze względu na sposób odprowadzania żużla:
- z suchym odprowadzaniem żużla,
 - z mokrym odprowadzaniem żużla.



Kotły parowe

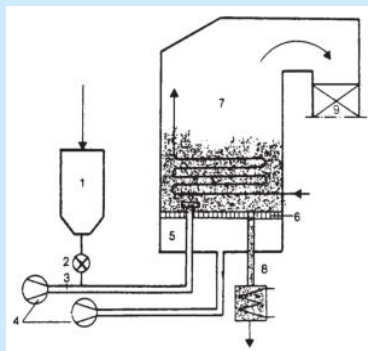
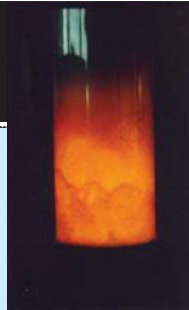
Parametry typowych bloków energetycznych

Moc bloku (w MW)	25	50	125	200	300	360	400	500	1000	1300
Wydajność kotła (t/h)	130	230	380	650	950	1150	1300	1650	3200	4200



Kotły parowe

Kocioł ze stacjonarnym złożem fluidalnym (pęcherzykowym)



- 1 – zasobnik z węglem,
 2 – podajnik,
 3 – rurociąg,
 4 – wentylatory,
 5 – komora powietrzna,
 6 – dno sitowe,
 7 – komora spalania,
 8 – odprowadzanie popiołu,
 9 – powierzchnie ogrzewalne

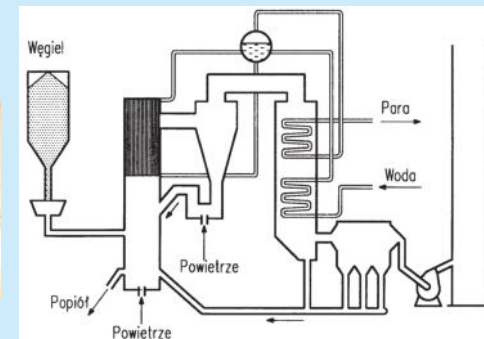


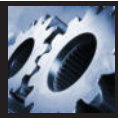
Kotły parowe

Instalacja kotłowa z cyrkulacyjnym złożem fluidalnym



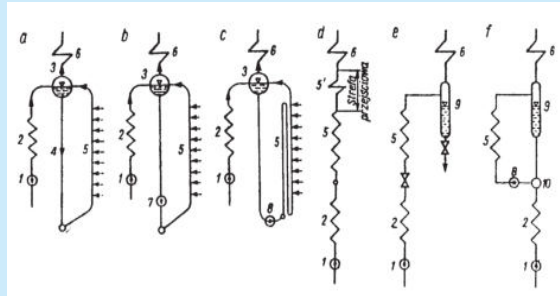
Dno sitowe kotła fluidalnego



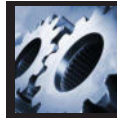


Kotły parowe

Schematy obiegów wodnych kotłów parowych



a) kocioł walczkowy z obiegiem naturalnym, b) kocioł walczkowy z obiegiem wspomaganym, c) kocioł walczkowy z obiegiem wymuszonym (La Monta), d) kocioł przepływowy, e) kocioł przepływowy z wodooddzielaczem, f) kocioł z obiegiem kombinowanym;
 1 – pompa wody zasilającej, 2 – podgrzewacz wody, 3 – walczak, 4 – rury opadowe, 5 – rury wznoszące, 6 – przegrzewacz pary, 7 – pompa wspomagająca, 8 – pompa przewałowa, 9 – wodooddzielacz, 10 – mieszalnik



Kotły parowe

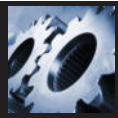
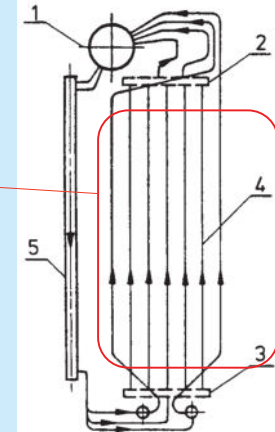
Parownik

(jest to ten fragment powierzchni ogrzewalnej, w którym następuje przemiana wody w parę wodną)

Część znajdująca się wewnątrz komory paleniskowej

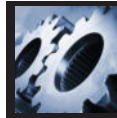
Przykłady połączeń elementów parownika:

- 1 – walczak,
- 2, 3 – komory zbiorcze,
- 4 – ekrany (wewnątrz komory paleniskowej),
- 5 – rury opadowe



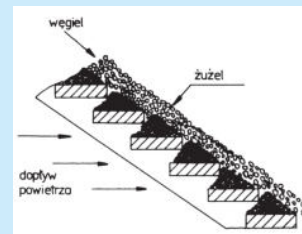
Kotły parowe

Walczak

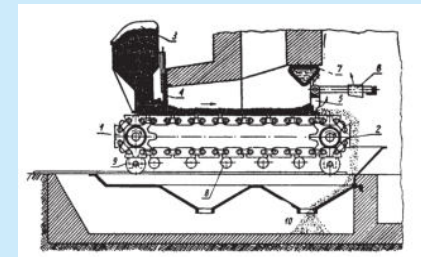


Kotły parowe

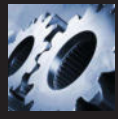
Paleniska rusztowe



Ruszt schodkowy

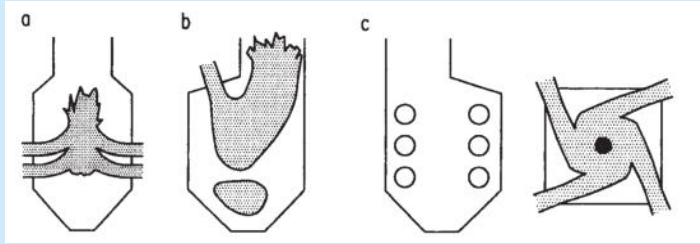


Ruszt taśmowy: 1, 2 – koła, 3 – zasobnik paliwa, 4 – warstwownica, 5 – zgarniacz, 6 – przeciwciągacz, 7 – rura chłodząca, 8 – krążki podpierające taśmę, 9 – koło jezdne, 10 – popielnik

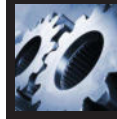


Kotły parowe

Paleniska płytowe

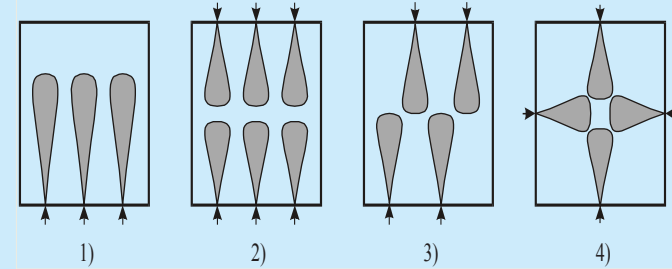


a) z palnikami czołowymi, b) z palnikami stropowymi,
c) z palnikami narożnymi



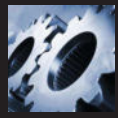
Kotły parowe

Paleniska płytowe z mocowanymi naściennie palnikami wirowymi



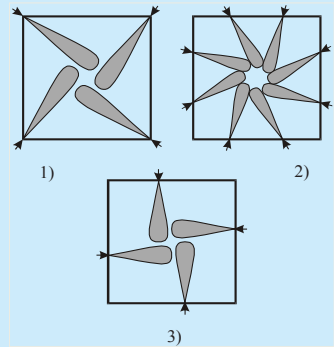
Paleniska płytowe z palnikami wirowymi, mocowanymi:

1 – frontowo, 2 – przeciwległe,
3 – na ścianie przedniej i tylnej, 4 – na każdej ze ścian



Kotły parowe

Paleniska tangencjalne

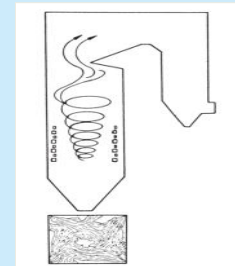


Palenisko tangencjalne mocowaniem palników: 1 – narożnym, 2 – narożnie i na ścianach, 3 – na wszystkich ścianach

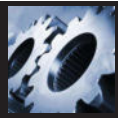


Kotły parowe

Paleniska tangencjalne

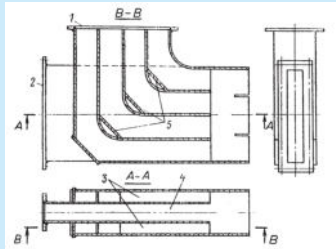


Charakter przepływu w palenisku tangencjalnym

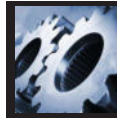
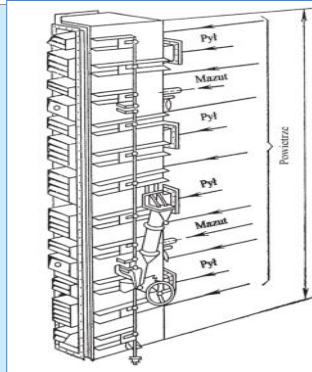


Kotły parowe

Palniki strumieniowe

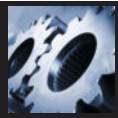


1 – wlot mieszanki pyłowo-powietrznej, 2 – wlot powietrza wtórnego,
 3 – kanał mieszanki pyłowo-powietrznej, 4 – kanał powietrza wtórnego,
 5 – nakładka przeciw wycieraniu kolana



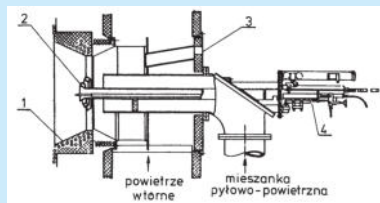
Kotły parowe

Naroże tangencjalnej komory paleniskowej z palnikami strumieniowymi

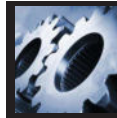
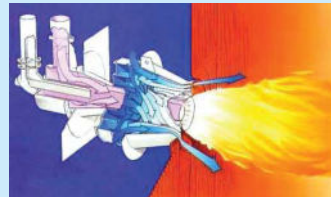


Kotły parowe

Palniki wirowe



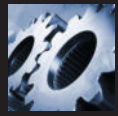
1 – dyfuzor, 2 – rozeta, 3 – wziernik,
 4 – mechanizm posuwu rozety



Kotły parowe

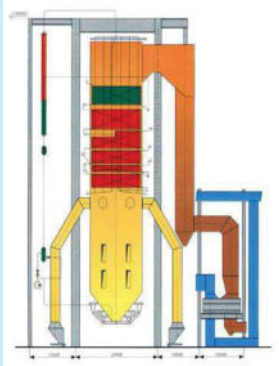
Palniki wirowe w układzie naściennym



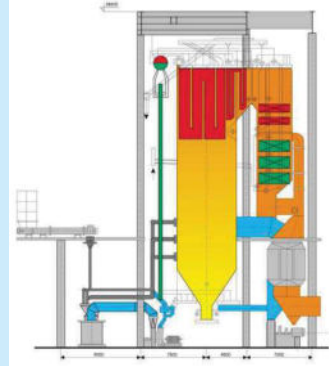


Kotły parowe

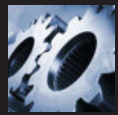
Kocioł parowy jedno i dwu ciągowy



na węgiel brunatny



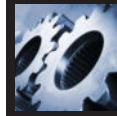
na węgiel kamienny



Turbiny parowe

Turbina parowa jest cieplnym silnikiem wirnikowym, w którym następuje przemiana energii cieplnej pary wodnej w pracę.

W siłowni parowej turbina parowa wraz z generatorem elektrycznym, która napędza, tworzą turbozespół.



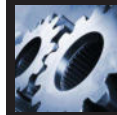
Turbiny parowe

Turbiny należą do dużej grupy **maszyn przepływowych** zwanych **silnikami wirnikowymi**.

Dzieli się je na:

- turbiny gazowe,
- turbiny parowe,
- turbiny wiatrowe,
- turbiny wodne.

Ze względu na powszechność zastosowań oraz rolę jaką odgrywają w energetyce największe znaczenie mają **turbiny parowe**.



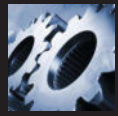
Turbiny parowe

Zasada działania turbin parowych

Przemiany energetyczne zachodzące w turbinie parowej można schematycznie przedstawić następująco:

energia cieplna → energia kinetyczna → praca.

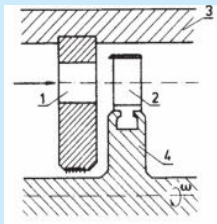
Przemiana energii cieplnej pary w energię kinetyczną następuje w przyrządach rozprężnych turbiny. Są stosowane dwa rodzaje przyrządów rozprężnych: dysze i kierownice. W dyszy, ukształtowanej jako rozszerzająca się u wylotu, może być osiągnięta szybkość naddźwiękowa.



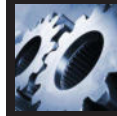
Turbiny parowe

Stopień turbinowy składa się z nieruchomego wieńca przyrządów rozprężnych oraz wieńca łopatek obracającego się wirnika.

Działanie stopnia turbinowego sprowadza się w istocie do przekazania energii przez parę organowi robocznemu maszyny, którym jest wieniec łopatek wirnika.



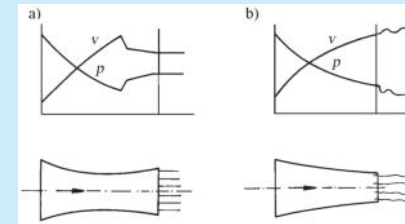
Schemat stopnia turbinowego: 1 – dysze (tarcza kierownicza), 2 – łopatki wirnika, 3 – korpus turbiny, 4 – tarcza wirnika



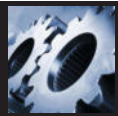
Turbiny parowe

Łopatki kierownicze są umieszczone na obwodzie nieruchomej tarczy kierowniczej, natomiast **łopatki robocze** są umocowane na obwodzie obracającej się tarczy wirnikowej.

Kierownica jest szczególnym rodzajem dyszy, której powierzchnia otworu wylotowego przedstawia najmniejsze pole przekroju. Maksymalna szybkość przepływu w kierownicy występująca na wylocie nie przekracza szybkości dźwięku



Zmiany prędkości (v) i ciśnienia (p) przy wypływie:
a) z dyszy, b) z kierownicy



Turbiny parowe

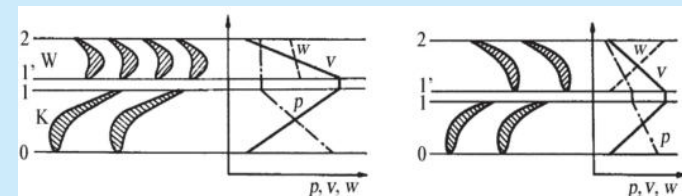
W zależności od sposobu rozprężania się pary między łopatkami kierownicy oraz między łopatkami wirnika rozróżniano, według tradycyjnego nazewnictwa, dwa sposoby pracy stopnia turbinowego:

- akcyjny, w którym rozprężenie pary następuje tylko w nieruchomych kierownicach, w wieńcu wirnikowym natomiast nie zachodzi żadna ekspansja,
- reakcyjny, w którym rozprężanie pary w nieruchomych kierownicach następuje tylko częściowo; para, przepływając przez wieniec wirnikowy, nadal ekspanduje.

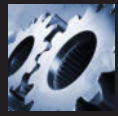


Turbiny parowe

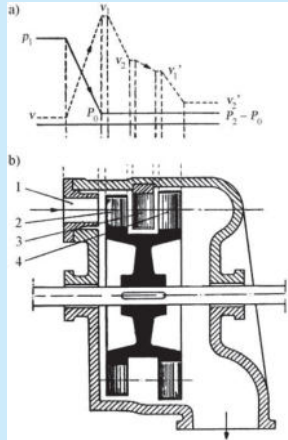
Działanie stopnia turbinowego



Zmiany ciśnienia p oraz prędkości v w stopniu turbinowym:
a) akcyjnym, b) reakcyjnym: K – kierownica, W – wirnik

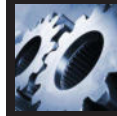


Turbiny parowe



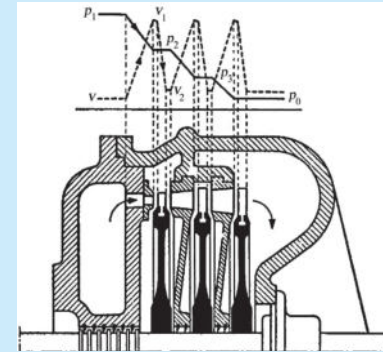
Turbina Curtisa

a) rozkład prędkości v i ciśnienia p ;
 b) schemat: 1 – kierownica,
 2 – pierwszy wieniec łopatek wirnika, 3 – kierownica,
 4 – drugi wieniec łopatek wirnika

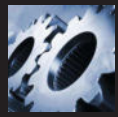


Turbiny parowe

Wielostopniowe turbiny osiowe



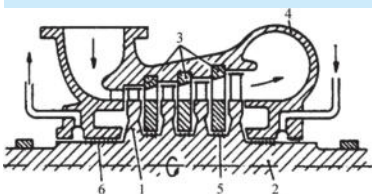
Trójstopniowa turbina akcyjna z rozkładem ciśnienia i prędkości w poszczególnych stopniach turbinowych



Turbiny parowe

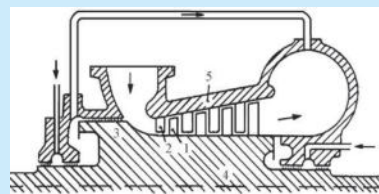
Turbiny wielostopniowe

Akcyjne

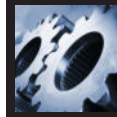


Turbina komorowa (o budowie tarczowej):
 1 – wirnik, 2 – wał, 3 – tarcze kierownicze, 4 – kadłub,
 5, 6 – uszczelnienia labiryntowe

Reakcyjne



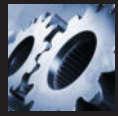
Turbina bębnowa: 1 – łopatki wirnika, 2 – łopatki kierownicze,
 3 – tłok odciążający, 4 – wirnik, 5 – korpus



Turbiny parowe

Budowa turbiny parowej

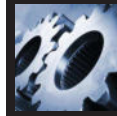




Turbiny parowe



Widok lokalizacji turbiny parowej w hali maszynowni

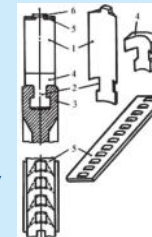


Turbiny parowe

Elementy turbin – układ łopatkowy



Lana tarcza kierownicza



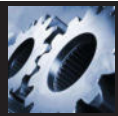
Łopaska cylindryczna i jej zamocowanie:
1 – część profilowa, 2 – stopka,
3 – wręb łopatkowy, 4 – dokładka,
5 – bandaż, 6 – nit



Segment dyszowy pierwszego stopnia turbiny

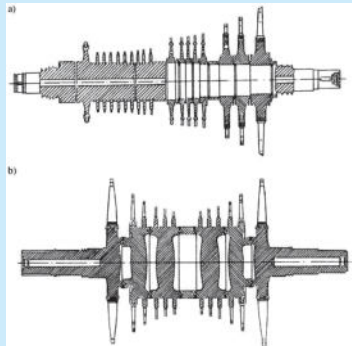


Długa łopaska wolnonośna



Turbiny parowe

Elementy turbin - wirnik

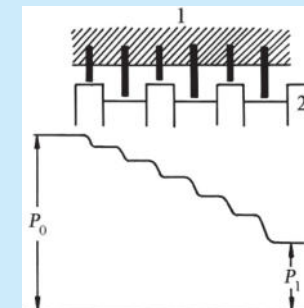


Wirniki: a) tarczowy, b) bębnowy

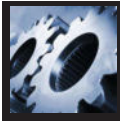


Turbiny parowe

Elementy turbin - uszczelnienia



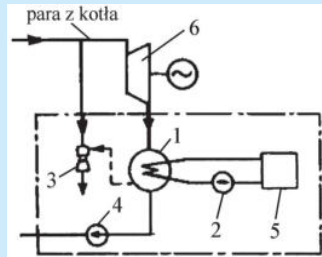
Uszczelnienie labiryntowe ze zmianami ciśnienia:
1 – kadłub, 2 – wał turbiny



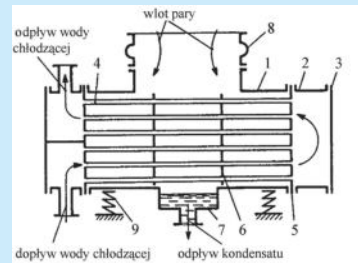
Turbiny parowe



Elementy turbin - skraplacz



Turbina parowa w układzie kondensacyjnym:
 1 – skraplacz,
 2 – pompa obiegowa, 3 – pompa próżniowa,
 4 – pompa skroplin,
 5 – chłodnia, 6 – turbina



Skraplacz powierzchniowy: 1 – kadłub,
 2 – komora wodna, 3 – pokrywa, 4 – rury, 5 – dno sitowe,
 6 – przepona, 7 – zbiornik kondensatu, 8 – kompensator,
 9 – podpora sprężysta



Turbiny parowe

Podział turbin parowych

1. Według liczby stopni:

- jednostopniowe (małej mocy, stosowane do napędu pomp, wentylatorów, małych prądnic itp.),
- wielostopniowe (na przykład turbiny energetyki zawodowej).

