A detailed black and white illustration of a large industrial steam engine, likely a portable engine, shown in profile. The engine features a large flywheel, various pipes, valves, and a complex mechanical structure. To the right of the engine, a man in a dark suit and a hat stands with his arms crossed, looking at a small object in his hands, possibly a book or a set of plans. The background is a plain, light-colored wall with a faint grid pattern. The overall style is that of a technical drawing or a historical engraving.

# ENERGIA POWSTAWANIE PRZETWARZANIE

**Piotr Kardasz**



**Energia – powstawanie, przetwarzanie**  
TOM I

Wrocław  
2017

**Tytuł**

Energia – powstawanie, przetwarzanie

**Autor**

dr inż. Piotr Kardasz

Fundacja Badań Rozwoju i Innowacji, 54-206 Wrocław ul. Legnicka 65

Wydział Automatyki i Robotyki, Wrocławska Wyższa Szkoła Informatyki Stosowanej we Wrocławiu, 54-239 Wrocław ul. Wejherowska 28

**Wydawca**

Fundacja Badań Rozwoju i Innowacji, 54-206 Wrocław ul. Legnicka 65

**Korekta i Recenzje**

dr inż. Andrzej Dyszewski

dr inż. Beata Lewczuk

dr inż. Katarzyna Witczyńska

**ISBN 978-83-947923-0-5**

Wydanie pierwsze

Nakład 50 egzemplarzy

Arkuszy wydawniczych pierwszy.

## Spis treści

1	Wprowadzenie .....	4
2	Nieodnawialne źródła energii .....	5
2.1	Węgiel kopalny .....	5
2.1.1	Torf .....	6
2.1.2	Węgiel brunatny .....	7
2.1.3	Węgiel kamienny .....	8
2.2	Ropa naftowa .....	11
2.3	Gaz ziemny .....	22
2.4	Energia jądrowa .....	26
3	Odnawialne źródła energii .....	29
3.1	Energia słoneczna .....	29
3.2	Energia wiatru .....	31
3.3	Energia wody .....	32
3.3.1	Energia rzek .....	33
3.3.2	Energia mórz i oceanów .....	34
3.4	Biomasa .....	36
3.5	Energia geotermalna .....	37
4	Konwersja energii .....	39
4.1	Elektrownia .....	40
4.2	Elektrociepłownia .....	44
5	Sposoby uzyskiwania energii mechanicznej .....	47
5.1	Ciągłe dostarczanie energii .....	49
5.1.1	Turbina parowa .....	50
5.1.2	Turbina gazowa .....	52
5.1.3	Silnik odrzutowy .....	56
5.2	Silnik spalinowy .....	58
6	Bibliografia .....	65
7	Spis wzorów .....	71

## 1 Wprowadzenie

Ze względu na stopień przetworzenia wyróżnia się energię pierwotną, występującą w sposób naturalny w przyrodzie na przykład w postaci węgla, ropy naftowej czy gazu oraz energię wtórną, którą stanowią przetworzone nośniki energii pierwotnej, takie jak benzyna, energia elektryczna czy koks. Ze względu na wyczerpywalność zasobów nośników energia dzieli się na:

- pochodzącą ze źródeł odnawialnych, które samoczynnie regenerują się podczas eksploatacji. Do tej kategorii należy energia słoneczna, energia wiatru, energia rzek i wody morskiej (prądów, fal, pływów, różnic temperatury), energia geotermiczna i energia biomasy,
- pochodzącą ze źródeł nieodnawialnych, których zasoby są ograniczone i ulegają stopniowemu wyczerpywaniu w miarę eksploatacji. Do tej kategorii zalicza się wszystkie paliwa kopalne: ropę naftową, gaz ziemny, węgiel kamienny i brunatny, torf, łupki i piaski bitumiczne oraz pierwiastki promieniotwórcze (uran, tor i rad).

Energia występuje w wielu postaciach, między innymi jako energia mechaniczna, chemiczna, cieplna, elektryczna. Energia chemiczna zmagazynowana jest w surowcach energetycznych odnawialnych i nieodnawialnych. W wyniku spalania zostaje ona przekształcona w energię mechaniczną (potrzebną do przemieszczania, napędzania pojazdów), elektryczną (do oświetlenia, działania urządzeń) i cieplną (do ogrzewania). Te rodzaje energii są najbardziej potrzebne użytkownikowi. Mimo obserwowanego współcześnie coraz bardziej efektywnego wykorzystywania energii nie mamy do czynienia ze zmniejszeniem zapotrzebowania na energię. Wynika to z rosnących standardów życia ludzi w zakresie warunków pracy i odpoczynku. W biednych, rozwijających się krajach, elektryfikacja terenów wiejskich i miast, rosnące zapotrzebowaniem przemysłu i transportu, prowadzą do wzrostu zapotrzebowania na źródła energii [40]

Mimo coraz większej efektywności pojazdów, urządzeń domowych i instalacji przemysłowych, cały czas wzrasta światowe zużycie energii. Ta prawidłowość ma miejsce zarówno w krajach wysoko rozwiniętych, jak w dotyczy krajów rozwijających się. US Energy Information Administration prognozuje, że ogólnoswiatowe zapotrzebowanie na różne formy energii będzie wzrastało – jeśli wziąć jako punkt wyjścia rok 2013 - o około 0,3 % rocznie, czyli do roku 2040 powiększy się o 11,3 %. Przy czym w krajach niezwiązanych z OECD wyniesie on 84%, a w krajach należących do tej organizacji będzie to 14%.