2. Według liczby kadłubów:

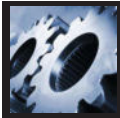
- jednokadłubowe,
- wielokadłubowe (turbiny z rozdziałem zakresu ciśnienia: część wysoko-, średnio- i niskoprężna turbiny, oznaczane odpowiednio WP, SP i NP).

3. Według liczby nie sprzężonych wałów:

- jednoosiowe
- wieloosiowe.

4. Według kierunków przepływu pary:

- osiowe,
- promieniowe.



Turbiny parowe

Podział turbin parowych

5. Według konstrukcji:

- komorowe (akcyjne),
- bębnowe (reakcyjne),
- kombinowane.

6. Według parametrów pary:

- niskoprężne 0,12–0,2 MPa,
- średnioprężne do 3,5 MPa,
- wysokoprężne ponad 3,5 MPa.

7. Według przebiegu procesu cieplnego:

- kondensacyjne: a) bez układu regeneracji, b) z układem regeneracji,
- kondensacyjne: a) bez przegrzewania, b) z przegrzewaniem międzystopniowym,
- kondensacyjne z regulowanymi upustami,
- przeciwprężne.

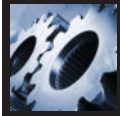


Turbiny parowe

Podział turbin parowych

8. Według zastosowań:

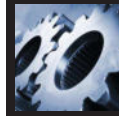
- energetyczne (duże moce, ciśnienie pary 13–25 MPa, przeważnie kondensacyjne),
- ciepłownicze (można zaliczyć do energetycznych, z zadaniem oddania ciepła w parze odlotowej),
- przeciwprężne (para z wylotu przekazywana do zastosowań przemysłowych),
- napędowe (służą do napędu maszyn; głównie statków).



Turbiny parowe

Straty wewnętrzne turbiny parowej są następujące:

- 1. Straty dławienia**, spowodowane oporami przepływu pary rurociągami oraz przez zawory – odcinający i regulacyjne (3–5%).
- 2. Straty w dyszach i kierownicach**, wywołane tarciami pary o ściany i nierównomiernością przepływu (8–10%).
- 3. Straty w łopatkach wirnika**, wywołane uderzeniami pary o krawędzie łopatek, zmianami kierunku przepływu pary oraz oderwaniem strumienia pary od łopatek (15–20%).
- 4. Straty tarcia** kół wirnych turbin komorowych o wypełniającą przestrzeń parę (w turbinach bębnowych straty te są znacznie mniejsze) i wentylacji, spowodowane porywaniem, jak w wentylatorze, przez niezasilaną część wirnika pary z jego otoczenia.
- 5. Strata wylotowa** równa energii kinetycznej pary opuszczającej turbinę (2–7%).
- 6. Straty nieszczelności** spowodowane omijaniem przez parę łopatek kierowniczych (4–10%).
- 7. Straty wywołane wilgotnością pary w ostatnich stopniach turbiny**, ponieważ para, która się wykropliła, nie wykonuje pracy.



Turbiny parowe

Straty zewnętrzne turbiny:

- 1. Nieszczelności dławnic końcowych** są przyczyną utraty 1,5–3% pary zużywanej przez turbinę.
- 2. Niedoskonała izolacja cieplna** turbiny powoduje straty ciepła przez promieniowanie około 1%.
- 3. Straty mechaniczne** wywołane oporami tarcia w łożyskach oraz napędem urządzeń pomocniczych turbiny; określają one sprawność mechaniczną turbiny



Turbiny parowe

Moc turbiny parowej jest częścią strumienia entalpii, doprowadzanej wraz z parą do turbiny. Dokonując bilansu entalpii, należy pamiętać, że entalpia dolotowa musi być pomniejszona o entalpię odlotową i_o .

Po oznaczeniu przez i entalpię dolotową (w kJ/kg pary) moc użyteczną turbiny można zdefiniować następująco:

$$P_u = \eta_o \dot{m} (i - i_o)$$

przy czym

- strumień masowy pary, η_o - sprawność ogólna turbiny.



Turbiny parowe

Sprawność ogólna turbiny mieści się w granicach $\eta_o = 0,16-0,4$.

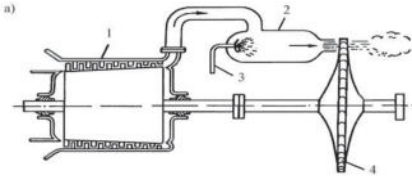
Na sprawność turbiny parowej η_o składają się ($\eta_o = \eta_i \eta_t \eta_m$)

- sprawność wewnętrzna $\eta_i = p_i/p_t$ (stosunek mocy wewnętrznej do mocy teoretycznej turbiny) małych turbin (do 50 kW) wynosi 0,3–0,45, wielostopniowych turbin dużej mocy natomiast 0,7–0,92,
- sprawność teoretyczna $\eta_t = P_t/Q = 0,15-0,5$, $Q = (i - i_o)$,
- sprawność mechaniczna $\eta_m = P_u/P_t = 0,88-0,99$



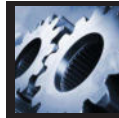
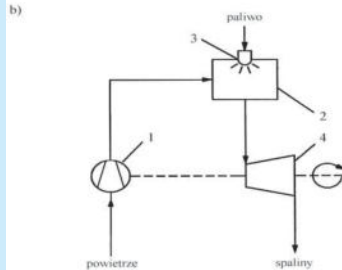
Turbiny gazowe i układy kombinowane

a) Zasada działania turbiny gazowej



b) Schemat:

- 1- sprężarka
- 2- komora spalania
- 3- rozpylacz
- 4- turbina

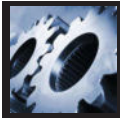


Turbiny gazowe i układy kombinowane

Wybrane parametry turbin gazowych w układzie prostym i kombinowanym

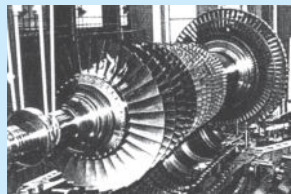
Temperatura dolotowa spalin, °C	900	1010	1120	1260	1430
Temperatura wylotowa spalin, °C	430	480	530	580	590
Stopień sprężania	10,5	11	14	14,5	19–30
Maksymalna moc, MW _e	50–60	60–80	70–105	165–240	165–280
Sprawność w układzie prostym, %	29	31	34	36	40
Sprawność w układzie kombinowanym, %	43	46	49	53	60

Sprawność turbiny zależy przede wszystkim od temperatury czynnika roboczego na wlocie turbiny!



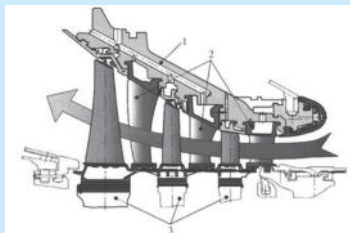
Turbiny gazowe i układy kombinowane

Działanie turbiny gazowej



Wirnik turbiny gazowej GT8C; na pierwszym planie tarcze sprężarki wirowej, za nimi na wale tarcze turbiny gazowej

Wirnik turbiny gazowej jest najczęściej monolityczną, jednowalową konstrukcją, z zasady wspólną dla części turbinowej i sprężarkowej.



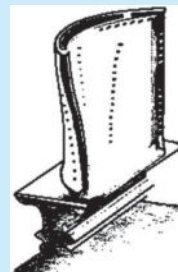
Schemat trzystopniowej turbiny gazowej:

- 1 – obejma łopatek kierownicy, 2 – łopatki kierownicy, 3 – łopatki wirnika

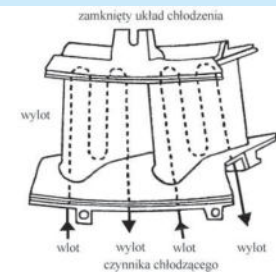
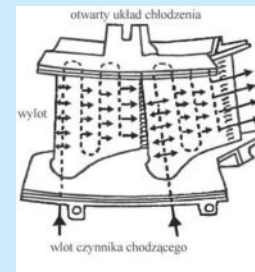


Turbiny gazowe i układy kombinowane

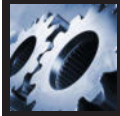
Układy łopatkowe



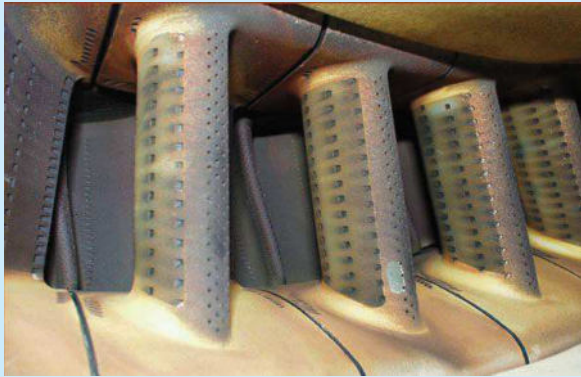
Łopátka turbiny z otworami chłodzenia w systemie otwartym



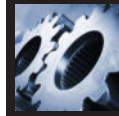
Układy chłodzenia łopatek



Turbiny gazowe i układy kombinowane

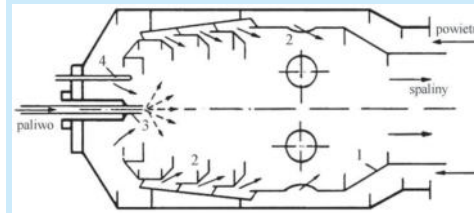


Widok łopatek 1 stopnia turbiny gazowej



Turbiny gazowe i układy kombinowane

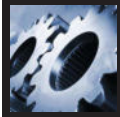
Komory spalania



Komory spalania: 1 – płomienica, 2 – szczeliny chłodzenia, 3 – dysza paliwa, 4 – detektor płomienia



widok wnętrza komory spalania z palnikiem



Turbiny gazowe i układy kombinowane

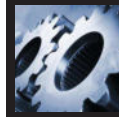
Komory spalania

Ze względu na cechy konstrukcyjne komory spalania energetycznych turbin gazowych dzieli się na dwa typy:

- silosowy,
- pierścieniowy.

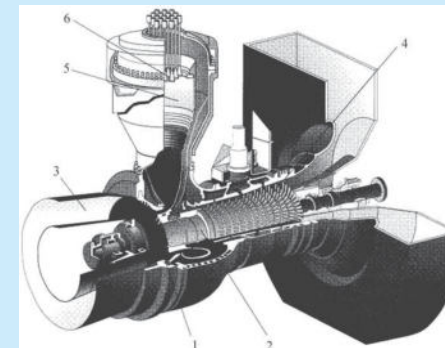
W układzie **silosowym** kilkanaście palników jest zainstalowanych w pojedynczej komorze spalania, z której spaliny kierowane są na pierwszy stopień turbinowy.

W układzie **pierścieniowym** kilkanaście (14–16) komór spalania znajduje się obwodowo na wlocie turbiny, kierując spaliny do pierwszego stopnia turbinowego.

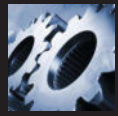


Turbiny gazowe i układy kombinowane

Komory spalania

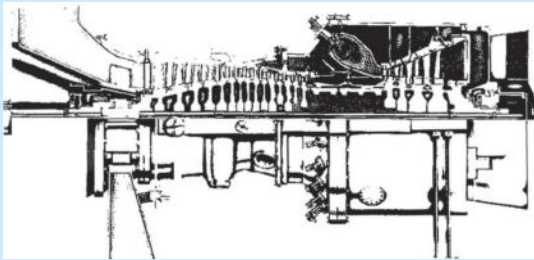


1 – turbina, 2 – wirnik, 3 – dyfuzor, 4 – sprężarka, 5 – komora spalania, 6 – palniki

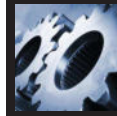


Turbiny gazowe i układy kombinowane

Komory spalania

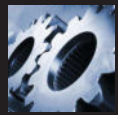


Turbina V94.2A z komorami spalania w układzie pierścieniowym w przekroju

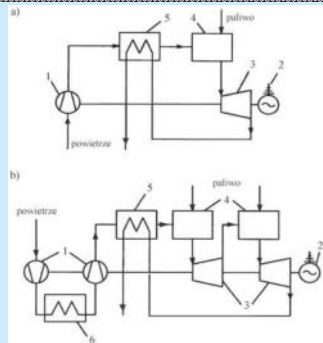


Turbiny gazowe i układy kombinowane

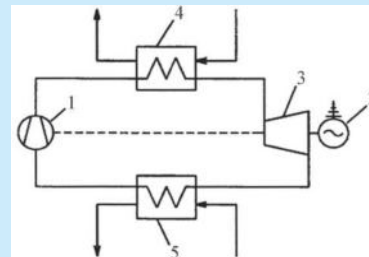
- Turbiny gazowe mogą być zasilane paliwami:
- ciekłymi: benzyna, nafta, olej napędowy, oleje opałowe, a nawet mazut,
 - gazowymi: gaz ziemny, miejski i hutniczy, amoniak i wodór.
- Najczęściej do zasilania energetycznych turbin gazowych stosuje się gaz ziemny



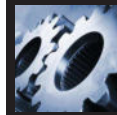
Turbiny gazowe i układy kombinowane



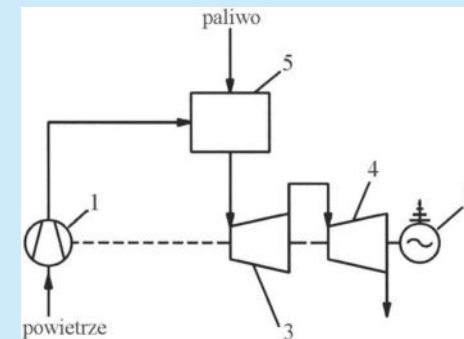
Turbina gazowa w układzie z: a) regeneracją ciepła, b) międzystopniowym chłodzeniem powietrza: 1 – sprężarka, 2 – generator elektryczny, 3 – turbina, 4 – komora spalania, 5 – podgrzewacz powietrza, 6 – chłodnica



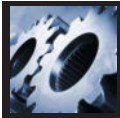
Turbina gazowa w układzie zamkniętym: 1 – sprężarka, 2 – generator elektryczny, 3 – turbina gazowa, 4 – nagrzewnica, 5 – chłodnica



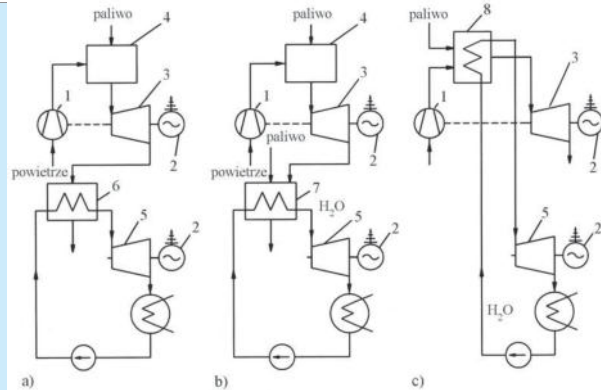
Turbiny gazowe i układy kombinowane



Schemat gazowej turbiny dwuwałowej: 1 – sprężarka, 2 – generator, 3 – wysokoprężna część turbiny, 4 – niskoprężna część turbiny, 5 – komora spalania



Turbiny gazowe i układy kombinowane

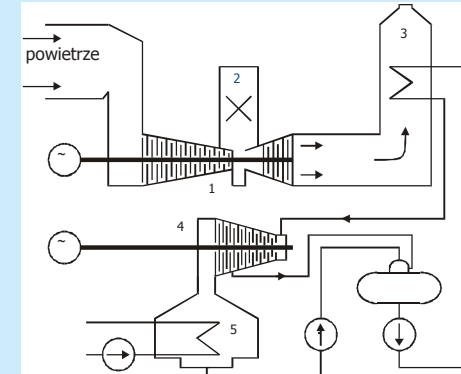


Podstawowe schematy układów parowo-gazowych:

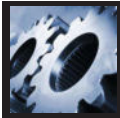
1 – sprężarka, 2 – generator elektryczny, 3 – turbina gazowa, 4 – komora spalania, 5 – turbina parowa, 6 – kocioł odzysknicowy, 7 – kocioł parowy, 8 – komora spalania z wytwornicą pary



Turbiny gazowe i układy kombinowane



Blok gazowo-parowy z kotłem odzysknicowym: 1 – turbina gazowa, 2 – komora spalania, 3 – kocioł odzysknicowy, 4 – turbina parowa, 5 – skraplacz



Turbiny gazowe i układy kombinowane

Kocioł odzysknicowy parowy (55t/h)



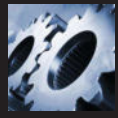
Kocioł odzysknicowy parowy 55 t/h dla Huzhou Steam Turbine Power Plant



Silniki spalinowe

Podział silników cieplnych ze względu na:

- rodzaj silnika roboczego:
 - gazowe,
 - parowe,
 - spalinowe.
- sposób wykonywania pracy:
 - silniki objętościowe (w tym również rotacyjne),
 - silniki turbinowe (rotodynamiczne),
 - silniki dynamiczne.
- rodzaj źródła ciepła lub rodzaj używanego paliwa:
 - chemiczne,
 - jądrowe,
 - słoneczne,
 - geotermalne i inne.
- sposób dostarczania czynnikowi roboczemu ciepła:
 - o spalaniu zewnętrznym lub o zewnętrznych źródłach ciepła,
 - o spalaniu wewnętrznym, gdzie czynnikiem roboczym są spaliny powstałe podczas spalania wewnątrz komory roboczej maszyny.



Silniki spalinowe

Pracę silnika spalinowego określa się następującymi wielkościami:

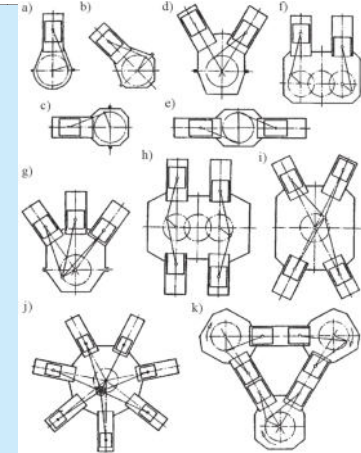
- N_e – moc efektywna – praca uzyskana i możliwa do wykorzystania podczas działania silnika w okresie 1 sekundy, kW,
- η_e – sprawność efektywna silnika, którą określa wzór

$$\eta_e = \frac{N_e}{Q_d} \quad , \text{ w którym}$$

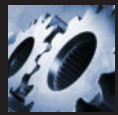
- Q_d – strumień ciepła dostarczanego do silnika z zewnątrz,
- g_j – jednostkowe zużycie paliwa, kg/(kW·s)



Silniki spalinowe



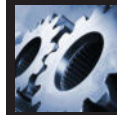
- a), b), c) silniki rzędowe o pionowej, pochylej i poziomej osi cylindrów,
- d) silnik widlasty,
- e) dwurzędowy poziomy,
- f) dwurzędowy pionowy,
- g) trójrzędowy pionowy,
- h) dwurzędowy w układzie H,
- i) dwurzędowy w układzie X,
- j) gwiazdzisty,
- k) trójwałowy w układzie Δ



Silniki spalinowe

Ze względu na sposób zmiany objętości komory roboczej i ruch organu roboczego wyróżnia się silniki:

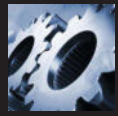
- o posuwisto-zwrotnym ruchu tego organu (głównie silniki tłokowe),
- o obrotowym ruchu wymienionego mechanizmu (silniki rotacyjne).



Silniki spalinowe

Ze względu na sposób zapłonu mieszanki paliwowo-powietrznej wyróżnia się silniki o zapłonie:

- iskrowym (ZI),
- samoczynnym (ZS),
- świecą żarową.



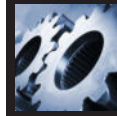
Silniki spalinowe

Z uwagi na sposób podawania paliwa wyróżnia się silniki:

- gaźnikowe,
- zasilane pompą wtryskową.

Napełnianie powietrzem albo mieszanką paliwowo-powietrzną komory roboczej jest podstawą podziału na silniki:

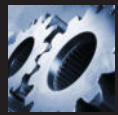
- wolnossące,
- z doładowaniem.



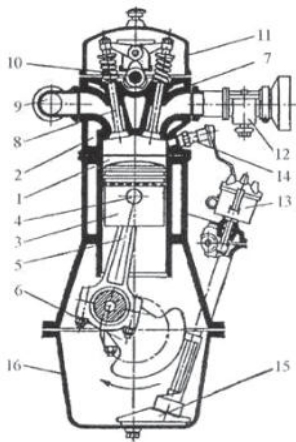
Silniki spalinowe

Podział ze względu na obroty wału i uzyskiwaną moc: wolno-, średnio- i szybkoobrotowe oraz małej, średniej i bardzo dużej mocy.

Silniki mogą być chłodzone powietrzem lub odpowiednimi cieczami (woda, borygo i inne).

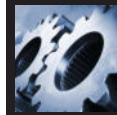


Silniki spalinowe

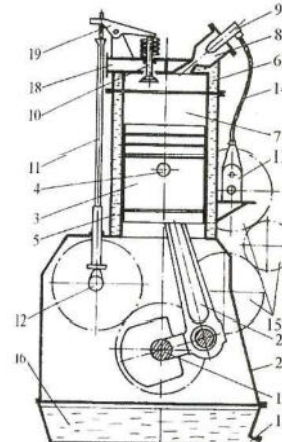


Czterosuwowy silnik o zapłonie iskrowym;

- 1- cylinder, 2- głowica, 3- tłok, 4- sworzeń tłokowy, 5- korbowód, 6- wał korbowy, 7- zawór ssący, 8- zawór wydechowy, 10- wał rozrządu, 11- mechanizm rozrządu, 12- gaźnik, 13- aparat zapłonowy, 14- świeca zapłonowa, 15- pompa olejowa, 16- miska olejowa

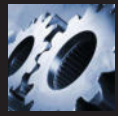


Silniki spalinowe

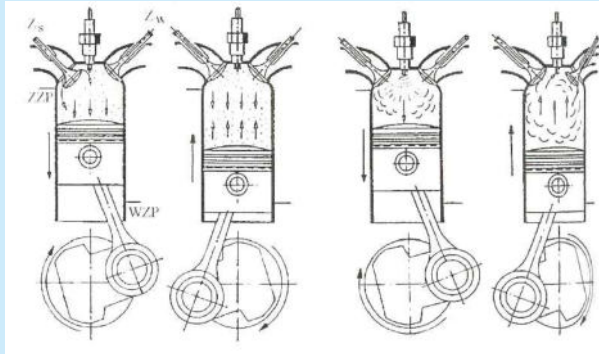


Czterosuwowy silnik o zapłonie samoczynnym:

- 1- wał korbowy, 2- korbowód, 3- tłok, 4- sworzeń, 5- cylinder, 6- głowica, 7- komora spalania, 8- komora wstępna, 9- wtryskiwacz, 10- zawory, 11- popychacz, 12- wał rozrządu, 13- pompa wtryskowa, 14- przew. wys. ciśn., 15- przekładnia, 16- miska olejowa, 17- spust, 18- kanały wlotowy i wylotowy (widoczny tylko jeden), 19- dźwignia zaworowa, 20- kadłub

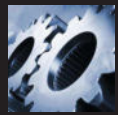


Silniki spalinowe



Zasada działania silnika czterosuwowego:

a) suw ssania, b) suw sprężania, c) suw pracy, d) suw wylotu



Silniki spalinowe

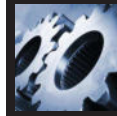
Układ rozrządu to zespół mechanizmów sterujących fazami pracy silnika, czyli wyznaczających odpowiedni czas na następujące czynności:

- napełnienie cylindra mieszanką lub powietrzem,
- utrzymanie szczelności komory roboczej,
- usunięcie z niej produktów spalania.

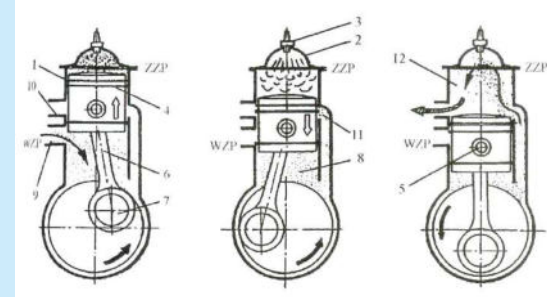
Rozróżnia się rozrząd zaworowy, szczelinowy, szczelinowo-zaworowy i suwakowy.

W zależności od miejsca wbudowania zaworów rozróżnia się następujące rodzaje rozrządów:

- dolnozaworowy,
- górnozaworowy,
- mieszany.



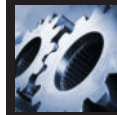
Silniki spalinowe



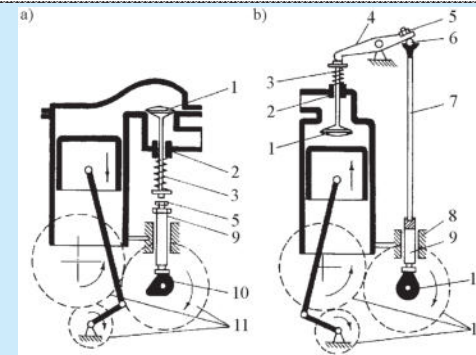
Zasada działania silnika dwusuwowego:

sprężanie w cylindrze i rozprężania w skrzyni korbowej, b) wykonanie pracy, c) wylot spalin i napełnianie cylindra;

1- cylinder, 2- głowica, 3- świeca zapłonowa, 4- tłok, 5- sworzeń, 6- korbowód, 7- wał korbowy, 8- skrzynia korbowa, 9- okno ssące, 10- okno wydechowe, 11- okno przetłotowe, 12- komora spalania

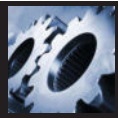


Silniki spalinowe



Układ rozrządu: a) dolnozaworowego, b) górnozaworowego;

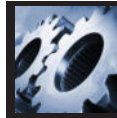
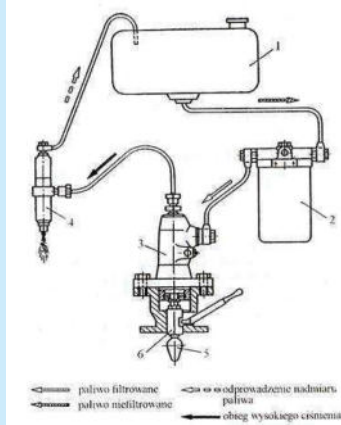
1 – zawór, 2 – prowadnica zaworu, 3 – sprężyna zaworowa, 4 – dźwignia, 5 – śruba regulacji luzu zaworu, 6 – przegub kulowy, 7 – trzonek popychacza, 8 – prowadnica, 9 – popychacz, 10 – krzywka wału rozrządu, 11 – przekładnia napędzająca wałek rozrządu



Silniki spalinowe

Układ zasilania silnika z zapłonem samoczynnym:

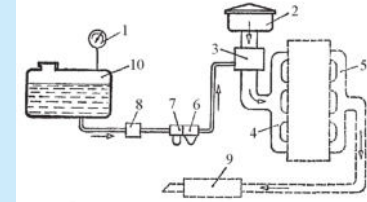
1- zbiornik paliwa, 2- filtr paliwa, 3- pompa wtryskowa, 4- wtryskiwacz, 5- krzywka rozrządu, 6- popychacz



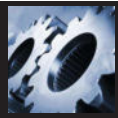
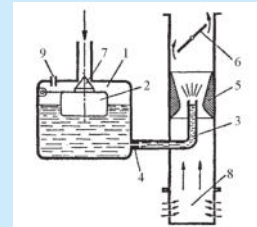
Silniki spalinowe

Układ zasilania silnika z zapłonem iskrowym:

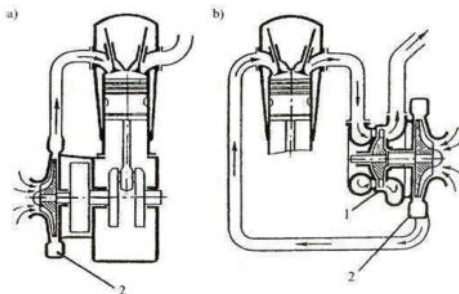
1 – wskaźnik ilości paliwa, 2 – filtr powietrza, 3 – gaźnik, 4 – przewody dolotowe, 5 – przewody wylotowe, 6 – pompa paliwa, 7 – odstojniki, 8 – filtr paliwa, 9 – tłumik, 10 – zbiornik paliwa



Gaźnik: 1 – komora pływakowa, 2 – pływak, 3 – rozpylacz, 4 – dysza paliwa, 5 – gardziel, 6 – przepustnica, 7 – dopływ paliwa, 8 – filtr powietrza, 9 – otwór wyrównawczy



Silniki spalinowe

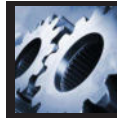


Turbosprężarka składa się w największym uproszczeniu z dwóch wirników:
- **turbiny** zasilanej gazami wylotowymi silnika, czyli spalinami;
- **sprężarki** służącej do wciągania powietrza do cylindra.

Układ doładowania silnika:

a) napęd dmuchawy z wału silnika, b) napęd dmuchawy za pomocą turbiny pracującej na spalinach wylatujących z silnika;
1 – turbina, 2 - dmuchawa

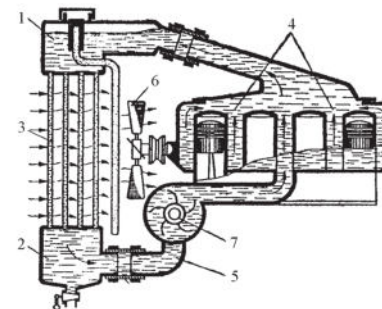
Zastosowanie **intercoolera** powoduje dodatkowe schłodzenie powietrza wciąganego do cylindra.



Silniki spalinowe

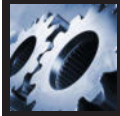
Chłodzenie silników:

- powietrzem pobieranym z otoczenia,
- za pomocą cieczy chłodzących



Chłodzenie obiegowe silnika:

1 – zbiornik górny,
2 – zbiornik dolny,
3 – chłodnica właściwa,
4 – płaszcz wodny,
5 – przewód łączący,
6 – wentylator,
7 – pompa obiegowa



Silniki spalinowe

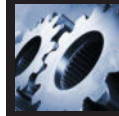
Silnik Wankla



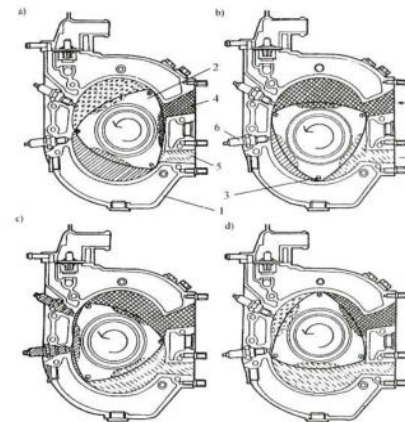
Silnik posiadający wirujące tłoki, którego konstruktorem był [Feliks Wankel](#).

W odróżnieniu od klasycznego silnika, gdzie suw cylindra zamieniany jest na obrót wału korbowego, w silniku Wankla tłok obraca się rotacyjnie.

Zaletą takiej konstrukcji jest ograniczona liczba ruchomych części, co ogranicza wibracje i niepotrzebne naprężenia dynamiczne. Zasadniczą wadą konstrukcji jest zbyt duże zużycie paliwa (w porównaniu z klasyczną jednostką silnikową) i zawartość szkodliwych substancji w spalinach.

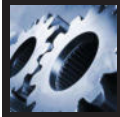
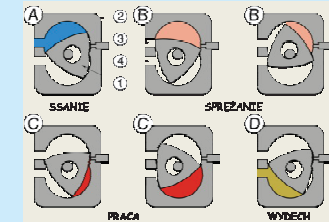


Silniki spalinowe



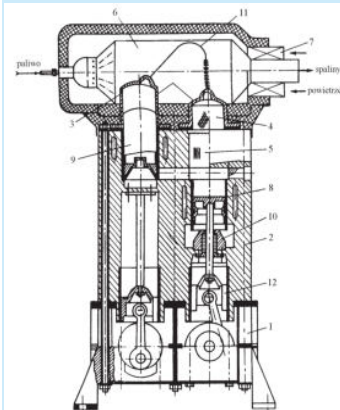
Zasada pracy silnika Wankla:

- 1 - kadłub, 2 - tłok,
- 3 - uszczelnienie tłoka, 4 - wlot mieszanki paliwowo-powietrznej,
- 5 - wylot spalin,
- 6 - świeca zapłonowa



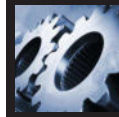
Silniki spalinowe

Objętościowe silniki spalinowe zewnętrznego spalania



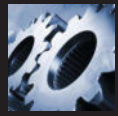
Przekrój silnika Stirlinga:

- 1 – podstawa,
- 2 – blok cylindrów, 3 – głowica,
- 4 – regenerator,
- 5 – chłodnica, 6 – komora spalania, 7 – podgrzewacz powietrza, 8 – tłok,
- 9 – wypornik, 10 – dławnica trzonu, 11 – nagrzewnica,
- 12 – wodzik



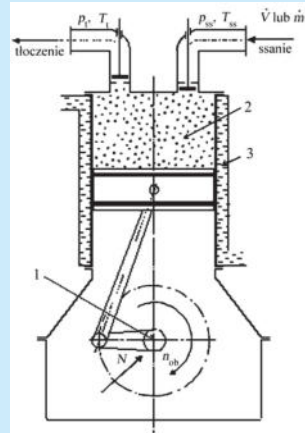
Sprężarki i wentylatory

Maszyny sprężające to takie robocze maszyny energetyczne, w których czynnik gazowy zwiększa swoje ciśnienie lub zmniejsza swoją objętość, kosztem pracy doprowadzonej do układu.



Sprężarki i wentylatory

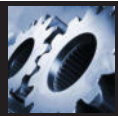
Maszyna sprężająca:
 1 – napęd,
 2 – gaz sprężany,
 3 – chłodzenie



Sprężarki i wentylatory

Parametry charakteryzujące maszyny sprężające

- rodzaj sprężanego medium,
- ciśnienie ssania – p_{ss} (MPa), temperatura ssania – T_{ss} (K) na wlocie do maszyny,
- ciśnienie tłoczenia – p_t (MPa) i temp. tłoczenia T_t (K) na wylocie z maszyny,
- wydajność maszyny sprężającej, określana jako strumień objętości (m^3/s) lub masy (kg/s) przepływający przez układ,
- moc napędowa – N (kW) maszyny przekazywana jej na wale korbowym,
- prędkość obrotowa – n_{ob} (obr/s),
- stopień sprężania – $\sigma = p_t/p_{ss}$.



Sprężarki i wentylatory

Podział maszyn sprężających

Za podstawę podziału maszyn sprężających przyjmuje się:

- stopień sprężania, ciśnienie końcowe i wydajność,
- przeznaczenie maszyn,
- zasadę działania.



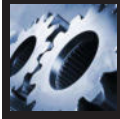
Sprężarki i wentylatory

Podział maszyn sprężających

Stopień sprężania jest podstawą rozróżnienia na:

- wentylatory, gdy $1,0 < \sigma < 1,2$
- dmuchawy, gdy $1,2 < \sigma < 2,0$
- sprężarki, gdy $2,0 < \sigma$
- pompy próżniowe, gdy $1,0 < \sigma < \approx 103$ oraz $p_t \cong p_0$

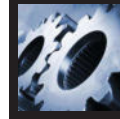
$$\sigma = p_t/p_s$$



Sprężarki i wentylatory

Z uwagi na **ciśnienie końcowe** sprężarki dzieli się na:

- sprężarki niskiego ciśnienia ($p_t < 1,0$ MPa)
- sprężarki średniego ciśnienia ($1,0\text{MPa} < p_t < 10\text{MPa}$)
- sprężarki wysokiego ciśnienia ($p_t > 10$ MPa)

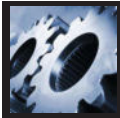


Sprężarki i wentylatory

Podział ze względu na ilość stopni

- jednostopniowe,
- wielostopniowe.

Sprężarki w czasie pracy wydzielają dużą ilość ciepła, które musi być odprowadzone. Układy chłodzenia sprężarek są podobne do układów chłodzenia silników spalinowych. Dla mniejszych jednostek stosuje się chłodzenie bezpośrednie, dla większych pośrednie z chłodziwą. Sam sprężany gaz w wielu przypadkach jest również chłodzony poprzez chłodzenie międzystopniowe.



Sprężarki i wentylatory

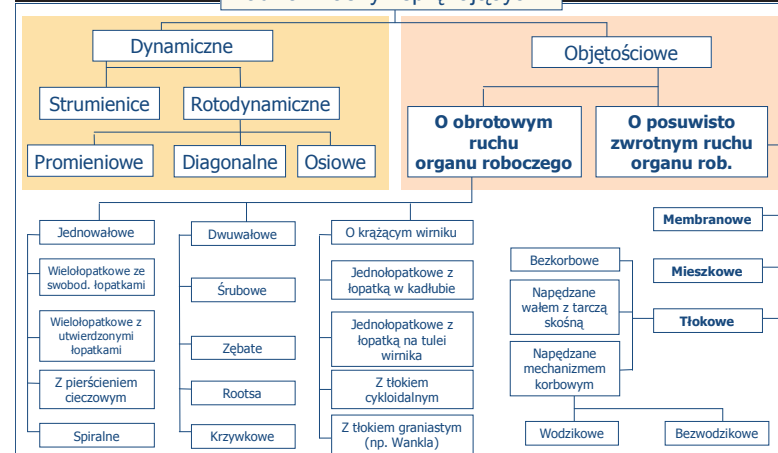
Maszyny sprężające ze względu na przeznaczenie można więc pogrupować jako:

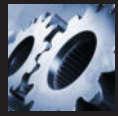
- maszyny do sprężania konkretnego czynnika,
- maszyny stosowane w konkretnej dziedzinie techniki lub gospodarki,
- maszyny współrealizujące konkretny proces.