W związku z coraz większym zapotrzebowaniem na energię borykamy się z problemami energetycznymi. Do uzyskiwania energii wykorzystywane są w głównej mierze energetyczne surowce nieodnawialne – węgiel kamienny, ropa naftowa, gaz ziemny oraz energia atomu. Wobec wyczerpywania się ich zasobów szuka się coraz powszechniej odnawialnych jej źródeł. Prognozuje się, że obecne rezerwy zasobów surowców energetycznych wystarczą dla ropy naftowej na 100-120 lat, gazu ziemnego 50-60 lat, a węgla kamiennego 187-200 lat [46]. Jest to oszacowane na poziomie obecnego wydobycia. Należy uwzględnić, że są to dane poglądowe i trzeba uwzględnić, że stale odkrywane są nowe złoża surowców.

Światowa struktura zasobów energetycznych tworzona jest z paliw stałych, które mają w niej największy udział 67% oraz z gazu ziemnego oraz ropy naftowej, których

udział wynosi około 33%. Z kolei krajowa struktura zasobów surowców energetycznych przynosi 99% udziału paliw stałych, niecały 1% paliw węglowodorowych, 0,40% gazu ziemnego, 0,35% metanu pochodzącego z pokładów węgla kamiennego oraz 0,10% ropy naftowej. Polska po Danii i Wielkiej Brytanii jest jednym z najmniej uzależnionych od importu surowców energetycznych krajów Unii Europejskiej [42].

W pracy zostaną omówione poszczególne odnawialne i nieodnawialne źródła energii oraz ich wykorzystanie, a następnie rozdanie energii powstającej w wyniku ich przekształcenia, miejsca ich przetworzenia i zastosowania.

## 2 Nieodnawialne źródła energii

Źródła nieodnawialne energii to takie, których zasoby są ograniczone i nie odnawiają się podczas ich eksploatacji. Ich wykorzystanie jest znacznie szybsze niż uzupełnianie zasobów. Jednak odkrywane są coraz to nowe złoża surowców w związku z tym ich wyczerpywanie nie następuje tak szybko. Należą do nich: węgiel kamienny, węgiel brunatny, torf, ropa naftowa, gaz ziemny, uran.

### 2.1 Węgiel kopalny

Węgiel został wytworzony w wyniku gromadzeni i późniejszego przeobrażenia, fermentacji dużej ilości substancji organicznej, którą stanowiły szczątki roślin przygniecionej dodatkowo ciężarem powstających na niej osadów. Według obliczeń naukowych do powstania poziomu węgla o grubości 30 cm potrzeba czterometrowej warstwy złożonej ze szczątków roślinnych. Proces powstawania węgla polegał na powstaniu najpierw z biomasy torfu, który na skutek uwęglania się przekształcał się w węgiel brunatny, a tenże przekształcał się w węgiel kamienny. W zależności od wieku formacji geologicznej jest torf, węgiel brunatny lub węgiel kamienny. Kopalne węgle składają się ze związków organicznych i mineralnych składników nieorganicznych oraz wody. W ich składowaniu znajdują się takie pierwiastki jak: węgiel, tlen, azot, siarka i wodór. Zdarza się, że występują w nich nieokreślone ilości tzw. pierwiastków rzadkich, takich jak np. arsen, german czy uran. Podstawowy składnik węgla kopalnego stanowi macerał, który powstaje jako wynik uwęglania materiału roślinnego. Przykładami macerałów są: kutynit, witryn, sporynit, telinit. Rodzaj macerału ma decydujący wpływ na właściwości węgla.

Tabela 1 Zawartość węgla i wartość opałowa węgla kopalnych. Źródło: opracowanie własne.

Gatunki węgla	Zawartość C [%]	Wartość opałowa [MJ/kg]
Torf	< 60	9,5-12,0
Węgiel brunatny	62-75	7,5-21,0
Węgiel kamienny	75-97	16,7-29,3
Antracyt	92-95	29,0-30,0
Szungit	do 99	31,4

Węgiel kopalny ze względu na rodzaj materii pierwotnej można podzielić na trzy grupy:

- węgle humusowe, czyli tzw. humolity, powstające na torfowiskach tworzonych przez florę lądową;
- węgle sapropelowe, które występują w mniejszych ilościach, powstające z flory wodnej czyli, glonów;
- węgle liptobiolitowe (liptobiolity), które powstały z nawarstwienia w jednym miejscu żywicznych i woskowych części roślin. Liptobiolity charakteryzują się dużą odpornością na działanie różnych czynników fizycznych i biochemicznych.