Sprężarki i wentylatory

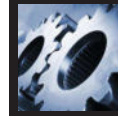
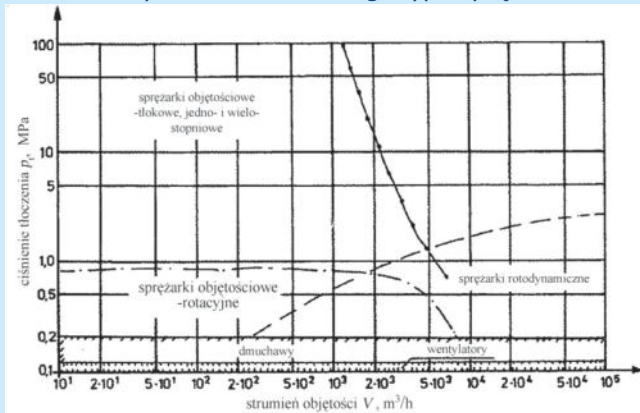
Podział maszyn sprężających





Sprężarki i wentylatory

Obszary zastosowań różnego typu sprężarek

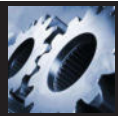
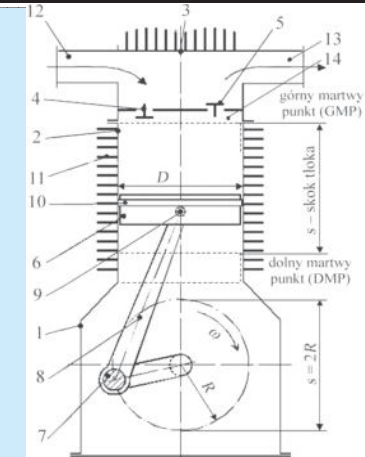


Sprężarki i wentylatory

Sprężarki objętościowe o posuwisto-zwrotnym ruchu organu roboczego

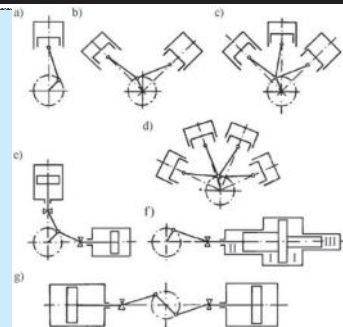
Jednostopniowa bezwodzikowa sprężarka tłokowa:

- 1 – kadłub, 2 – cylinder,
- 3 – głowica, 4 – zawór wlotowy,
- 5 – zawór wylotowy,
- 6 – tłok, 7 – wał korbowy,
- 8 – korbowód, 9 – sworzeń,
- 10 – pierścienie uszczelniające,
- 11 – ożebrowanie, 12 – króciec wlotowy,
- 13 – króciec wylotowy, 14 – przestrzeń szkodliwa



Sprężarki i wentylatory

Układy pracy sprężarek tłokowych

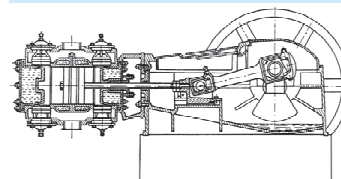


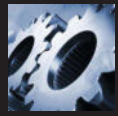
Układy sprężarek tłokowych; a) jednorzędowy, b) widlasty V, c) widlasty W, d) widlasty VV, e) kątowny L, f) leżący z tłokiem różnicowym trójstopniowej sprężarki w układzie posobnym, g) układ leżący przeciwnie; a, b, c, d) układy z tłokami jednostronnego działania, bezwodzikowe; e, f, g) układy z tłokami dwustronnego działania, wodzikowe; I – część niskoprężna obustronnego działania, II, III – część średnio- i wysokoprężna jednostronnego działania; poszczególne części sprężarki są połączone chłodnicami międzystopniowymi



Sprężarki i wentylatory

Pozioma sprężarka tłokowa



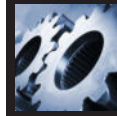
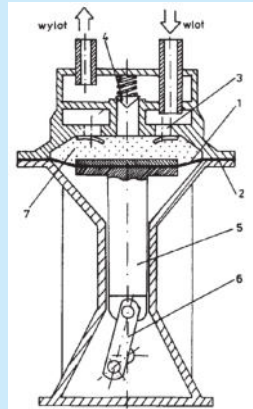


Sprężarki i wentylatory

Sprężarka membranowa

Sprężarka membranowa z mechanicznym sposobem przesuwania membrany:

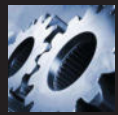
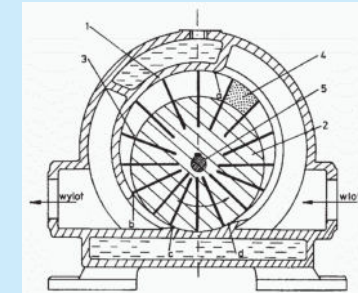
- 1 – membrana,
- 2 – węzeł mocujący membranę,
- 3 – otwór ssący,
- 4 – zawór tłoczący,
- 5 – tłocznisko (popychacz),
- 6 – łożysko wału z krzywką



Sprężarki i wentylatory

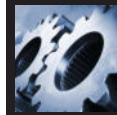
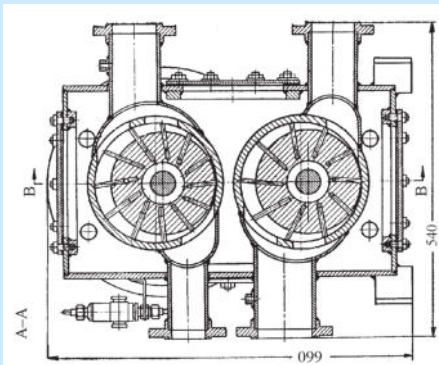
Sprężarka rotacyjna wielołopatkowa:

- 1 – cylinder, 2 – wirnik,
- 3 – łopatką, 4 – komora robocza,
- 5 – wał;
- a, b, c, d) krawędzie sterujące pracą (fazami) sprężarki



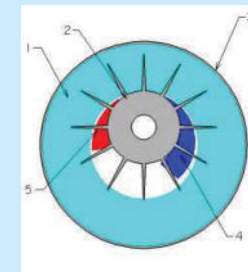
Sprężarki i wentylatory

Dwustopniowa wielołopatkowa sprężarka rotacyjna

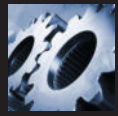


Sprężarki i wentylatory

Sprężarka z pierścieniem wodnym

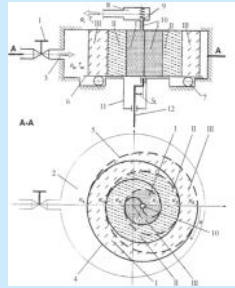


- 1. Pierścień wodny
- 2. Wirnik łopatkowy
- 3. Cylindryczny korpus
- 4. Kanał ssawny
- 5. Kanał tłoczny



Sprężarki i wentylatory

Sprężarka spiralna



1 – zawór wlotowy, 2 – przestrzeń wlotowa, 3 – króciec ssący, 4 – spirala stała, 5 – spirala ruchoma, 6 – tarcza spirali ruchomej, 7 – łożysko tarczy ruchomej, 8 – przestrzeń tłoczenia, 9 – zawór tłoczny, 10 – króciec tłoczny, 11 – kadłub, 12 – wał z mimośrodowym czopem; I, II, III – numery komór roboczych

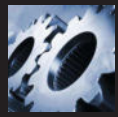


Sprężarki i wentylatory

Sprężarki rotacyjne dwuwirnikowe

W dwuwalowych maszynach sprężających do zmiany objętości przestrzeni roboczej niezbędne są dwa współpracujące ze sobą podczas obrotu elementy (wirniki).

Wymaga to zamocowania ich na dwóch różnych wałach we wspólnej obudowie

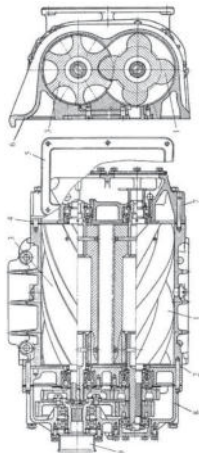


Sprężarki i wentylatory

Sprężarka śrubowa

Sprężarki śrubowe cechują się sprężem około 6÷10 oraz średnią i dużą wydajnością.

Są chętnie stosowane ze względu na niski poziom hałasu i stosunkowo małe gabaryty.

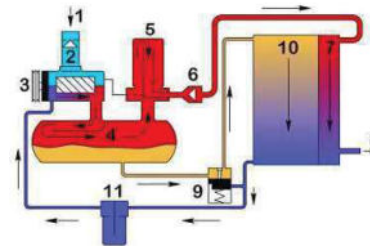


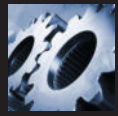
Sprężarki i wentylatory

Sprężarka śrubowa

Schemat działania:

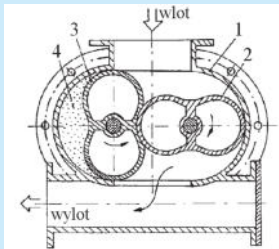
1. Filtr na ssaniu
2. Regulator na ssaniu
3. Stopień sprężający
4. Zbiornik powietrza/oleju
5. Układ separacji oleju
6. Zawór zwrotny
7. Chłodnica sprężonego powietrza
8. Króciec wylotowy sprężonego powietrza
9. Zawór termiczny
10. Chłodnica oleju
11. Filtr dokładny oleju





Sprężarki i wentylatory

Sprężarka Rootsa



- 1 – cylinder,
- 2 – wirnik czynny,
- 3 – wirnik bierny,
- 4 – komora robocza

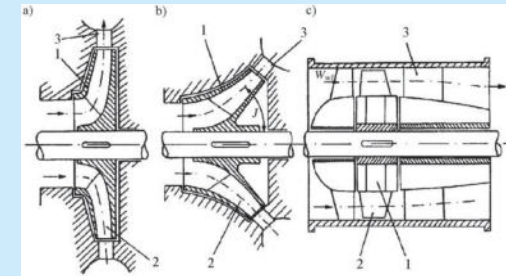


Są to maszyny przenoszące, a nie sprężające medium (spręż jest niewysoki).

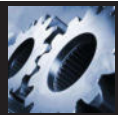


Sprężarki i wentylatory

Sprężarki dynamiczne



- Podstawowe rodzaje stopni sprężających: a) promieniowe, b) diagonalne, c) osiowe;
1 – wirnik, 2 – łopatki wirnika, 3 – łopatki (kierownice) dyfuzora

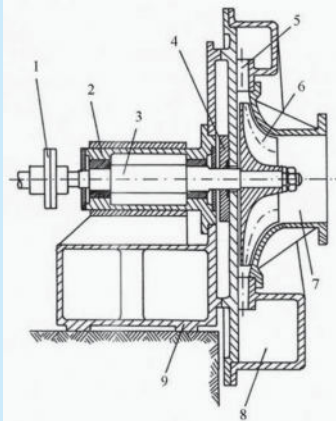


Sprężarki i wentylatory

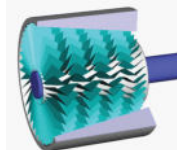
Sprężarki rotodynamiczne

Jednostopniowa sprężarka odśrodkowa:

- 1 – sprzęgło,
- 2 – kadłub łożyskowy,
- 3 – wał,
- 4 – uszczelnienie,
- 5 – kierownice,
- 6 – wirnik,
- 7 – kolektor wlotowy,
- 8 – kolektor zbiorczy,
- 9 – kadłub nośny

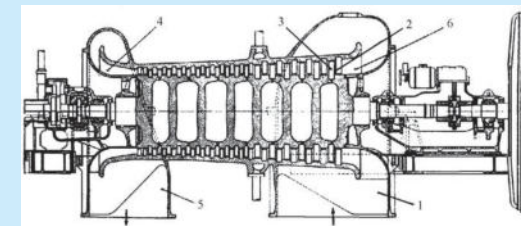


Sprężarki i wentylatory

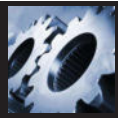


Wielostopniowa sprężarka osiowa

duża wydajność przy niezbyt wysokim sprężu

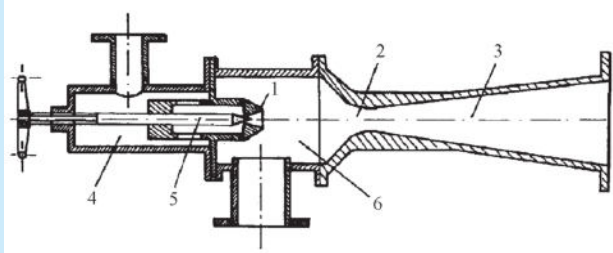


- 1 – skrzynia wlotowa, 2 – łopatkowy wieniec stojanowy, 3 – łopatkowy wieniec wirnikowy, 4 – dyfuzor, 5 – kolektor końcowy, 6 – kanał wlotowy



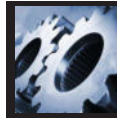
Sprężarki i wentylatory

Strumienice



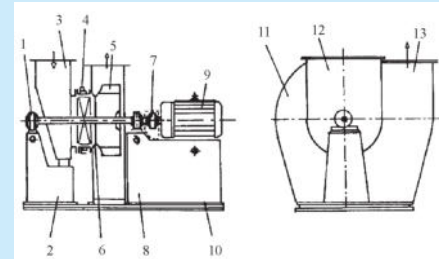
Sprężarka strumieniowa o regulowanej wydajności:
 1 – dysza napędowa, 2 – dysza podchwytyjąca, 3 – dyfuzor,
 4 – komora zasilająca, 5 – iglica regulacyjna, 6 – komora ssawna

Stopień sprężania strumienicy jest niewielki, ale wydajność znaczna.



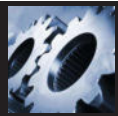
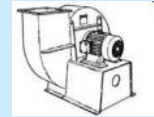
Sprężarki i wentylatory

Wentylatory promieniowe



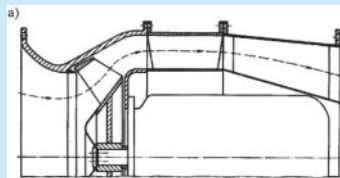
1 – łożysko nośne, 2 – podpora łożyskowa, 3 – skrzynia wlotowa, 4 – aparat kierowniczy,
 5 – koło wirnikowe, 6 – konfuzor wlotowy, 7 – sprzęgło,
 8 – podpora silnika i łożyska, 9 – silnik napędowy, 10 – rama nośna, 11 – kolektor
 zbiorczy, 12 – skrzynia wlotowa, 13 – króciec wylotowy

Charakteryzują się wysokim spiętrzeniem czynnika (do 13 kPa), ich wydajność natomiast, zależnie od wielkości wentylatora, zmienia się od 0,01 do 300 m³/s

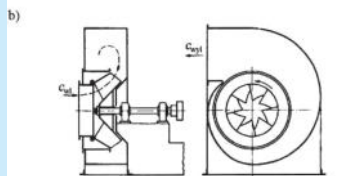


Sprężarki i wentylatory

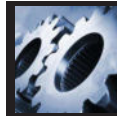
Wentylatory diagonalne



a) z wypływem osiowym,
 b) z obudową spiralną

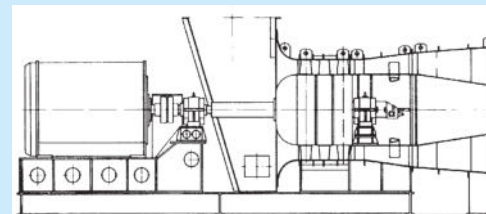


W wentylatorze diagonalnym czynnik przepływa w wirniku w kierunku osiowo-promieniowym. Wentylatory diagonalne cechuje duża sprawność (do 90%) i mała hałaśliwość.

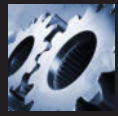


Sprężarki i wentylatory

Wentylatory osiowe



Stopień sprężania w jednym stopniu osiowym jest niewielki i w celu uzyskania większego stopnia sprężania należy łączyć szeregowo 2÷3 stopnie



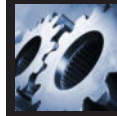
Pompy

Przenośnikami cieczy nazywa się maszyny robocze lub urządzenia do przenoszenia cieczy z obszaru o energii niższej do obszaru o energii wyższej, dzięki energii pobieranej z zewnątrz. Przenośniki dzieli się na:

- pompy (wyporowe, strumieniowe, wirowe),
- przenośniki powietrzne, elektromagnetyczne, gazowe,
- powietrzne podnośniki cieczy, przetłaczarki,
- czerpadła.

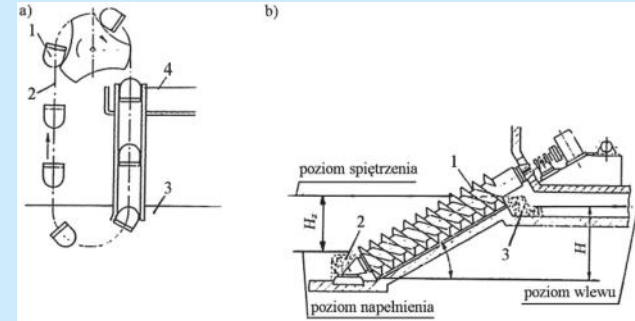
W zależności od postaci energii uzyskiwanej przez ciecz w przenośnikach cieczy dzieli się je także na:

- pompy hydrostatyczne (pompy wyporowe, przenośniki cieczy powietrzne, gazowe i podnośniki powietrzne),
- pompy hydrodynamiczne (pompy wirowe, strumieniowe, tarany hydrauliczne itp.).

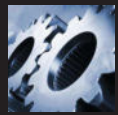


Pompy

Przenośniki cieczy



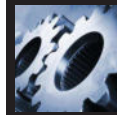
Czerpadła: a) pojemnikowe cięglowe: 1 – czerpak, 2 – cięgło przegubowe, 3 – zbiornik dolny, 4 – zbiornik górny; b) czerpadło śrubowe: 1 – śruba podnosząca ciecz, 2 – zbiornik dolny, 3 – zbiornik górny



Pompy

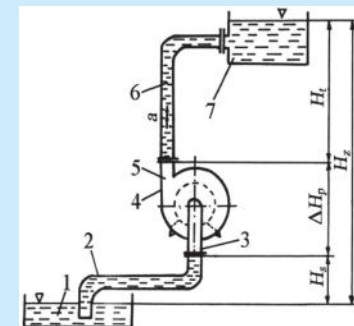
Wśród energetycznych maszyn roboczych szczególne miejsce zajmują pompy. Służą one do:

- podnoszenia cieczy z poziomu niższego na poziom wyższy,
- przetłaczania cieczy z obszaru o niskim ciśnieniu do obszaru o wysokim ciśnieniu,
- poziomego (lub prawie poziomego) przetłaczania cieczy przez długie przewody stawiające opór hydrauliczny.

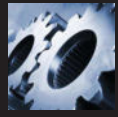


Pompy

Układ pompowy



Układ pompowy: 1 – zbiornik dolny, 2 – przewód ssawny, 3 – króciec ssawny, 4 – pompa, 5 – króciec tłoczny, 6 – przewód tłoczny, 7 – zbiornik górny



Pompy

Wielkości charakterystyczne

Działanie przedstawionego na rysunku układu pompowego określa kilka wielkości, m.in.:

wysokość podnoszenia – H_z – różnica poziomów cieczy pomiędzy górnym a dolnym zbiornikiem,

wysokość ssania – H_s – różnica wysokości położenia wlotu króćca ssawnego

i zwierciadła cieczy w dolnym zbiorniku,

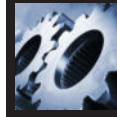
wysokość tłoczenia – H_t – różnica wysokości położenia zwierciadła cieczy

w zbiorniku górnym i wylotu króćca tłocznego,

wydajność pompy – V – strumień objętości cieczy w króćcu tłocznym,

moc napędowa – N_p – moc silnika napędzającego pompę, która podnosi strumień cieczy o ciężarze właściwym γ na wysokość H_z

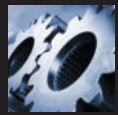
$$N_p = \frac{\gamma V H_z}{\eta}, \quad \text{gdzie } \eta \text{ jest sprawnością pompy}$$



Pompy

Pompy dzieli się ze względu na:

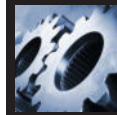
- rodzaj i stan pompowanego czynnika,
- miejsce zastosowania,
- zasadę działania i usytuowania w układzie pompowym,
- wydajność i wysokość podnoszenia.



Pompy

Ze względu na zasadę działania pompy dzieli się na:

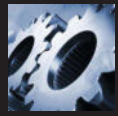
- wyporowe,
- wirowe



Pompy

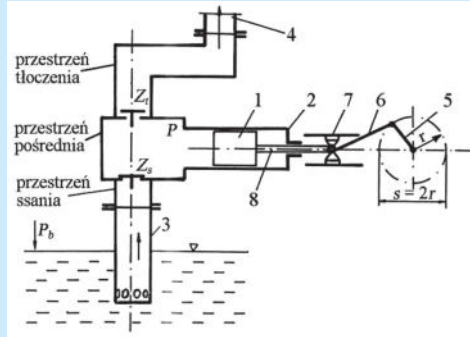
Pompy wyporowe

Wydajność pomp wyporowych, w zależności od typu i rozmiaru, mieści się w szerokich granicach od 0,001 do 10⁴ m³/h, wysokość podnoszenia sięga natomiast 500 MPa, a sprawność η mieści się w granicach 0,65÷0,99

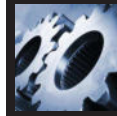


Pompy

Pompy wyporowe

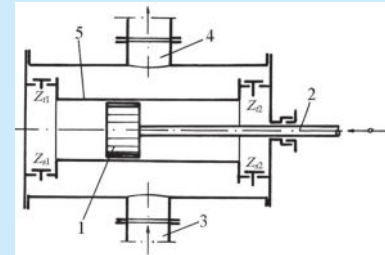


Schemat pompy tłokowej jednostronnego działania



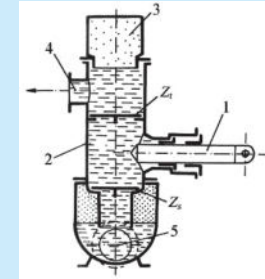
Pompy

Pompy wyporowe

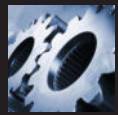


Pompa tłokowa dwustronnego działania:

1 – tłok, 2 – tłocznisko, 3 – przewód ssawny, 4 – przewód tłoczny, 5 – cylinder, Z_s – zawór ssący, Z_t – zawór tłoczny

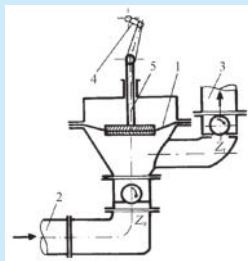


Pompa nurnikowa jednostronnie działająca, z powietrznikiem



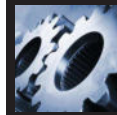
Pompy

Pompy wyporowe



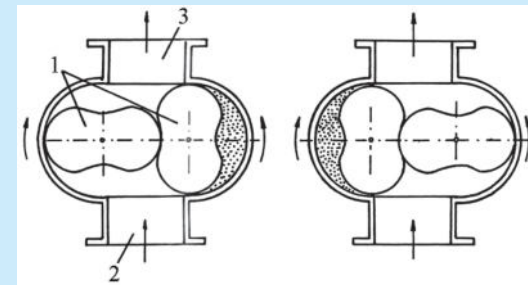
Pompa membranowa:

1 – membrana, 2 – króciec ssawny, 3 – króciec tłoczny, 4 – mechanizm korbowy, 5 – tłocznisko



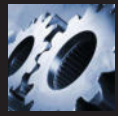
Pompy

Pompy wyporowe



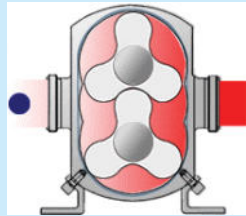
Pompa Roots:

1 – wirniki, 2 – króciec ssania, 3 – króciec tłoczenia



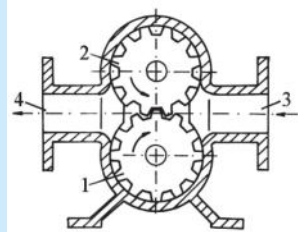
Pompy

Pompy wyporowe

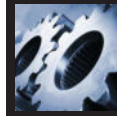


Pompy krzywkowe

Zbliżające się do siebie krzywki zmniejszają wolną przestrzeń wypierając na zewnątrz medium. Unikalność zasady działania oparta jest na tym że krzywki napędzane są oddzielnie poprzez własne wały – rozwiązanie to prowadzi do braku tarcia krzywek o siebie ani o żadną inną część pompy. Gwarantuje to delikatny proces pompowania oraz bardzo dużą trwałość pomp.

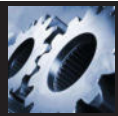
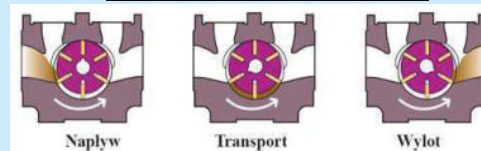
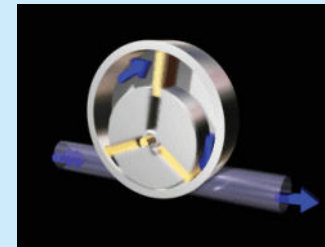


Pompa zębata:
1, 2 – koło zębate, 3 – króciec ssawny, 4 – króciec tłoczny



Pompy

Pompa próżniowa łopatkowa



Pompy

Pompy wyporowe charakteryzuje:

- bardzo duża wysokość podnoszenia,
- niezmienna wydajność, mimo znacznych zmian warunków pracy pompy,
- duża sprawność,
- zdolność samozasysania,
- niewrażliwość na obecność gazu w cieczy.

Do wad pomp wyporowych zalicza się m.in.:

- ograniczoną wydajność,
- pulsację ciśnienia na wylocie,
- zawodność związaną z wieloma wzajemnie poruszającymi się elementami.

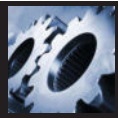


Pompy

Pompy wirowe

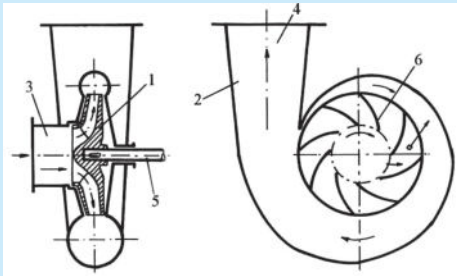
Działanie pomp wirowych polega na nadaniu cieczy w obracającym się wirniku dużej prędkości, a następnie zmianie energii kinetycznej cieczy (przez wyhamowanie cieczy) na energię potencjalną (ciśnienie).

Pompy wirowe – ze względu na kierunek przepływu cieczy w wirniku – dzieli się na: odśrodkowe, helikoidalne, diagonalne i śmigłowe.



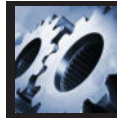
Pompy

Pompy wirowe



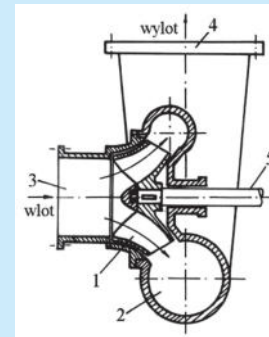
Pompa odśrodkowa:

1- wirnik, 2- spirala zbiorcza,
3,4- króciec wlotowy i wlotowy,
5- wał napędowy, 6- łopatk



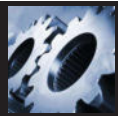
Pompy

Pompy wirowe



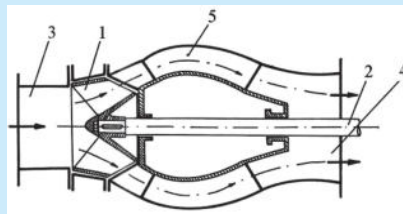
Pompa helikoidalna:

1 – wirnik, 2 – kolektor
zbiorczy,
3 – króciec wlotowy, 4 –
króciec wylotowy, 5 – wał

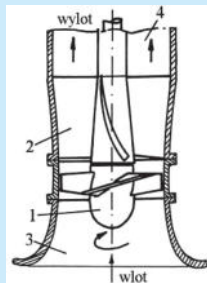


Pompy

Pompy wirowe



Pompa diagonalna: 1 – wirnik, 2 –
wał, 3 – lej wlotowy,
4 – wylot, 5 – kierownica

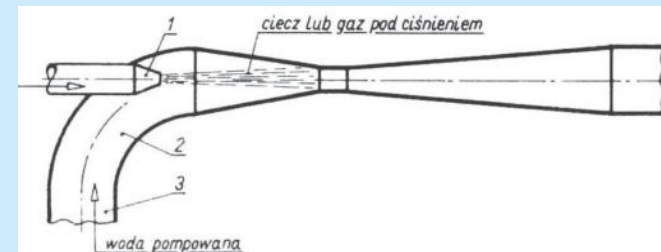


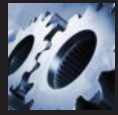
Pompa śmigłowa: 1 – wirnik,
2 – kierownice, 3 – lej wlotowy, 4
wylot



Pompy

Pompy inżektorowe - strumienice





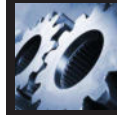
Pompy

Zalety pomp wirowych są następujące:

- duża wydajność mimo stosunkowo niewielkiej wysokości podnoszenia (V do około $5\div 7 \text{ m}^3/\text{s}$),
- małe rozmiary pompy,
- równomierność pracy (stałe parametry na wylocie pompy),
- bezpośrednie sprzężenie wału pompy z silnikiem,
- duża niezawodność i zdolność samoregulacji.

Do **wad pomp wirowych** zalicza się m.in.:

- brak zdolności samozasysania się,
- wrażliwość na zanieczyszczenia mechaniczne,
- wrażliwość na zawartość gazu w cieczy.



Urządzenia chłodnicze

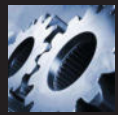
Procesy chłodzenia

Chłodzenie polega na przekazywaniu energii od ciała cieplejszego do ciała zimniejszego.

Urządzenia służące do wytwarzania ciała przyjmującego ciepło nazywa się **ziębiarkami**.

Wytworzenie takiego ciała wymaga zużycia energii (najczęściej elektrycznej lub mechanicznej).

W ziębieniu biorą więc udział:
ciało chłodzone, czynnik roboczy, nośnik energii i otoczenie.

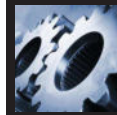


Urządzenia chłodnicze

W zależności od zakresu temperatury, jaką przyjmuje ciało po chłodzeniu, wyróżnia się następujące procesy:

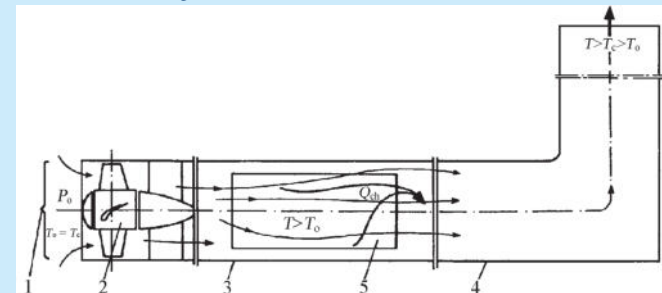
- ochładzanie lub studzenie ($T_k \leq T_o$),
- chłodzenie umiarkowane ($173,16 \text{ K} < T_k < T_o$),
- chłodzenie głębokie ($40 \text{ K} < T_k < 173,16 \text{ K}$),
- technika kriogeniczna ($T_k < 40 \text{ K}$).

Największe zastosowanie znalazły dwa pierwsze procesy.

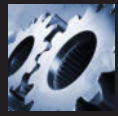


Urządzenia chłodnicze

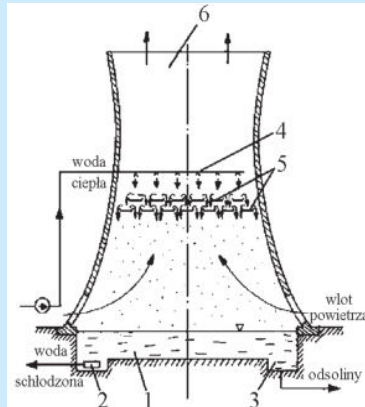
Urządzenia do ochładzania



- 1 – ciało chłodzące (np. powietrze), 2 – wentylator, 3 – komora chłodzenia,
- 4 – podzespół usuwania nośnika ciepła, 5 – ciało chłodzone;
- T – temperatura ciała chłodzonego, T_c – temperatura ciała chłodzącego,
- T_o – temperatura otoczenia



Urządzenia chłodnicze



Chłodnia kominowa wody:

- 1 – zbiornik wody,
- 2 – studnia ssawna,
- 3 – spust odsalający,
- 4 – wodorozdzielacz,
- 5 – zraszalnik,
- 6 – komin

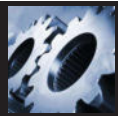


Urządzenia chłodnicze

Ziębiarki do chłodzenia umiarkowanego

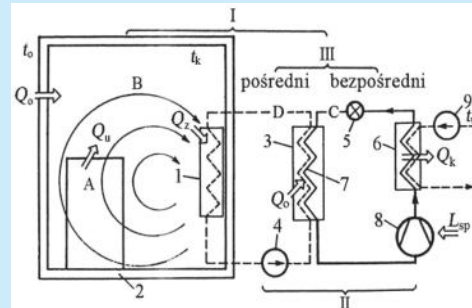
Dostarczona energia służy do wytworzenia ciała o temperaturze o tyle niższej od temperatury otoczenia, by ciało to odebrało ciepło od obiektu chłodzonego i w wyniku realizacji odpowiednich przemian przekazało je do otoczenia.

chłodzenie umiarkowane: $173K < T < T_0$,



Urządzenia chłodnicze

Ziębiarki do chłodzenia umiarkowanego



I – chłodnia, komora chłodni, kontener, chłodziarka domowa itp.,
 II – instalacja ziębnicza, urządzenie ziębnicze, ziębiarka,
 III – system ziębienia;

A – ciało oziębiane,
 B – ziębiwo,
 C – czynnik ziębniczy,
 D – chłodziwo;

1 – oziębiacz powietrza, 2 – przegroda izolacyjna,
 3 – oziębiacz cieczy, 4 – pompa ziębiwa,
 5 – zawór dławiący, 6 – skraplacz, 7 – parowacz,
 8 – sprężarka ziębnicza, 9 – pompa chłodziwa



Urządzenia chłodnicze

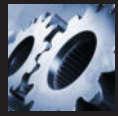
Podział urządzeń ziębniczych

W zależności od postaci energii dostarczonej do ziębiarki rozróżnia się urządzenia ziębnicze:

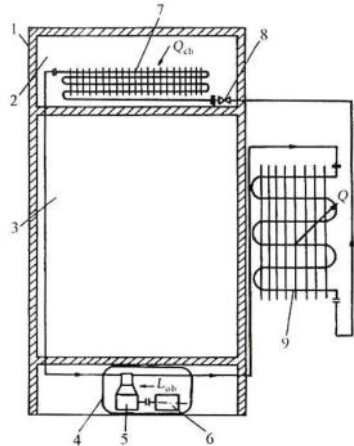
- mechaniczne (przeważnie sprężarkowe),
- absorpcyjne,
- strumieniowe,
- termoelektryczne.

Ze względu na czynnik roboczy ziębiarki dzieli się na gazowe i parowe.

Wyróżnia się też ziębiarki jedno- lub wielostopniowe; jedno- lub wieloczynnikowe; z chłodzeniem bezpośrednim lub pośrednim.

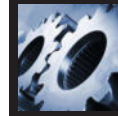


Urządzenia chłodnicze

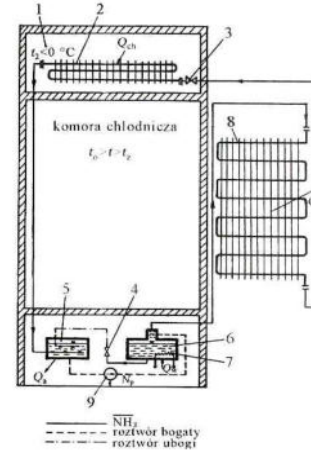


Ziębiarka sprężarkowa

- 1- szafa ziębiarki,
- 2- zamrażalnik ($t < 0^{\circ}\text{C}$),
- 3- komora chłodnicza ($t_0 > t > 0^{\circ}\text{C}$),
- 4- agregat sprężarkowy,
- 5- sprężarka, 6- silnik,
- 7- parowacz, 8- zawór dławiący rozprężny,
- 9- skraplacz

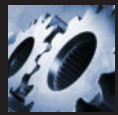


Urządzenia chłodnicze



Ziębiarka absorpcyjna

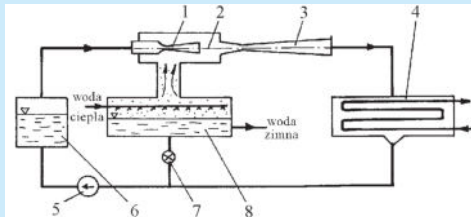
- 1- zamrażalnik,
- 2- parowacz,
- 3- zawór rozprężny,
- 4- zawór dławiący roztworu ubogiego,
- 5- absorber,
- 6- wariak,
- 7- grzałka,
- 8- skraplacz, 9- pompa roztworu bogatego



Urządzenia chłodnicze

Ziębiarka strumieniowa

Parowe ziębiarki strumieniowe stosuje się do oziębiania wody, zazwyczaj do temperatury nie niższej niż 275 K, która jest używana w klimatyzacji, przemyśle spożywczym, chemicznym, farmaceutycznym i innych.

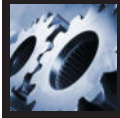


- 1 – dysza, 2 – komora mieszania, 3 – dyfuzor, 4 – skraplacz,
- 5 – pompa, 6 – źródło pary, 7 – zawór regulacyjny, 8 – parownik



Elektrownie jądrowe

W siłowniach jądrowych do ogrzewania wykorzystuje się energię wiązania cząstek atomu, która wyzwala się podczas rozszczepienia jąder atomów, czyli tzw. *reakcji jądrowej*.



Elektrownie jądrowe

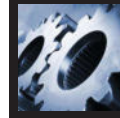
Rozszczepienie jąder

Energia wyzwala się w postaci ciepła (energia kinetyczna produktów rozszczepienia; ok. 200 MeV na jedno rozszczepienie).

Uwolnione neutrony inicjują kolejne rozszczepienia (reakcja łańcuchowa).

Energia cieplna odprowadzana jest z reaktora poprzez chłodziwo (woda, gaz, ciekły metal).

Fission



Elektrownie jądrowe

Masa krytyczna

Minimalną ilość materiału rozszczepialnego umożliwiającą rozwój reakcji łańcuchowej nazywa się **masą krytyczną**. Wielkość masy krytycznej zależy od geometrii bryły, rodzaju izotopu, zanieczyszczeń i domieszek.

Ucieczkę neutronów z rdzenia można wydatnie zmniejszyć przez otoczenie go **reflektorem**, to jest płaszczem z materiału odbijającego neutrony do rdzenia. Materiałami o takich właściwościach stosowanymi na reflektor są lekka i ciężka woda, grafit i beryl.



Elektrownie jądrowe

Neutrony prężkie i termiczne

Zdolność neutronów do rozszczepienia jąder atomów izotopu ^{235}U zależy od ich energii kinetycznej.

Z tego powodu dzieli się umownie neutrony na:

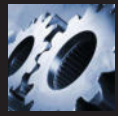
- **prężkie**, o energii ponad 0,5 MeV,
- **epitermiczne (pośrednie)**, o energii od 0,1 eV do 0,5 MeV,
- **termiczne** (zwane też powolnymi) o en. około 0,025 eV.