### 2.1.1 Torf

Według PN-85/G-02500) torf stanowi wytwór akumulacyjny o pochodzeniu organicznym, przede wszystkim roślinnym, który powstał podczas procesu torfotwórczego. Proces ten przebiega w ściśle ustalonych warunkach powietrznych, wodnych oraz mikrobiologicznych. Torf tworzony jest ze zmumifikowanych w różnym stopniu szczątków roślinnych i z torfowego humusu. Torf uważa się za najmłodszy z węgla kopalnych. Jest wytworem, który powstaje jako efekt nie całkiem pełnego rozkładu roślinnych szczątków, który zachodzi w podczas długotrwałego lub wręcz stałego zabagnienia zewnętrznej warstwy gleby. Torf może być w różnym stopniu być nasycony różnymi substancjami mineralnymi – np. piaskiem, czasem związkami żelaza, rzadziej związkami fosforu. Torf powstaje w procesie tzw. torfienia polegającym na gromadzeniu i potem humifikacji różnorodnych szczątków roślinnych znajdujących się w warunkach stałego uwilgotnienia. Zależnie od czasu trwania warunków beztlenowych w podłożu powstają wytwory o różnym stopniu humifikacji. Występują wytwory całkowicie zhumifikowane czyli muły, czy też częściowo zhumifikowane czyli torfy. Właściwości torfu uzależnione są od różnorodności składu florystycznego tworzącego zbiorowiska torfotwórcze jak też od panujących tam stosunków wodnych, klimatycznych (temperaturowych). Torf zawiera cząstki mineralne takie jak: piasek, czy wytrącone związki żelaza, co wynika z procesu sedymentacji czyli osadzania się zawiesiny obecnej w przepływającej wodzie, a także przemieszczających w wyniku działania wiatru cząstek gleby czy też jest efektem prac melioracyjnych i agrotechnicznych. Torf i gleby torfowe zaliczane są do wytworów i gleb organicznych pod warunkiem, że zawartość masy organicznej jest w nich większa niż 20%. Torf kwaśny posiada odczyn 4-5,5 pH. Torf odkwaszany jest poprzez dodatek wapna lub kredy i posiada odczyn od 5,5 do 7,5 pH. Kolejne procesy geologiczne i przykrywanie coraz młodszymi osadami oraz obecność ciśnienia nadległych warstw osadów, proces wzrostu temperatury i zaniku resztek tlenu po upływie milionów lat powoduje, że torf zamieniany jest w węgiel brunatny, a potem przeobrażany w węgiel kamienny. Przez wiele wieków torf wydobywano z torfowiska po to żeby używać go jako opału. Współcześnie torf służy jako opał na bardzo niewielką skalę (jako torf opałowy lub półkoks torfowy). Torf wykorzystuje się do produkcji energii elektrycznej w Irlandii oraz Finlandii. Torf znajduje współcześnie zastosowanie w medycynie (różnorodne preparaty torfowe, kąpiele), w rolnictwie oraz ogrodnictwie (nawozy torfowe, ziemia ogrodnicza, wytwarzanie jednorazowych doniczek torfowych do sadzonek).



### 2.1.2 Węgiel brunatny

Węgiel brunatny jest skałą osadową o pochodzeniu organiczno-roślinnym. Węgiel powstał w neogenie czyli młodszym okresie kenozoiku. Utworzony został ze szczątków roślinnych, które obumarły bez dostępu powietrza. Skała ta charakteryzuje się barwami od jasnobrunatnej, poprzez brązową aż do całkowicie czarnej. Zawartość wilgoci całkowitej w węglu nie powinna być wyższa niż 55%, zaś zawartość piasku nie może przekraczać 6%. Z kolei zawartość lignitu włóknistego (ksylitu czyli odmiany węgla brunatnego z zachowaną strukturą drewna) nie może być wyższa niż 5%. Ze względu na twardość dzieli się go na:

- miękki, wydobywany głównie w kopalniach odkrywkowych, charakteryzujący się dużą zwięzłością i kalorycznością rzędu 17 MJ/kg, wyróżnia się węgle błyszczące (podobne do węgla kamiennych) oraz matowe,
- twardy, często wydobywany w kopalniach podziemnych, mniej zwięzły, po wysuszeniu łatwo rozsypujący się na małe kawałki, o niższej kaloryczności (poniżej 17 MJ/kg), obejmujący węgle ziemiste i łupkowe,
- węgiel lignitowy charakteryzuje się wiernie zachowaną strukturą drewna i 4-8MJ/kg kalorycznością.

Z uwagi na zastosowanie wymienia się poniższe typy technologiczne węgla brunatnego:

- węgiel energetyczny, który jest używany w elektrowniach ciepłych, charakteryzujący się wartością opałową powyżej 6 MJ/kg i mniej niż 40% zawartością popiołu,
- węgiel brykietowy, który jest używany do wytwarzania brykietów, o wartości opałowej ponad 8 MJ/kg i zawartości popiołu poniżej 15%,
- węgiel wylewny, stosowany jest do wytwarzania smoły oraz paliw płynnych, w stanie suchym zawiera mniej niż 20% popiołu.

Ze względu na grubość ziaren dzieli się go na:

- kęsy,
- gruby,
- średni,
- orzech,
- drobny,
- miał,
- niesort.

Przy odgazowaniu węgla otrzymuje się:

- gaz koksowniczy (20%) o przeciętnym składzie: 50% H<sub>2</sub>, 34% CH<sub>4</sub>, 8% CO, 4% olefin, 4% N<sub>2</sub>, 1% CO<sub>2</sub>,
- koks (65%),
- smoła węglowa (5%),
- woda pogazowa (około 10%) (NH<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> → (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) – zawierająca amoniak powstały z rozkładu związków azotowych. Wykorzystywana jest do produkcji soli amonowych stosowanych jako nawozy sztuczne.