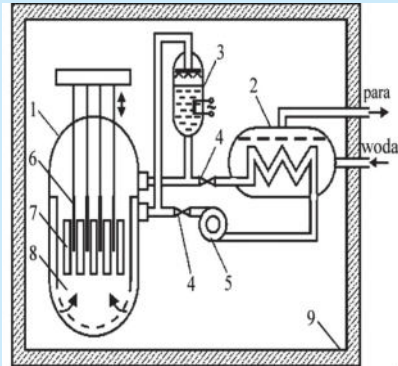
Elektrownie jądrowe

Najbardziej skuteczne w rozszczepianiu jąder U^{235} są neutrony *termiczne*.

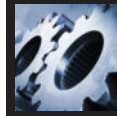
Reaktory termiczne - reaktory, których działanie opiera się na rozszczepianiu jąder U^{235} neutronami *termicznymi*.



Elektrownie jądrowe



Schemat **termicznego reaktora jądrowego**, 1 – zbiornik, 2 – generator pary, 3 – stabilizator ciśnienia, 4 – zawory, 5 – pompa, 6 – pręty sterownicze, 7 – rdzeń, 8 – woda, 9 – osłona reaktora



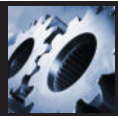
Elektrownie jądrowe

Spowalnianie neutronów - moderacja

Emitowane w wyniku rozszczepienia neutrony mają zawsze energię znacznie przekraczającą energię neutronów *termicznych*.

W celu zwiększenia efektywności neutronów w rozszczepianiu jąder ^{235}U należy zmniejszyć ich energię do poziomu energii neutronów *termicznych*.

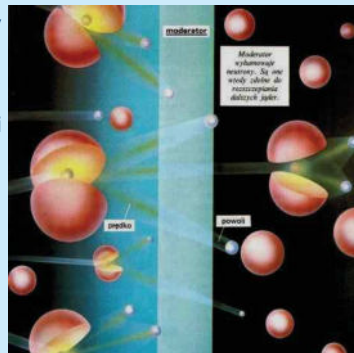
Aby spowolnić neutrony, materiał rozszczepialny miesza się z materiałem spowalniającym, zwanym **moderatorem**.



Elektrownie jądrowe

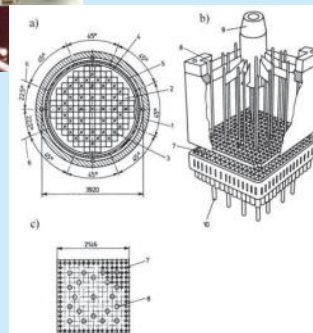
Proces spowalniania neutronów, zwany **moderacją**, polega na licznych, sprężystych zderzeniach z jądrami moderatora, które odbierają część energii neutronów.

Materiałem najskuteczniej spowalniającym neutrony jest lekka woda, jako moderator stosuje się także ciężką wodę (D_2O), grafit oraz beryl.

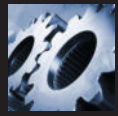


Elektrownie jądrowe

Rdzeń i zestaw paliwowy reaktora termicznego



a) przekrój rdzenia, b) widok zestawu paliwowego z układem prętów regulacyjnych, c) przekrój przez zestaw paliwowy: 1 – ściana zbiornika reaktora, 2 – zestaw paliwowy, 3 – zestaw paliwowy z układem prętów regulacyjnych, 4 – kosz rdzenia, 5 – osłona termiczna, 6 – osie króćców wlotowych i wylotowych, 7 – pręt paliwowy, 8 – pręt regulacyjny, 9 – zespół prętów regulacyjnych, 10 – prowadnice prętów regulacyjnych

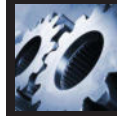


Elektrownie jądrowe

Klasyfikacja reaktorów ze względu na konstrukcję

Rozróżnia się dwa rozwiązania konstrukcji reaktorów energetycznych:

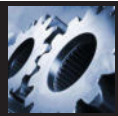
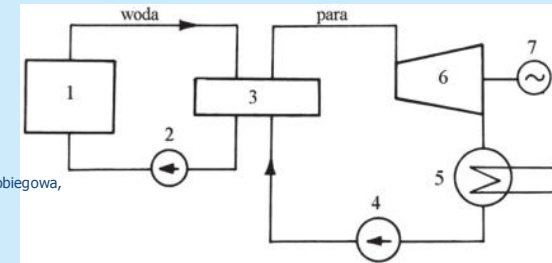
- **Zbiornikowe** (reaktory typu PWR, BWR), których rdzeń zamknięty jest w grubościennym zbiorniku stalowym (przystosowanym do wytrzymywania wysokich ciśnień (dla reaktora PWR są to ciśnienia rzędu 15 MPa),
- **Kanałowe** (reaktory typu CANDU, RBMK), zawierające ciśnieniowe kanały paliwowe o niewielkiej średnicy.



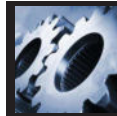
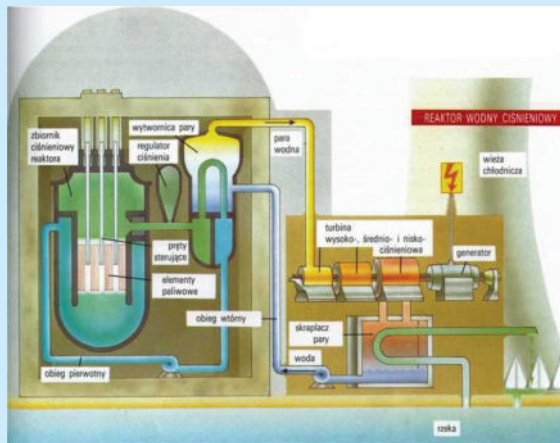
Elektrownie jądrowe

Elektrownia z reaktorem PWR

Cięśniowe reaktory wodne PWR (ang. *Pressure-Water Reactor*) są obecnie najpowszechniej stosowane w energetyce jądrowej. Czynnikiem chłodzącym, moderatorem i reflektorem jest woda lekka pod wysokim ciśnieniem, które uniemożliwia wystąpienie wrzenia w obiegu chłodzącym rdzenia.

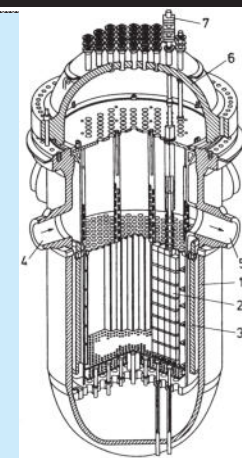
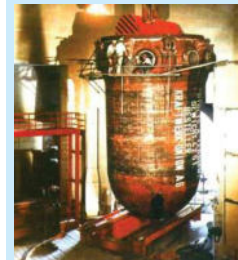


Elektrownie jądrowe

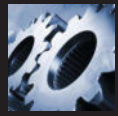


Elektrownie jądrowe

Reaktor PWR



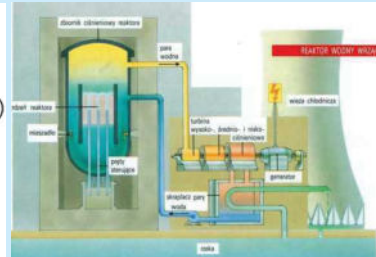
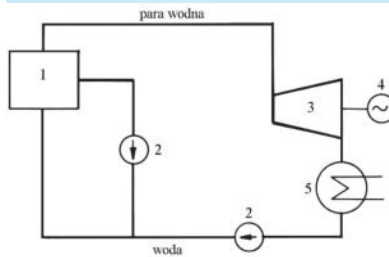
Przekrój przez zbiornik ciśnieniowy typowego reaktora PWR:
1 – zbiornik reaktora, 2 – zestawy paliwowe, 3 – osłona termiczna, 4 – wlot wody chłodzącej, 5 – wylot, 6 – głowica zbiornika, 7 – napęd zespołu prętów regulacyjnych



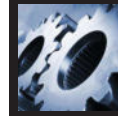
Elektrownie jądrowe

Elektrownia z reaktorem BWR

W reaktorach z wrzącą wodą (BWR – ang. *Boiling-Water Reactor*) woda jest czynnikiem chłodzącym, moderatorem i reflektorem, a także czynnikiem roboczym w turbinie parowej.

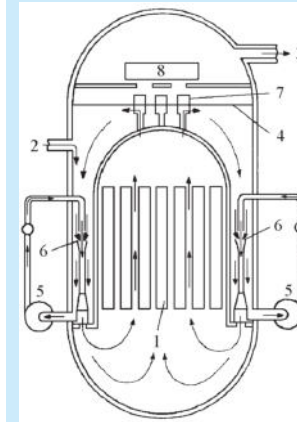


Elektrownia z reaktorem BWR (BWR – ang. *Boiling-Water REAKTOR*): 1 – reaktor BWR, 2 – pompa, 3 – turbina, 4 – generator, 5 – skraplacz

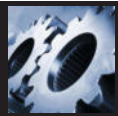


Elektrownie jądrowe

Reaktor BWR



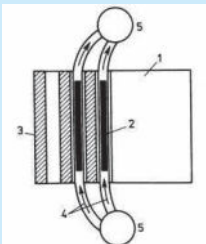
- 1 – rdzeń reaktora,
- 2 – wlot wody zasilającej,
- 3 – wylot pary,
- 4 – poziom wody,
- 5 – pompa cyrkulacyjna,
- 6 – pompa strumieniowa,
- 7 – separatory pary,
- 8 – osuszacz pary



Elektrownie jądrowe

Reaktor kanałowy

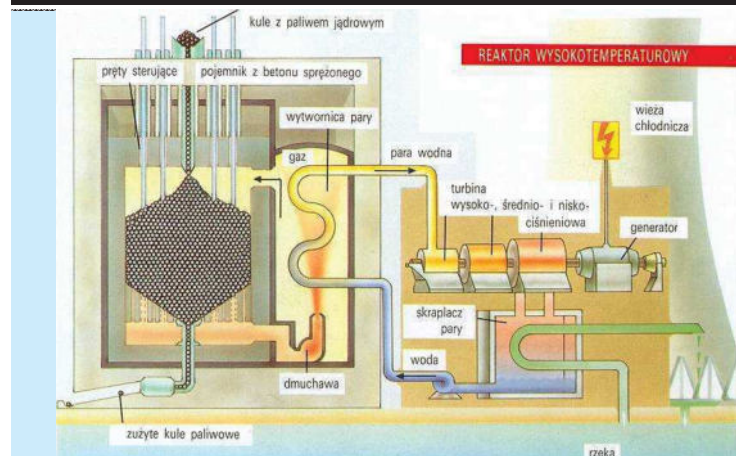
W ciśnieniowym reaktorze wodnym, znanym jako reaktor PHWR (ang. *Pressure-Heavy Water Reactor*), jako chłodziwo jest stosowana ciężka woda, która w znacznie mniejszym stopniu pochłania neutrony niż woda lekka, co umożliwia zastosowanie jako paliwa jądrowego uranu naturalnego (zawierającego tylko 0,7% ²³⁵U). Dzięki temu rozwiązaniu unika się kosztów wzbogacania uranu, ale uzyskane korzyści ekonomiczne zostają pomniejszone o wysokie koszty ciężkiej wody

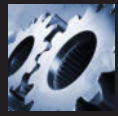


- Reaktor kanałowy CANDU, w którym (w odróżnieniu od PWR) pod wysokim ciśnieniem znajdują się kanały o niewielkiej średnicy, zawierające pojedyncze zestawy paliwowe:
- 1 – rdzeń reaktora,
 - 2 – zespół paliwowy,
 - 3 – moderator,
 - 4 – ciśnieniowe kanały paliwowe,
 - 5 – kolektory wodne

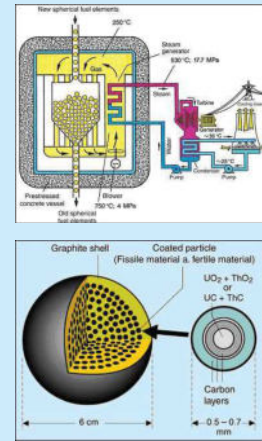


Elektrownie jądrowe

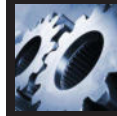
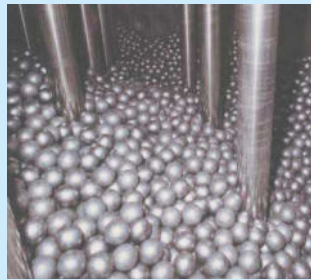




Elektrownie jądrowe

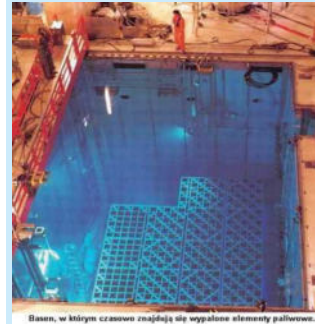


Reaktor wysokotemperaturowy

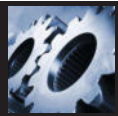
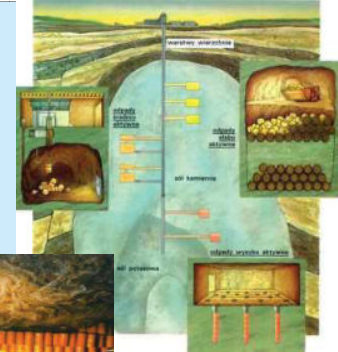


Elektrownie jądrowe

Składowanie odpadów



Basen, w którym czasowo znajdują się wypalone elementy paliwowe.



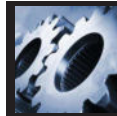
Elektrownie jądrowe

•ZALETY

Otrzymuje się dużą ilość energii z małej ilości paliwa- 1 kg uranu równoważy 3000 ton węgla. Podczas normalnej eksploatacji są prawie zupełnie nieszkodliwe. Niskie koszty eksploatacji po uruchomieniu.

•WADY

Jeśli elektrownia nie ma właściwych układów bezpieczeństwa, istnieje groźba skażeń w razie awarii. Problemy ze składowaniem wypalonego paliwa. Wysokie koszty budowy i rozbiórki elektrowni gdy zakończy już swoją działalność.



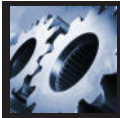
Energetyka niekonwencjonalna

Energetyka konwencjonalna opiera się na wykorzystaniu paliw kopalnych pochodzenia organicznego:

- węgla,
- ropy naftowej,
- gazu ziemnego.

Zalety: źródła szeroko obecnie dostępne i głównie sprawdzone technologie.

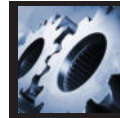
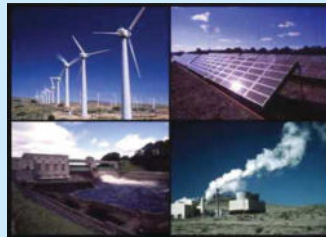
Wady: zanieczyszczenie środowiska, ograniczone zasoby



Energetyka niekonwencjonalna

Energetyka niekonwencjonalna opiera się na wykorzystaniu energii z innych źródeł niż z paliw kopalnych.

Źródła te, w zależności od wykorzystywanych zasobów energii dzieli się na odnawialne i nieodnawialne.



Energetyka niekonwencjonalna

oparta na źródłach odnawialnych:

- energia słoneczna (kolektory słoneczne, fotoogniwa),
- energia wiatrowa,
- energia wodna,
- energia biomasy i biogazu (drewno, słoma, oleje roślinne, gaz wysypiskowy i inne),
- energia geotermalna,

i oparta na innych źródłach:

- energia jądrowa,
- inne (np. wodór, ogniwa paliwowe, MHD, termogenerator, ...).



Energetyka niekonwencjonalna



Energetyka niekonwencjonalna

Potencjał techniczny zasobów energii odnawialnej w Polsce

Nośnik energii	Jedn.	Potencjał techniczny
Energia słoneczna	PJ	60
Energia wiatrowa	PJ	36
Energia geotermalna	PJ	100
Energia wodna	PJ	50
Biomasa	PJ	300
Razem	PJ	546

Udział energii odnawialnej w bilansie energetycznym Polski

Rok	2000	2010	2020
Udział	2,5%	7,5%	14,0%

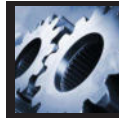
Wybór jakiego rodzaju energii odnawialnej (jako strategicznego) pozwoli na spełnienie tego wymogu?



Energetyka niekonwencjonalna

Perspektywiczne źródła energii odnawialnej

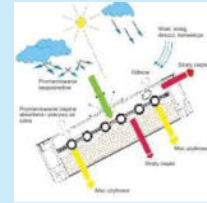
- spalanie biomasy (np. kotły na drewno, słomę itp.),
- przetwarzanie biomasy na biopaliwa,
- biogazownie rolnicze,
- biogazownie komunalne produkujące ciepło i energię elektryczną (surowiec w postaci osadu ściekowego),
- instalacje wykorzystania gazu wysypiskowego do produkcji energii elektrycznej lub współwytworzenia ciepła i elektryczności,
- kolektory słoneczne do podgrzewania wody użytkowej lub powietrza,
- systemy fotowoltaiczne,
- elektrownie wiatrowe,
- małe elektrownie wodne (MEW),
- ciepłownie geotermalne.



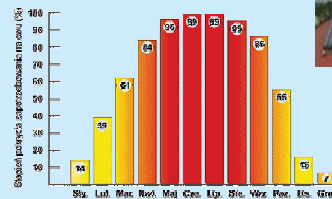
Energetyka niekonwencjonalna

Kolektory słoneczne

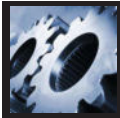
Energia promieniowania słonecznego tylko w części daje się zamienić na energię użytkową, reszta ulega odbiciu lub rozproszeniu do otoczenia.



Szczegółowy etap w procesie absorpcji i wykorzystania energii słonecznej w kolektorach słonecznych



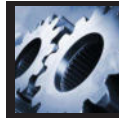
Największym problemem nie jest pozyskanie tej energii lecz jej zmagazynowanie i wykorzystanie w odpowiednim czasie



Energetyka niekonwencjonalna

Fotogniwa

- ✓ Energia elektryczna wytwarzana jest bezpośrednio (koszt 5\$/W).
- ✓ Moc jest wytwarzana nawet w pochmurne dni przy wykorzystaniu światła rozproszonego.
- ✓ Obsługa i konserwacja wymagają minimalnych nakładów.
- ✓ W czasie produkcji energii elektrycznej nie powstają szkodliwe gazy.



Energetyka niekonwencjonalna

Elektrownia słoneczna



Elektrownia słoneczna THEMIS (Francja):
Temperatura czynnika obiegowego - 430/285°C
Wydajność – 180 t/h
Parametry pary świeżej – 5MPa, 410°C
Znamionowa moc turbiny – 2 MW



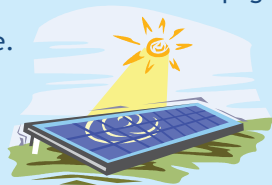
Energetyka niekonwencjonalna

Energia słoneczna

• ZALETY

Czyste źródło odnawialnej energii - brak emisji zanieczyszczeń.

Ogniwa słoneczne nie wymagają szczególnej konserwacji poza czyszczeniem, i są niezawodne.



• WADY

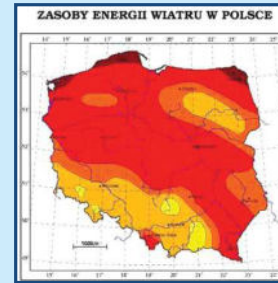
Instalacja ogniw zajmuje rozległe obszary.

Skuteczne działanie zależne jest od kaprysów pogody.



Energetyka niekonwencjonalna

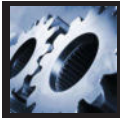
Energia wiatru



- zakres pracy - 4 do 25m/s
- moc - do 5 MW
- sprawność - powyżej 30%

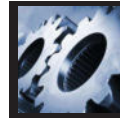
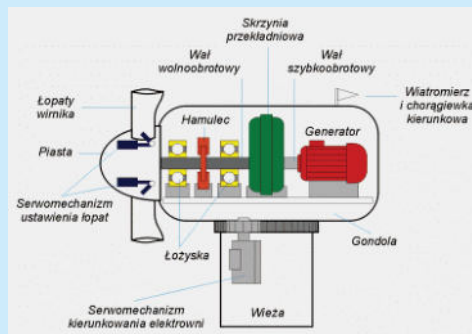


W Polsce w roku 2001 pracowało 29 elektrowni wiatrowych o łącznej mocy 9,6 MW



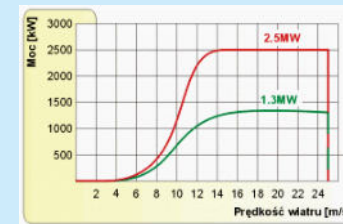
Energetyka niekonwencjonalna

Budowa turbiny wiatrowej



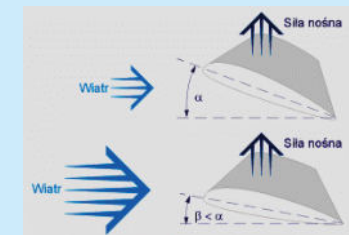
Energetyka niekonwencjonalna

Regulacja pracy turbiny wiatrowej



„Krzywa mocy” turbiny wiatrowej

Regulacja kąta śmigieł





Energetyka niekonwencjonalna

Energia wiatru

•ZALETY

Czyste źródło odnawialnej energii.
Nie wymaga dostaw paliwa ani wody.



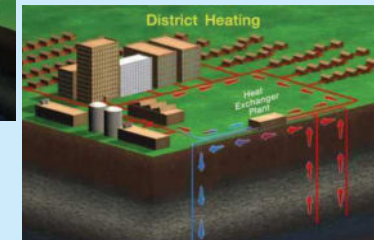
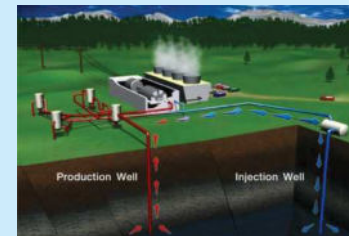
•WADY

Wysokie koszty budowy i utrzymania.
Zależność od wiatru, nierównomierność dostaw energii.
Ingerencja w krajobraz, instalacja wiatraków zajmuje rozległe obszary stracone dla rolnictwa.
Hałas turbin.
Zakłócenia fal radiowych i telewizyjnych.



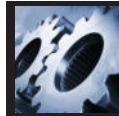
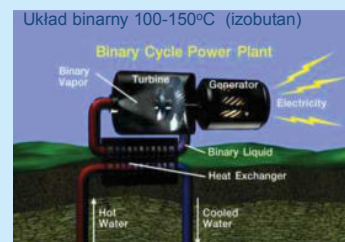
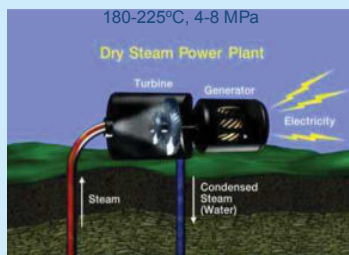
Energetyka niekonwencjonalna

Energetyka geotermalna



Energetyka niekonwencjonalna

Energetyka geotermalna – wytwarzanie energii elektrycznej

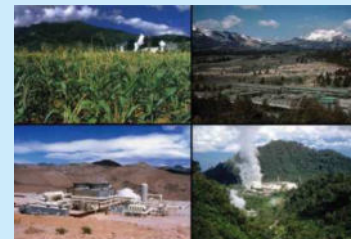


Energetyka niekonwencjonalna

Energetyka geotermalna

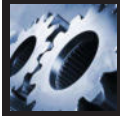
•ZALETY

Niewyczerpalne, czyste źródło energii.



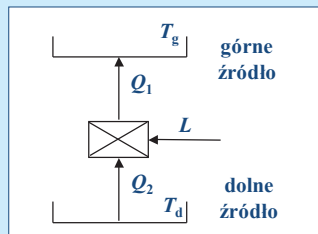
•WADY

Drogie instalacje.
Problemy techniczne przy utrzymaniu urządzeń.
Odpowiednie skały występują w niewielu miejscach na świecie.
Uwalnia się radon i siarkowodor.

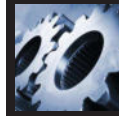


Energetyka niekonwencjonalna

Pompą ciepła nazywa się maszynę cieplną, dzięki której ciepło jest pobierane z ciała o temperaturze niższej (T_d) i przekazywane do ciała o temperaturze wyższej (T_g) kosztem dostarczonej energii napędowej (L).



Przykładowy bilans pompy ciepła



Energetyka niekonwencjonalna

Pompy ciepła

Ze względu na przeznaczenie rozróżnia się pompy ciepła:

➤ **do celów grzewczych**, gdy ciepło Q_d pobierane z otoczenia lub ze źródła o nieco wyższej temperaturze T_d przekazywane jest do ogrzewanego pomieszczenia o temperaturze T_g ,

➤ **technologiczne**, gdy ciepło Q_d ze źródła o temperaturze $T_d > T_o$ przekazywane jest do odbiornika, czyli ciała o temperaturze T_g w różnych procesach technologicznych (z wykorzystaniem wyparek, dla klimatyzacji w układach odzysku energii ze źródeł odpadowych itp.). W obydwu przypadkach ciepło Q_g jest większe od Q_d o nakład energetyczny (L_N lub Q_N) na realizację procesów zachodzących w tych maszynach,

➤ **transformatory ciepła**, w których ciepło Q_N ze źródła o temperaturze T_N napędza procesy, w wyniku których część Q_g ciepła trafi do ciała o temperaturze $T_g > T_N$, a część trafi do otoczenia $Q_o = Q_d$.

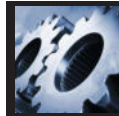


Energetyka niekonwencjonalna

Pompy ciepła

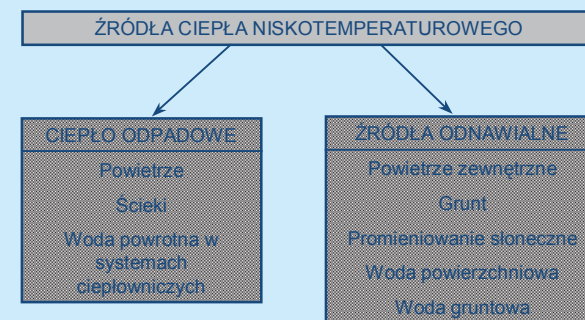
Ze względu na rodzaj procesów zachodzących w pompach ciepła można je podzielić na:

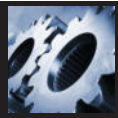
- sprężarkowe,
- sorpcyjne,
- termoelektryczne,
- strumieniowe,
- wykorzystujące efekt wirowy,
- chemiczne,
- elektrodyfuzyjne



Energetyka niekonwencjonalna

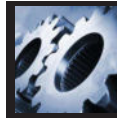
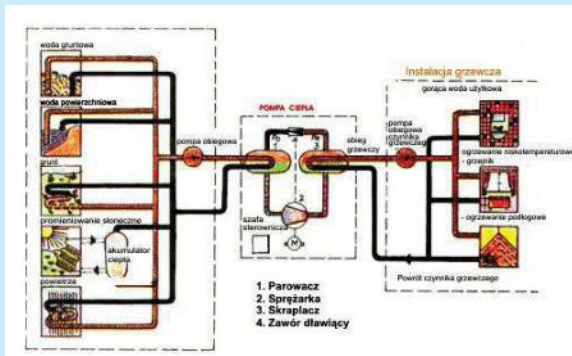
Pompy ciepła - klasyfikacja źródeł ciepła niskotemperaturowego do zasilania parowaczy pomp ciepła





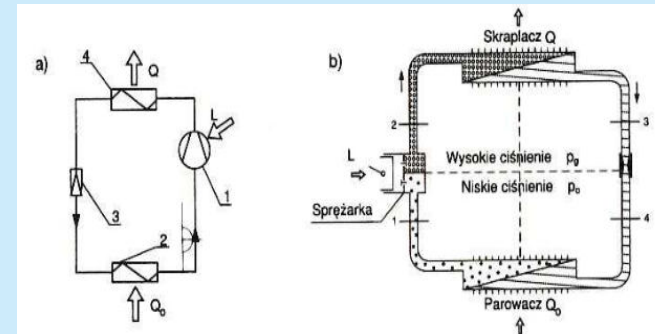
Energetyka niekonwencjonalna

Pompy ciepła – źródła ciepła

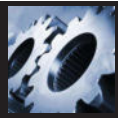


Energetyka niekonwencjonalna

Sprężarkowa pompa ciepła



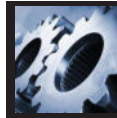
a) ideowy schemat instalacji, b) zmiany fazy czynnika roboczego w instalacji pompy ciepła



Urządzenia do oczyszczania spalin

Najważniejsze zanieczyszczenia emitowane z gazami w procesach spalania paliw:

- Dwutlenek siarki (SO_2)
- Tlenki azotu (NO_x)
- Tlenek węgla (CO)
- Popiół lotny



Urządzenia do oczyszczania spalin

Metody zmniejszania emisji zanieczyszczeń z kotłów można umownie podzielić na trzy grupy działań, wykonywanych:

- przed kotłem,
- w kotle (metody pierwotne),
- za kotłem (metody wtórne).

Urządzenia do oczyszczania spalin

Odsiarczanie spalin

Metody zmniejszania zawartości dwutlenku siarki w spalinach można podzielić na trzy grupy:

- usuwanie siarki z węgla (piryt- FeS_2),
- wiązanie SO_2 podczas spalania (met. suche),
- usuwanie SO_2 ze spalin poza kotłem (met. półsuche i mokre).

Urządzenia do oczyszczania spalin

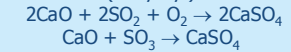
Sucha metoda odsiarczania spalin

polega na reagowaniu SO_2 ze związkami chemicznymi, zwanymi **sorbentami**, w palenisku kotłowym.

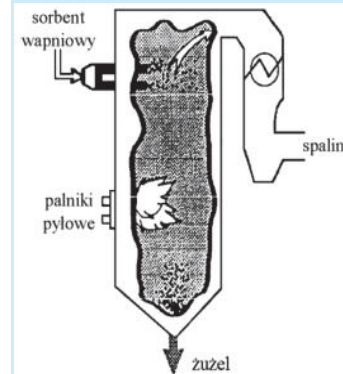
Sorbentami są przede wszystkim węglany: wapień (CaCO_3) i dolomit ($\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$).

Pod wpływem wysokiej temperatury w palenisku węglan wapnia ulega rozkładowi na tlenek wapnia i dwutlenek węgla
 $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$

Tlenek wapnia (CaO) reaguje z tlenkami siarki (SO_2 i SO_3), dając siarczan wapnia CaSO_4 (anhydryt)

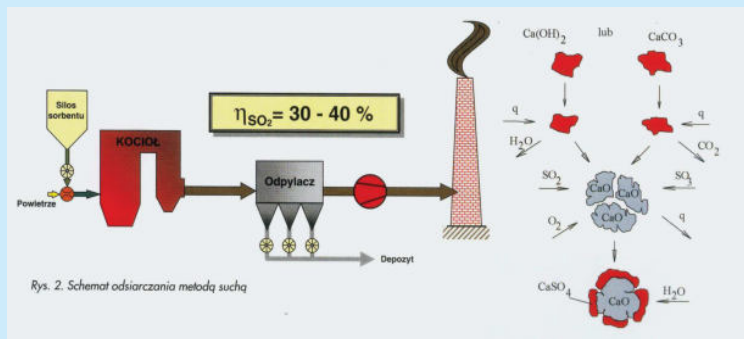


Sprawność do 50%



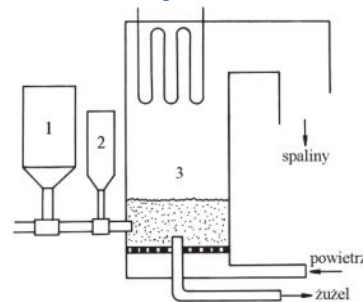
Urządzenia do oczyszczania spalin

Odsiarczanie spalin metodą suchą



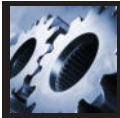
Urządzenia do oczyszczania spalin

Odsiarczanie w paleniskach fluidalnych



- 1 – węgiel, 2 – sorbent,
- 3 – złożo fluidalne

Skuteczność odsiarczania spalin w kotle fluidalnym przekracza 80% dla stosunku molowego Ca:S = 1,5 w palenisku, a dla Ca:S = 2,5 osiąga nawet 95%.



Urządzenia do oczyszczania spalin

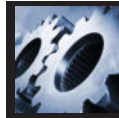
Usuwanie SO₂ ze spalin za kotłem

Metody usuwania dwutlenku siarki ze spalin można podzielić (ze względu na stosowane urządzenia) na:

- mokre,
- półsuchoe,
- adsorpcyjne i katalityczne,

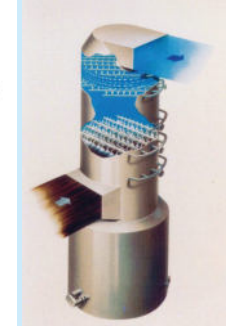
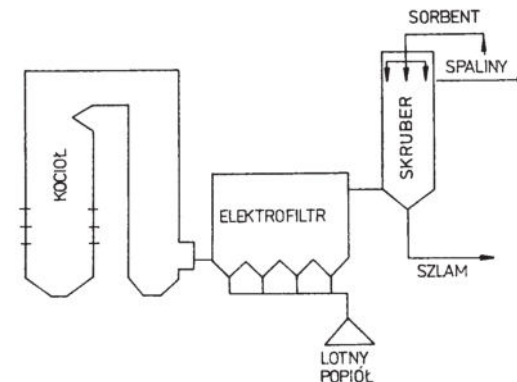
w których stosuje się różne sorbenty: najczęściej używane wapniowe oraz sodowe, amoniakalne i magnezowe.

W energetyce węglowej do oznaczania instalacji odsiarczania spalin stosuje się skrót IOS.

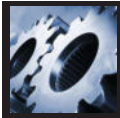


Urządzenia do oczyszczania spalin

Schemat mokrego odsiarczania spalin



Kolumna natryskowa absorbera



Urządzenia do oczyszczania spalin

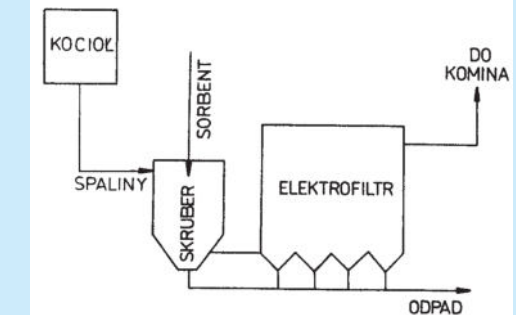
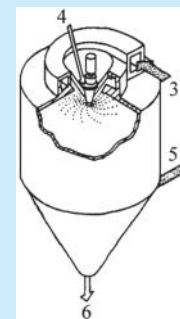


Elektrownia Belchatów - instalacja odsiarczania dla bloków 5 i 6



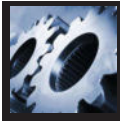
Urządzenia do oczyszczania spalin

Schemat odsiarczania metodą półsuchą



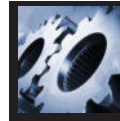
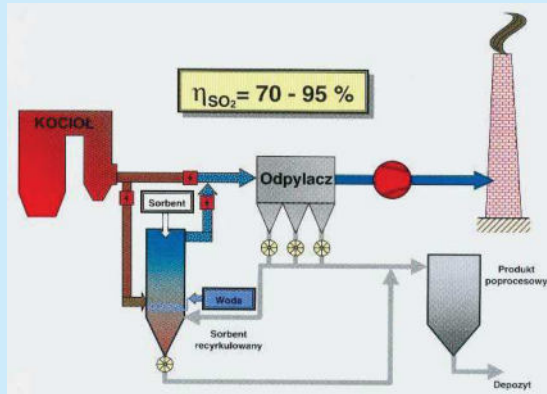
1 – absorber, 2 – elektrofiltr, 3 – wlot spalin, 4 – dysza rozpylania sorbentu, 5 – wylot spalin, 6 – odprowadzenie produktów odsiarczania

Najczęściej jako sorbent jest stosowany wodorotlenek wapnia w stężeniu 15–25%.
Efektywność odsiarczania spalin tymi metodami sięga 75% dla Ca:S=2



Urządzenia do oczyszczania spalin

Schemat odsiarczania metodą półsuchą

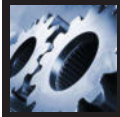
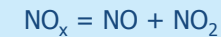


Urządzenia do oczyszczania spalin

Ograniczanie emisji NO_x

Metody ograniczania emisji tlenków azotu powstających podczas spalania paliw dzieli się na dwie grupy przedsięwzięć:

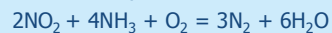
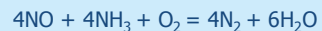
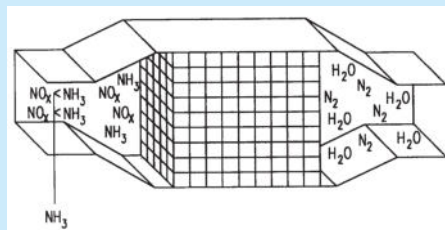
- **pierwotne** – polegające na zmianie organizacji spalania,
- **wtórne** – mające na celu redukcję NO_x w spalinach.



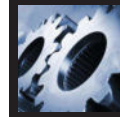
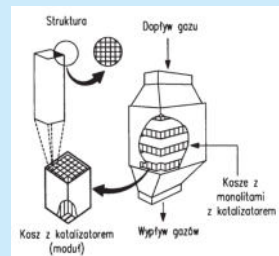
Urządzenia do oczyszczania spalin

Metody wtórne

Katalityczna metoda deNO_x



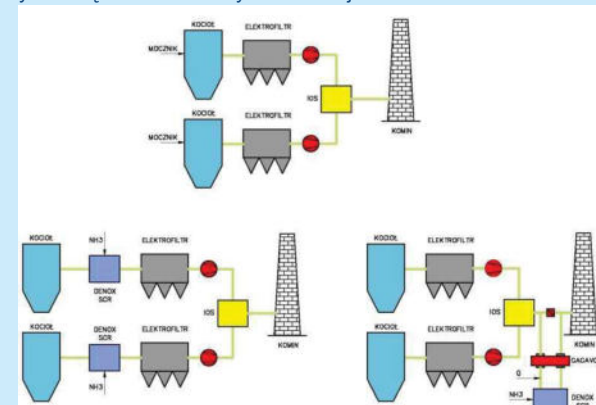
Selektywna redukcja NO amoniakiem „na katalizatorze wanadowym” przebiega efektywnie w obecności tlenu w spalinach w temperaturze 330–430 °C, a jej skuteczność w warunkach przemysłowych przekracza 90%.

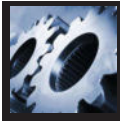


Urządzenia do oczyszczania spalin

Metody wtórne

Schematy rozwiązań wariantowych instalacji DeNO_x





Urządzenia do oczyszczania spalin

Metody pierwotne odazotowania spalin

Metody pierwotne odazotowania spalin polegają na takiej modyfikacji organizacji procesu spalania, żeby ograniczyć powstawanie NO_x , a już wytworzone zredukować do N_2 (redukcja to reakcja odwrotna do utleniania).

W węglowych kotłach energetycznych największe zastosowanie do ograniczania emisji NO_x znalazła zasada *stopniowania powietrza*, przede wszystkim przez użycie:

- niskoemisyjnych palników pyłowych,
- dysz OFA.