Węgiel brunatny z powodu swojej specyficzności wykorzystywany jest na rynkach lokalnych. W czasie długiego transportu koleją mokry i pełen popiołu węgiel wilgotnieje i tworzy masę niewygodną do rozładowania, zaś podczas transportu zimą po prostu

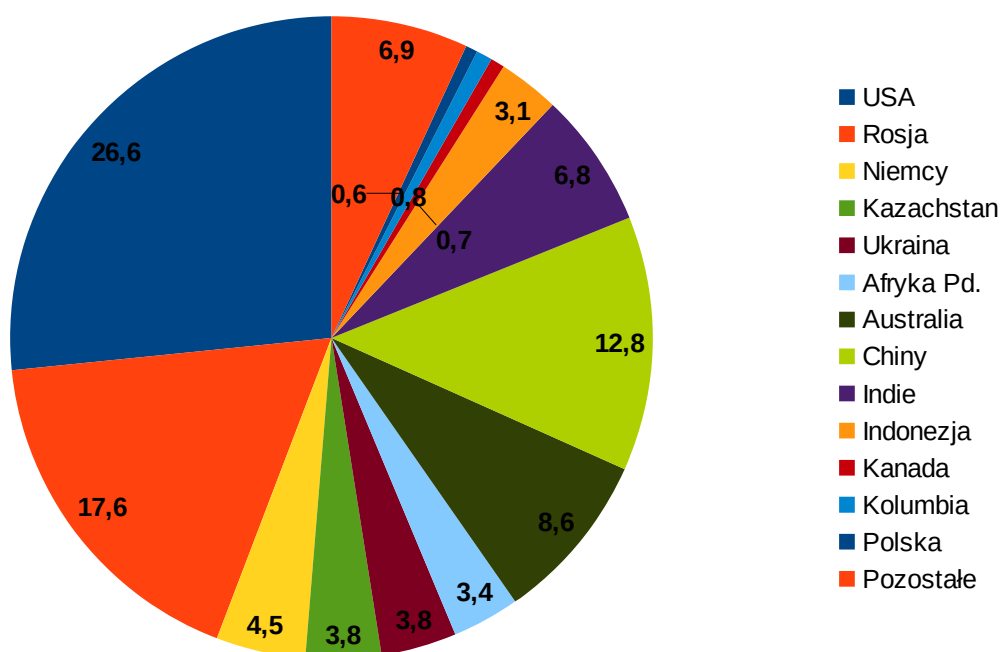
zamarza. Dlatego elektrownie, które mają być opalane węglem brunatnym zwykle stawia się bardzo blisko złóż węgla brunatnego, z których węgiel jest dostarczany taśmowymi przenośnikami prosto do samej elektrowni. Spalanie węgla brunatnego powoduje emisję: dwutlenku siarki, tlenków azotu, tlenku węgla, pyłów, metali ciężkich (kadm, ołów, rtęć). Prawie cały węgiel brunatny bo około 98% na świecie wydobywa się metodami odkrywkowymi. Większość wydobywanego węgla brunatnego bo około 95% zużywane jest do produkcji energii elektrycznej. Bardzo podobnie przedstawia się sytuacja w Polsce. Węgiel brunatny, podobnie jak na świecie, Polska wydobywa wyłącznie metodą odkrywkową z zachowanym ciągiem eksploatacji od koparki kołowej przez przenośniki do zwałowarek. W Polsce wydobywa się węgiel brunatny w:

- Zagłębie Konińskie (Konin, Adamów),
- Zagłębie Turosszowskie (Turów),
- Zagłębie Bełchatowskie (Bełchatów),
- Kopalnia Węgla Brunatnego Sieniawa.