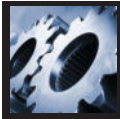
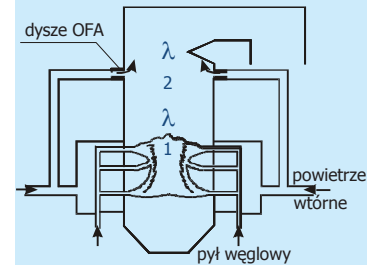


Urządzenia do oczyszczania spalin

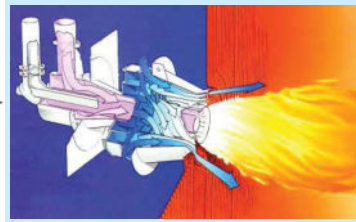
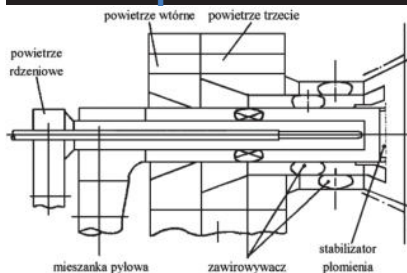
Stopniowanie powietrza w skali całej komory paleniskowej polega na podziale całkowitego strumienia powietrza do spalania na:

- strumień powietrza podawanego do palników (u dołu paleniska),
- strumień powietrza do dysz OFA (u góry paleniska).

OFA to skrót od ang. *Over Fire Air* – powietrze podawane nad palnikami albo bardziej prawidłowo – w górnej części paleniska kotłowego.



Urządzenia do oczyszczania spalin

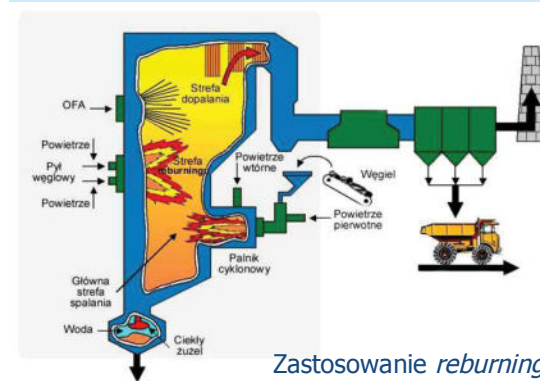


Palniki niskoemisyjne

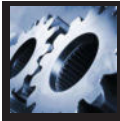


Urządzenia do oczyszczania spalin

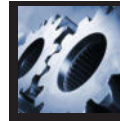
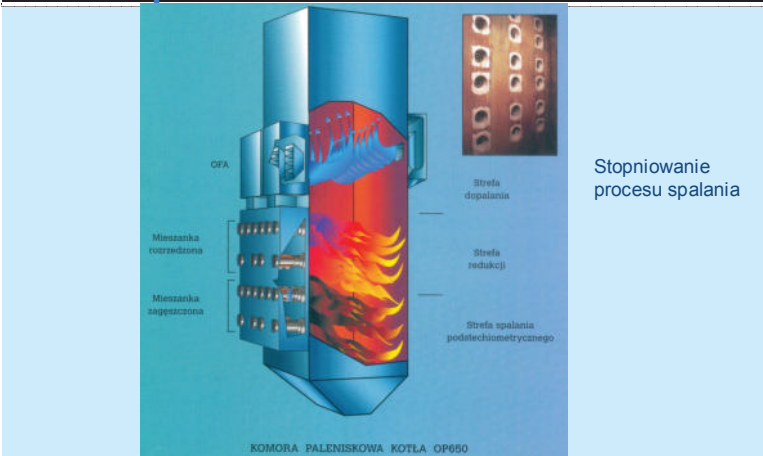
Spalanie ze stopniowaniem paliwa i powietrza (reburning)



Zastosowanie *reburningu* w kotle pyłowym



Urządzenia do oczyszczania spalin

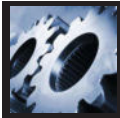


Urządzenia do oczyszczania spalin

Odpylanie spalin

Najczęściej stosowane urządzenia odpylające, z uwagi na zastosowane w nich mechanizmy oddzielania fazy stałej od gazu, dzieli się na:

- mechaniczne, działające na zasadzie sił odśrodkowych,
- tkaninowe,
- elektrostatyczne.

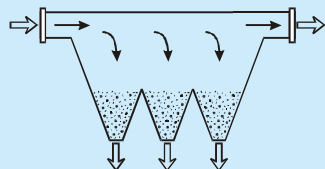


Urządzenia do oczyszczania spalin

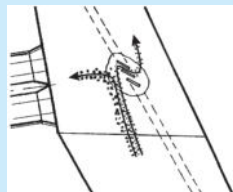
Mechaniczne urządzenia odpylające

W zależności od sposobu separacji cząstek pyłu od gazu mechaniczne urządzenia odpylające dzieli się na trzy typy:

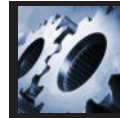
- komory osadczowe,
- odpylacze żaluzjowe,
- cyklony.



Odpylanie gazu w komorze osadczowej

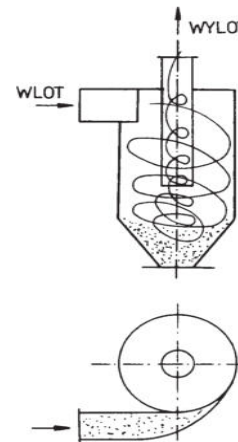


Separacja pyłu za pomocą żaluzji

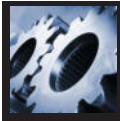


Urządzenia do oczyszczania spalin

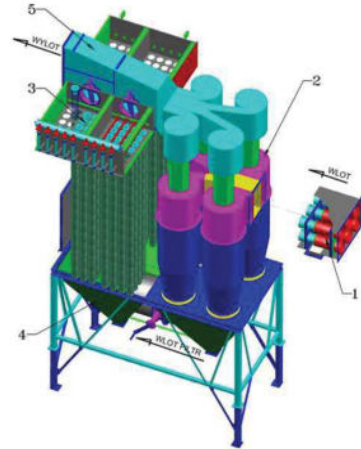
Odpylacz cyklonowy



Skuteczność odpylania gazu cyklonami w istotny sposób zależy od rozmiarów cząstek pyłu: w przypadku cząstek powyżej 40–50 μm skuteczność odpylania sięga 80–90%, wraz ze zmniejszaniem się ich rozmiarów skuteczność maleje.



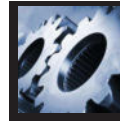
Urządzenia do oczyszczania spalin



Znacznym ograniczeniem stosowania cyklonów jest spadek sprawności odpylania wraz ze zwiększeniem średnicy cyklonu.

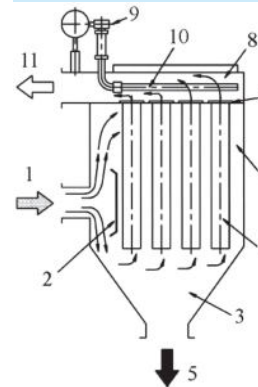
W celu uzyskania większej przepustowości urządzenia odpylającego, z zachowaniem wysokiej efektywności odpylania, stosuje się baterie cyklonów połączonych równoległe.

1. Multicyklon przelotowy
2. Bateria cyklonów
3. Filtr workowy pulsacyjny
4. Zsyp
5. Kolektor wylotowy



Urządzenia do oczyszczania spalin

Odpylacze tkaninowe

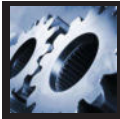


W *odpylaczu tkaninowym* zapyłony gaz przepływa przez tkaninę filtracyjną, uformowaną w kształcie worków, i osadza się na jej zewnętrznej stronie.

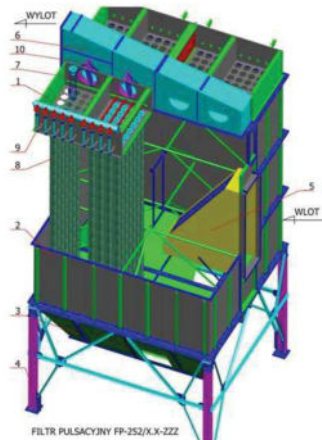
Odpylacz workowy:

- 1 – wlot zapyłonego powietrza,
- 2 – rozdzielnik gazu,
- 3 – opadający pył,
- 4 – worki,
- 5 – strumień pyłu,
- 6 – wypływ gazu z worka,
- 7 – obszar gazu zapyłonego,
- 8 – obszar oczyszczonego gazu,
- 9 – zawór sprężonego powietrza,
- 10 – dysze do strzepywania worków,
- 11 – wylot oczyszczonego powietrza

Skuteczność odpylania **odpylaczy tkaninowych** dochodzi do **99,9%**, dlatego nadają się one do zatrzymywania nawet najdrobniejszych frakcji pyłu.

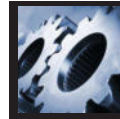


Urządzenia do oczyszczania spalin



Odpylacz tkaninowy

1. Komora oczyszczonego powietrza.
2. Komora filtracyjna.
3. Zsyp.
4. Konstrukcja wsporcza.
5. Żaluzja wlotowa.
6. Kolektor wylotowy.
7. Kosz.
8. Worek filtracyjny.
9. Układ regeneracji pneumatycznej.
10. Przepustnica odcinająca.



Urządzenia do oczyszczania spalin

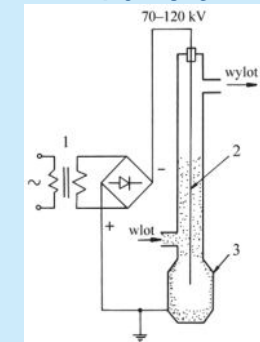
Elektrostatyczne urządzenia odpylające

W odpylaczu elektrostatycznym wykorzystano zjawisko ujemnego ładowania się cząstek pyłu w gazie zjonizowanym silnym polem elektrycznym. Pod wpływem sił pola elektrycznego zjonizowane cząstki dążą do dodatniej elektrody, gdzie neutralizują się i opadają do leja zbiorczego.

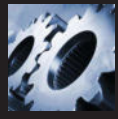
Elektrofiltr składa się z:

- odpylacza elektrostatycznego,
- zespołu zasilającego.

Zespół zasilający wytwarza wysokie napięcie na elektrody odpylacza. Do uzyskania wymaganej skuteczności odpylania spalin kotłowych niezbędne jest wytworzenie napięcia między elektrodami od 70 do 120 kV.



- 1 – transformator,
- 2 – elektroda świecąca (ulotowa),
- 3 – elektroda osadczą



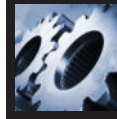
Urządzenia do oczyszczania spalin

Najważniejsze zalety elektrofiltrów:

- można je budować dla dowolnego natężenia przepływu spalin i niemal dowolnej skuteczności odpylania,
- charakteryzują się małym oporem hydraulicznym (30–150 Pa),
- strącane pyły mogą być suche lub mokre,
- mogą pracować w szerokim zakresie temperatury (do 500 °C),
- może występować szeroki zakres wartości stężenia pyłu,
- umożliwiają usuwanie bardzo drobnych cząstek.

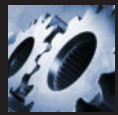
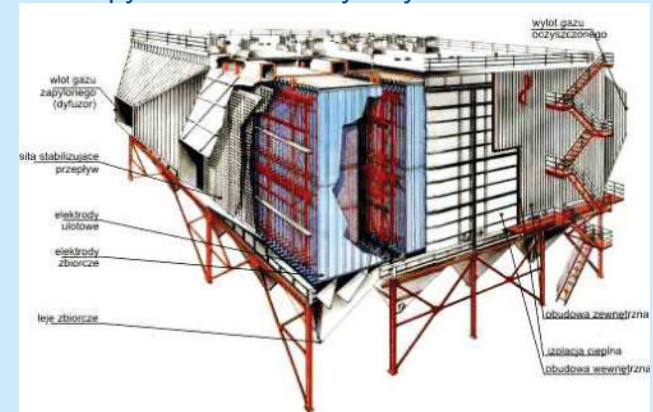
W kotłach o dużej wydajności stosuje się elektrofiltry o wydajności do 500 tys. m³/h.

Skuteczność odpylania współczesnych elektrofiltrów osiąga 99,9%.



Urządzenia do oczyszczania spalin

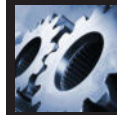
Odpylacz elektrostatyczny - elektrofiltr



Ogrzewanie i wentylacja

Ogrzewanie jest procesem, w którym wybrany obiekt, dzięki doprowadzeniu ciepła, osiągnie i będzie utrzymywał założoną temperaturę.

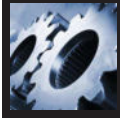
Najczęściej ogrzewanie kojarzy się z pomieszczeniami, w których przebywa człowiek lub zwierzęta (np. mieszkania, biura i hale fabryczne, obiekty użyteczności publicznej, budynki inwentarskie itp.).



Ogrzewanie i wentylacja

Wentylacja to proces zorganizowanej wymiany powietrza znajdującego się w wentylowanym pomieszczeniu.

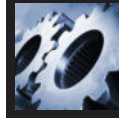
Ruch powietrza wymuszony jest „w sposób naturalny”, tj. przez stworzenie obszarów o różnej gęstości gazu lub mechaniczny, za pomocą wentylatorów.



Ogrzewanie i wentylacja

Systemy ogrzewania według rodzaju źródła

- ogrzewania miejscowe
- ogrzewania centralne
- ogrzewania zdala-czynne (z systemu ciepłowniczego)



Ogrzewanie i wentylacja

W zależności od nośnika rozróżnia się centralne ogrzewanie:

- wodne,
- parowe,
- powietrzne,
- elektryczne.



Ogrzewanie i wentylacja

Zadaniem **sieci ciepłych** jest transport ciepła od źródła ciepła do miejsc odbioru.

Stosowane są dwa sposoby przesyłania ciepła:

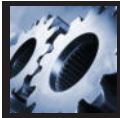
- **Z centralnie położonych źródeł ciepła**, z których ciepło jest przesyłane na możliwie duże odległości (ograniczenie liczby źródeł, zwiększenie ich mocy i sprawności przetwarzania energii...).
- **Z lokalnych sieci ciepłych**, zainstalowanych np. w zakładzie produkcyjnym, osiedlu mieszkaniowym lub budynku mieszkalnym (moc źródła ciepła oraz budowa sieci ciepłej są dostosowane do aktualnych lub perspektywicznych potrzeb).



Ogrzewanie i wentylacja

Podział sieci ciepłych w zależności od przeznaczenia:

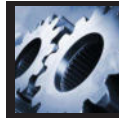
- Przemysłowe
- Komunalne (miejskie lub osiedlowe)
- Mieszkalne (przemysłowo-komunalne)



Ogrzewanie i wentylacja

Na system ciepłowniczy składa się:

- **źródło ciepła** - zespół urządzeń do wytwarzania ciepła
- **sieć ciepłownicza** - system przewodów przebiegających na zewnątrz budynków ogrzewanych, służący do przesyłania ciepła ze źródła do węzłów)
- **węzły ciepłownicze** - zespół urządzeń do przekazywania ciepła, przetwarzania parametrów, pomiaru i regulacji



Ogrzewanie i wentylacja

Najczęściej stosowane nośniki ciepła:

- Para wodna,
- Woda,
- Ciecze o podwyższonej temperaturze wrzenia,
- Spaliny lub gorące gazy,
- Powietrze.



Ogrzewanie i wentylacja

Rodzaje i budowa sieci ciepłych

Sieci wodne:

jednoprzewodowe – ze względów ekonomicznych nie rozpowszechnione,

dwuprzewodowe – najczęściej stosowane,

trzyprzewodowe – dwa przewody zasilające (ogrzewanie i do celów technologicznych) i jeden powrotny,

czteroprzewodowe – dwa niezależne obwody.

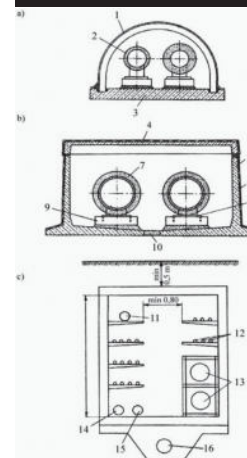
Sieci parowe – przeważnie dwuprzewodowe.



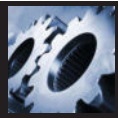
Ogrzewanie i wentylacja

Kanały sieci ciepłowniczej

- prefabrykowany łukowy (dla małych średnic),
- prefabrykowany kątowy (dla większych średnic),
- kanał przechodni wielofunkcyjny:

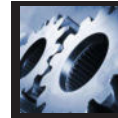


- 1 – izolacja 2×lepikiem asfaltowym, 2 – izolacja termiczna,
- 3 – żwiroboton, 4 – płyta przykrywająca prefabrykowana,
- 5 – kanał prefabrykowany, żelbetowy „elowy”, 6 – izolacja przeciwwilgociowa, 7 – izolacja termiczna,
- 8 – ślizg z blachy stalowej, 9 – poduszka prefabrykowana,
- 10 – chudy beton, 11 – przewód gazowy,
- 12 – kable elektroenergetyczne i telekomunikacyjne, 13 – rurociągi sieci ciepłej, 14 – przewód wodociągowy, 15 – przewód kanalizacyjny tłoczny, 16 – przewód kanalizacyjny grawitacyjny



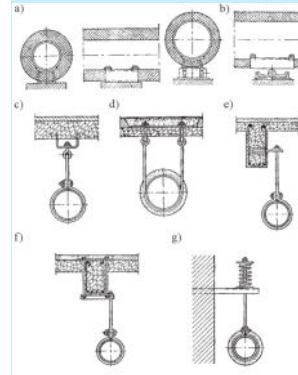
Ogrzewanie i wentylacja

Sieci preizolowane

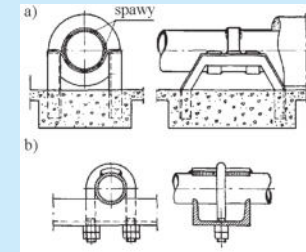


Ogrzewanie i wentylacja

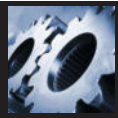
Podpory rurociągów



Podpory ruchome i zawieszenie rurociągów:
 a) podpora ślizgowa,
 b) podpora wózkowa,
 c-g) zawieszania



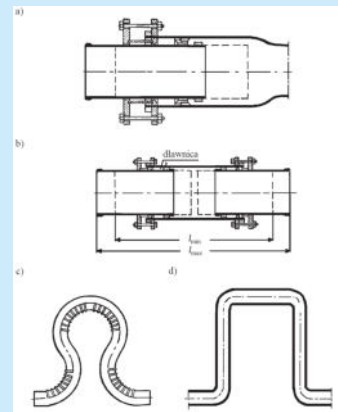
Podpory stałe
 a) podpora osadzona w betonie,
 b) podpora osadzona na belce poziomej



Ogrzewanie i wentylacja

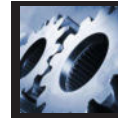
Kompensatory

Kompensatory umożliwiają dylatację termiczną rur między podporami stałymi



Typy kompensatorów na rurociągach:

- pojedynczy dławnicowy,
- podwójny dławnicowy,
- lirowy,
- typu „U”



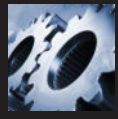
Ogrzewanie i wentylacja

Typy węzłów ciepłowniczych:

- jednofunkcyjny** - przeznaczony do pracy tylko z jednym odbiornikiem ciepła:
 - instalacją centralnego ogrzewania
 - instalacją ciepłej wody użytkowej
 - instalacją technologiczną
- dwufunkcyjny** - umożliwia niezależną pracę:
 - instalacji centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej
 - instalacji centralnego ogrzewania i wentylacji
 - instalacji ciepłej wody użytkowej i wentylacji
- trójfunkcyjny** - umożliwia pracę:
 - instalacji centralnego ogrzewania, ciepłej wody użytkowej i wentylacji.



Węzły kompaktowe



Ogrzewanie i wentylacja

Kompaktowy wymiennikowy węzeł cieplny wyposażony jest w następujące urządzenia:

wymiennik ciepła,
regulator pogodowy,
zawory regulacyjne: c.o., c.w.u., c.v.,
regulator różnicy ciśnień i przepływu,
pompy obiegowe: c.o., c.v.,
pompe cyrkulacyjną c.w.u.,
stabilizator temperatury c.w.u.,
armaturę kontrolno-pomiarową (termometry, manometry),
siłowniki zaworów regulacyjnych,
licznik ciepła sumujący,
licznik ciepła dla c.o. (na życzenie odbiorcy).