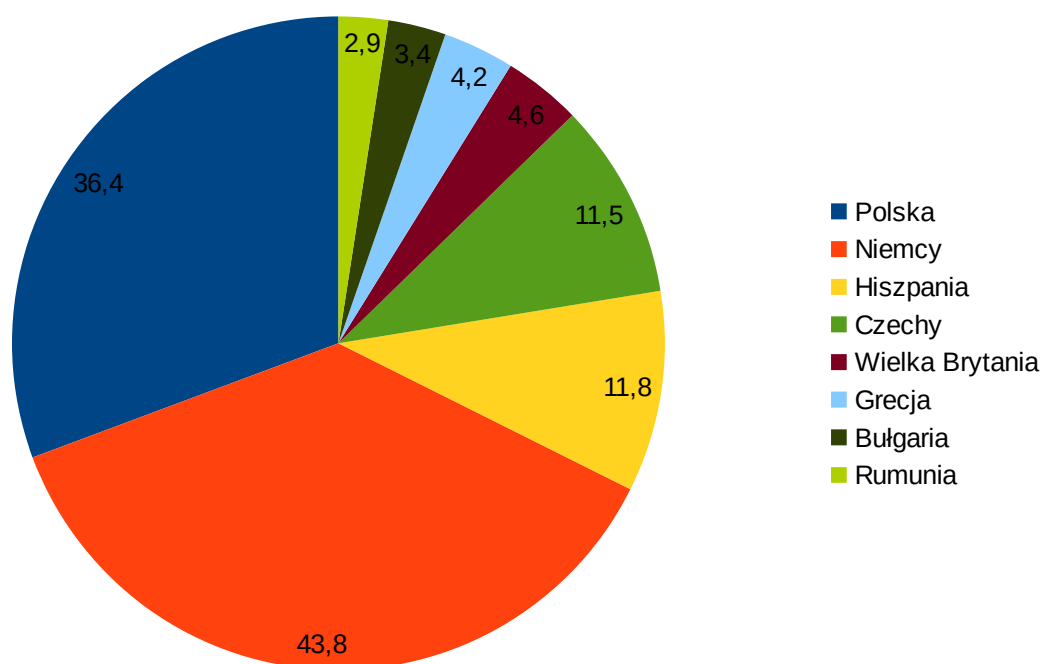
W roku 1999 wydobyte węgla brunatnego w Polsce wynosiło 63 mln ton, w roku 2001 było to 59,5 mln ton. W 2012 roku Polska wydobyła 64,3 mln ton. Na świecie w 2006 roku wydobyto 909 mln ton. Najwięcej wydobyto w Niemczech bo aż 176,3 mln ton, potem w Chinach (91,3 mln ton) i kolejno w: Stanach Zjednoczonych (76,4 mln ton), Rosji (75,8 mln ton), Australii (71,2 mln ton), Grecji (65,7 mln ton), Turcji (61,6 mln ton), Polsce (60,8 mln ton), Bułgarii (25,5 mln ton). [33]

### 2.1.3 Węgiel kamienny

Podstawowym źródłem energii na świecie jest węgiel kamienny, który stosowany jest przede wszystkim jako surowiec do wytwarzania energii cieplnej w ogrzewnictwie oraz do uzyskiwania energii elektrycznej. Na świecie ponad 41% energii pochodzi z węgla kamiennego, natomiast w Polsce aż 90% [83].



Rys. 1 Zasoby węgla kamiennego na świecie w 2014 r. [%]. (źródło: BP Statistical Review



Rys.2 Wydobywanie węgla kamiennego w Unii Europejskiej w 2014 r. [%] (źródło: BP Statistical Review of World Energy 2015)

Polska wydobyla 75,6 miliona ton, podczas gdy w Unii wydobyto 123,7 mln w 2011 r. wg Eurostatu.

Węgiel kamienny charakteryzuje wysoki stopień uwęglenia, a zatem wysoka zawartość pierwiastka C, wysoka wartość energetyczna oraz niska zawartość wodoru i tlenu oraz wilgoci. Węgiel brunatny to węgiel o niższej wartości energetycznej, który zawiera wyższe zawartości wodoru i charakteryzuje się większą zawartością wilgoci.

Węgiel kamienny jako surowiec jest wykorzystywany przede wszystkim do produkcji energii elektrycznej. Taka sytuacja ma miejsce w wielu krajach świata i energia elektryczna produkowana w elektrowniach opalanych węglem kamiennym ma istotny udział w całej ilości wytwarzanej energii. Polska, po Niemczech, jest drugim krajem unijnym i dziesiątym w światowej produkcji energii elektrycznej pochodzącej z węgla kamiennego. W roku 2012 z węgla wytwarzano 58% całkowitej produkcji energii elektrycznej w Polsce. Przy czym 88% energii elektrycznej pochodziło z węgla kamiennego oraz brunatnego, a 76% energii cieplnej było uzyskiwanej z węgla kamiennego [96].

Węgiel wykorzystuje się [23]:

- w sektorze energetycznym, do produkcji energii elektrycznej i ciepła,
- jako paliwo użytkowane przez końcowych użytkowników do produkcji ciepła i pary (w sektorze przemysłowym, gospodarstwach domowych, handlu i usług, rolnictwie i transporcie),
- do wtrysku w piecach hutniczych (tzw. węgiel PCI) oraz niewielkie ilości do domieszek z węglem koksowym.

W skład węgla wchodzi pierwiastki: węgiel, wodór, azot, siarka, tlen, wanad,

german, gal, uran, arsen oraz substancje mineralne: krzemiany, węglany, siarczki.

Węgiel kamienny to skała osadowa, która powstała w epoce karbonu i permu. Węgiel jest skałą pochodzenia organicznego i zawiera od 75 do 95% czystego węgla (węglem kamiennym jest też antracyt zawierający 97% węgla). Jest to skała czarna, dość krucha, zwarta, paląca się długo błyszczącym płomieniem. Największą liczbę węgli kamiennych tworzą tzw. węgle humusowe. Węgiel kamienny złożony jest z łatwopalnej substancji organicznej, substancji mineralnej oraz wilgoci. Wyróżniamy kilka odmian węgla kamiennego, które różnią się połyskiem i twardością (tzw. litotypy, czyli odmiany petrograficzne):

- fuzyn – jest to węgiel włóknisty, ciemnoszary lub czarny, występuje w przyrodzie w formie cienkich pasm czasami soczewek, jest brudzący, podstawowy jego składnik (mikrolitotyp) to fuzyt,
- duryn – jest to węgiel matowy, odznaczający się znaczną twardością, jego główny składnik to duryt,
- witryn – jest to węgiel błyszczący, którego główny składnik to witryt,
- klaryn – jest to węgiel półbłyszczący, którego główny składnik to klaryt.

Węgiel kamienny jest wykorzystywany w postaci bezpośredniej albo po przeróbce chemicznej, która obejmuje odgazowanie przeprowadzane w bardzo wysokiej temperaturze (koksownictwo i gazownictwo), odgazowanie w niskiej temperaturze czyli tzw. wylęwanie i jego uwodornianie. Podczas takich procesów otrzymywane są paliwa ciekłe, stałe oraz gazowe (paliwa silnikowe, gazy opałowe i koks) oraz półprodukty i surowce stosowane w przemyśle chemicznym (smoła węglowa, benzol czy gaz syntezowy).

Najważniejsze sposoby przetwarzania węgla kamiennego to koksowanie oraz zgazowanie. Uzyskany w wyniku koksowania koks składa się z węgla, siarki (do 1%), wody (5-10%), śladowych ilości gazowych składników. Koks otrzymuje się w procesie odgazowania węgla kamiennego i gudsonu. Wyróżniamy takie rodzaje koksu jak:

- hutniczy (metalurgiczny) – charakteryzujący się bardzo wysoką wartością opałową (29 MJ/kg, czyli 7000 kcal/kg) a także wysoką wytrzymałością;
- opałowy – używany w charakterze paliwa w urządzeniach grzewczych centralnego ogrzewania;
- generatorowy - wykorzystywany przy produkcji charakteryzującego się wysoką wytrzymałością gazu generatorowego;
- karbidowy – zawierający małą dodatek popiołu i używany w piecach elektrycznych;
- formowany - używany w charakterze paliwa i w piecach centralnego ogrzewania.
- pakowy;
- naftowy.

Surowcem do powstania węgla kamiennego jest różnorodny materiał roślinny, który podczas przemian i procesów geologicznych powstał z materiału roślinnego, który w procesie przemian został wzbogacony pierwiastkiem węgla. Procesy tych przemian nazywamy uwęglaniem, w którym wyróżniamy następujące fazy:

- biochemiczną – podczas tej fazy materiał roślinny podlegał procesom rozkładu czyli butwieniu, próchnieniu i torfieniu. Procesy te dokonywały się za pomocą drobnoustrojów i prowadziły do powstawania torfu, a następnie przekształcania go w węgiel brunatny.
- geochemiczną - zachodzące reakcje chemiczne, w wyniku których usunięte zostają składniki lotne. Uwęglanie czyli proces wzbogacania masy roślinnej w węgiel

dokonywane jest z różnorodnym natężeniem i w efekcie decyduje o powstaniu określonych rodzajów węgla kopalnego. Węgiel brunatny przechodzi przemianę w torf, a potem w antracyt.

Na efektywność powyższych procesów mają wpływ takie czynniki jak:

- wysokość temperatury,
- czas trwania procesu,
- ciśnienie.

Proces, w którym powstaje węgiel jest bardzo długi. długotrwały. Węgiel kamienny zalega pod ziemią skąd trzeba go wydobyć. Stosowane metody wydobywania są zależne przede wszystkim od głębokości na której znajdują się pokłady węgla. Dlatego wyróżnia się kopalnie podziemne oraz odkrywkowe. Kopalnia podziemna to rozbudowane systemy tuneli przecinających złoża kopaliny. W metodzie odkrywkowej stosowane jest stopniowe odkrywanie od góry kolejnych warstw, które znajdują się nad pokładami węgla. Metoda ta może być stosowana wtedy, kiedy węgiel znajduje się niezbyt głęboko.

Najbogatsze złoża węgla kamiennego znajdują się w Rosji, na Ukrainie, w Kanadzie, w USA, w Niemczech, w Chinach, w Republice Południowej Afryki, w Wielkiej Brytanii, w Polsce, w Australii i w Indiach. Polskie udokumentowane zasoby węgla kamiennego wynoszą 61 mld ton i są jednymi z największych złóż europejskich. Pokłady węgla kamiennego w Polsce znajdują się głównie:

- na terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego - 52 mld ton,
- na terenie Lubelskiego Zagłębia Węglowego - 8,8 mld ton,
- pozostałe nieznaczące zasoby - w podlegającym likwidacji Zagłębiu Wałbrzyskim.

Współcześnie nie wykorzystuje się wszystkich znanych pokładów węgla kamiennego. Dzieje się tak ze względu na niewielką grubość części pokładów, a także skomplikowaną sytuację geologiczną, tzw. szkody górnicze oraz infrastrukturę terenów na powierzchni ponad pokładami (dotyczy to przede wszystkim Górnego Śląska). Wydobywanie węgla kamiennego w Polsce ma miejsce w tzw. kopalniach głębinowych, w których pionowe szyby, w których pionowe szyby pozwalają na dowożenie górników do miejsc urobku znajdujących się na dużych głębokościach, a potem umożliwiają wywóz urobku na powierzchnię ziemi. Na świecie znane są też kopalnie odkrywkowe węgla kamiennego. Jest to możliwe wtedy, kiedy pokłady węgla kamiennego znajdują się płytko pod powierzchnią ziemi. W takich odkrywkowych kopalniach węgla kamiennego wydobywa się węgiel w Stanach Zjednoczonych, Australii i Afryce Południowej. W kopalniach odkrywkowych na wstępie zbiera się tzw. nakład, czyli warstwę ziemi poprzedzającą złoża węgla, a potem wydobywa się węgiel kamienny za pomocą wielkich koparek współpracujących z taśmowymi transporterami.

## 2.2 Ropa naftowa

Podobne pochodzenie jak węgiel posiada ropa naftowa. Oba surowce powstały z substancji organicznej, która nagromadziła się przez miliony lat. Tyle, że ropa naftowa powstała z biomasy glonów oraz podrzędniejszych gatunków planktonu czyli zespołu organizmów żywych unoszących się w wodzie, a także ze zwierząt znajdujących się na wyższym poziomie rozwoju. Materiałem wyjściowym dla powstania ropy naftowej były substancje biologiczne, przede wszystkim tłuszcze oraz białko i pozostałości bakterii, które

uczestniczyły w procesach przemian materii organicznej. Ropa naftowa to po prostu ciekła mieszanka naturalnych węglowodorów stałych, ciekłych oraz gazowych. Tworzą ją: węglowodany parafinowe czyli alkanole, węglowodory aromatyczne czyli areny, a także węglowodory naftenowe czyli cykloalkany. W składzie ropy naftowej znajdują się też związki organiczne, w których obecny jest: azot, tlen, siarka, substancje mineralne i związki nieorganiczne krzemu, żelaza, niklu, wanadu, sodu oraz związki metaloorganiczne. Ropa naftowa może mieć różną barwę – od bezbarwnej poprzez zieloną, żółtobrnatą, czerwoną aż do czarnej. Gęstość ropy oscyluje w granicach 0,73-0,99 g/cm<sup>3</sup>, przy wartości opałowej wynoszącej 38-49 MJ/kg. Główny składnik lekkich frakcji ropy naftowej czyli tzw. frakcji wrzących w temperaturze do 200°C stanowią węglowodory parafinowe czyli parafiny. Ze wzrostem temperatury wrzenia ropy zawartość węglowodorów parafinowych obniża się i z tego powodu cięższe frakcje mają mniej węglowodorów parafinowych. Wzrasta natomiast zawartość węglowodorów naftenowych (frakcje olejowe) i węglowodorów aromatycznych. Skład pierwiastkowy ropy naftowej wygląda następująco:

- 80-88% węgla,
- 11-14,5% wodoru,
- 0,01-6% siarki (nieczęsto do 8%),
- 0,005-0,7% tlenu (nieczęsto do 1,2%),
- 0,001-1,8% azotu,
- 95% wagi stanowią węglowodory
- parafinowe: gazowe (C1-C4), ciekłe (C5-C15), stałe (>C15),
- naftenowe,
- aromatyczne.
- Związki organiczne, które zawierają heteroatomy to:
- żywice oraz asfaltyny,
- związki siarki: siarczki, merkaptany, wielosiarczki, tiofen oraz jego pochodne,
- związki azotowe: zasady purynowe, pochodne pirolu, chinoliny, indolu oraz karbazolu,
- związki tlenowe: kwasy tłuszczowe, kwasy naftenowe, krezole, fenol, ksylenele oraz naftole.
- Związki nieorganiczne to:
- siarkowodór,
- wodę,
- związki manganu, krzemu oraz niklu.

Złóża ropy naftowej często towarzyszą złóżom gazu ziemnego. Znajdują się one zwykle w antyklinach – na dole znajduje się solanka, a potem ropa naftowa. Na szczycie antykliny pojawia się gaz ziemny. Może też pojawiać się w mieszaninie z piaskiem (tzw. piaski bitumiczne). Pojawiają się różnorodne podziały na typy ropy naftowej. I tak ze względu na gęstość:

- ropa lekka (mniej niż 0,878 g/cm<sup>3</sup>),
  - ropa średnia (od 0,878 do 0,884),
  - ropa ciężka (więcej niż 0,884).
- Podział ze względu na skład chemiczny ropy:
- ropa parafinowa,
  - ropa naftenowa,

- ropa parafinowo-naftenowa,
- ropa aromatyczna,
- ropa parafinowo-naftenowo-aromatyczna,
- ropa parafinowo-aromatyczna.

Ze względu na zawartość siarki znajdującej się w ropie:

- niskosiarkowa (mniej niż 0,5%),
- siarkowa (więcej niż 0,5%).

Podział ze względu na zawartość żywic w ropie naftowej:

- małożywiczna (mniej niż 17%),
- żywiczna (od 18 do 35%),
- wysokożywiczna (więcej niż 35%).

Ze względu na zawartość parafiny w ropie naftowej:

- niskoparafinowa czyli bezparafinowa o temperaturze krzepnięcia mniejszej niż  $-16^{\circ}\text{C}$ ),
- parafinowa o temperaturze krzepnięcia pomiędzy  $-15^{\circ}\text{C}$  a  $+20^{\circ}\text{C}$ ),
- wysokoparafinowa o temperaturze krzepnięcia wyższej niż  $+20^{\circ}\text{C}$ ).

Wydobycie ropy naftowej polega na wierceniu ziemi otworów czyli tzw. odwiertów na głębokość jednego kilometra i więcej. Geologowie wyszukują prawdopodobne miejsca, w których może znajdować się ropa naftowa. Obszary prawdopodobnego zalegania złóż ropy naftowej wyszukiwane są przez geologów, a coraz bardziej intensywny rozwój metod poszukiwania złóż pozwala na coraz dokładniejsze wskazywanie miejsc, w których te złoża występują, a także określenie ich wielkości. Dość dynamicznie rozwijana jest technika dokonywania odwiertów, których początkowo dokonywano prawie wyłącznie na lądach, a potem okazało się, że duża część zasobów ropy naftowej znajduje się w szelfach mórz i oceanów. Ropa naftowa jest surowcem i jako taka sama nie nadaje się do zastosowania technicznego bezpośredniego w charakterze paliwa. Ropa naftowa zaraz po wydobyciu zostaje oczyszczona z mechanicznych zanieczyszczeń. Potem oddziela się od niej cenne i łatwo wrzące jej składniki: benzyny, propan i butan. To, co pozostaje podlega stopniowej destylacji w rafineriach. Proces ten dokonuje się w temperaturze około 673 K i uzyskujemy z niego liczne gazy i oleje. Drugi etap procesu destylacji powoduje, że poprzez tzw. krawing rozkłada się trudno wrzące pozostałości na lekkie węglowodory. Statecznymi produktami procesu dokonującego się w rafinerii są paliwa ciekłe: benzyny, nafta, oleje opałowe i oleje napędowe. Wszystkie z nich to mieszaniny ciekłych węglowodorów o wartości opałowej ok. 42 MJ/kg paliwa. Jak widać paliwa ciekłe są prawie dwa razy bardziej energetycznymi paliwami niż węgiel kamienny, a na dodatek są łatwiejsze od niego do transportu.

Ropa transportowana jest w dwojaki sposób. Na lądzie najbardziej ekonomiczny jest transport za pomocą rurociągów. Ropa naftowa utrzymuje się w ruchu za pomocą systemu stacji pomp, które są budowane blisko biegnącego rurociągu i przepływa przezeń z prędkością od 1 do 6 m/s. Na morzu większość ropy naftowej transportuje się tankowcami. Potem przetwórstwo ropy naftowej należy rafinerii. Stosuje się w nich tzw. destylację frakcyjną żeby wyodrębnić z ropy tworzące ją składniki (w tym m.in. benzynę). Różnica temperatur wrzenia poszczególnych składników ropy naftowej pozwala rozdzielenie jej na frakcje.

Jest faktem bezspornym, że ropa naftowa stanowi duże zagrożenie dla środowiska podczas procesu jej poszukiwań oraz eksploatacji, a także podczas transportu. Dość rzadkie są wprawdzie jej erupcje powiązane z nienormalnie wysokim ciśnieniem złożowym czy też awariami głowic przeciwerupcyjnych; są one też szybko opanowywane. Jednak bardzo często awarie towarzyszą transportowaniu ropy. Są to przede wszystkim katastrofy tankowców, które powodują ogromne skażenie środowiska naturalnego i stanowią zagrożenie ponieważ:

- ropa naftowa błyskawicznie rozprzestrzenia się po powierzchni morza. Tworzy na wodzie warstwę grubości 0,3 mm i powoduje też ogromne zanieczyszczenie wybrzeża,
- najłżejsze składniki ropy ulegają parowaniu, podczas gdy jej składniki najcięższe zostają zmieszane z wodą morską i powoli opadają coraz niżej,
- lepka ropa naftowa prowadzi do zlepiania się piór ptaków morskich, zatyka skrzela ryb oblepia pozostałe zwierzęta wodne,
- ropa zalewa teren i poprzez swoją obecność skaża go praktycznie uniemożliwiając zwierzętom wodnym poruszanie i inne funkcje życiowe,
- warstwa ropy tworzy nieprzepuszczalną pokrywą uniemożliwiając organizmom dostęp potrzebnego tlenu oraz promieniowania słonecznego,
- bakterie są w stanie wprawdzie stopniowo usunąć ropę ze skażonego środowiska, ale zużywają do tego cały rozpuszczony w wodzie tlen.

Ropa naftowa od wieków była wydobywana i wykorzystywana głównie do celów oświetleniowych. Wraz z popularyzacją silników spalinowych i wykorzystaniem oleju napędowego jej wykorzystanie zwiększyło się. W XX wieku zużycie paliw płynnych wzrastało wraz z rozwojem technologicznym i gospodarczym, a ropa naftowa powoli wypierała węgiel także w sektorze energetycznym. Olej napędowy stanowi mieszanina węglowodorów, wydzielonych z ropy naftowej w procesach destylacyjnych, wrząca w temperaturach od 180 do 360°C, czyli wyższych, niż w przypadku benzyny [37].

Rysunek 3 przedstawia średnią ilość oleju napędowego przypadającą na osobę, użytą w transporcie drogowym na świecie w latach 1971-2010. Zauważalna jest stała tendencję wzrostową zużycia tego paliwa. Aby zaspokoić rosnący popyt, a jednocześnie ograniczyć emisję gazów cieplarnianych, powstających w procesach spalania paliwa, poszukuje się paliw alternatywnych, produkowanych ze źródeł odnawialnych. Wciąż jednak najbardziej popularne i najłatwiej dostępne są paliwa, będące produktem procesów przetworzenia ropy naftowej.

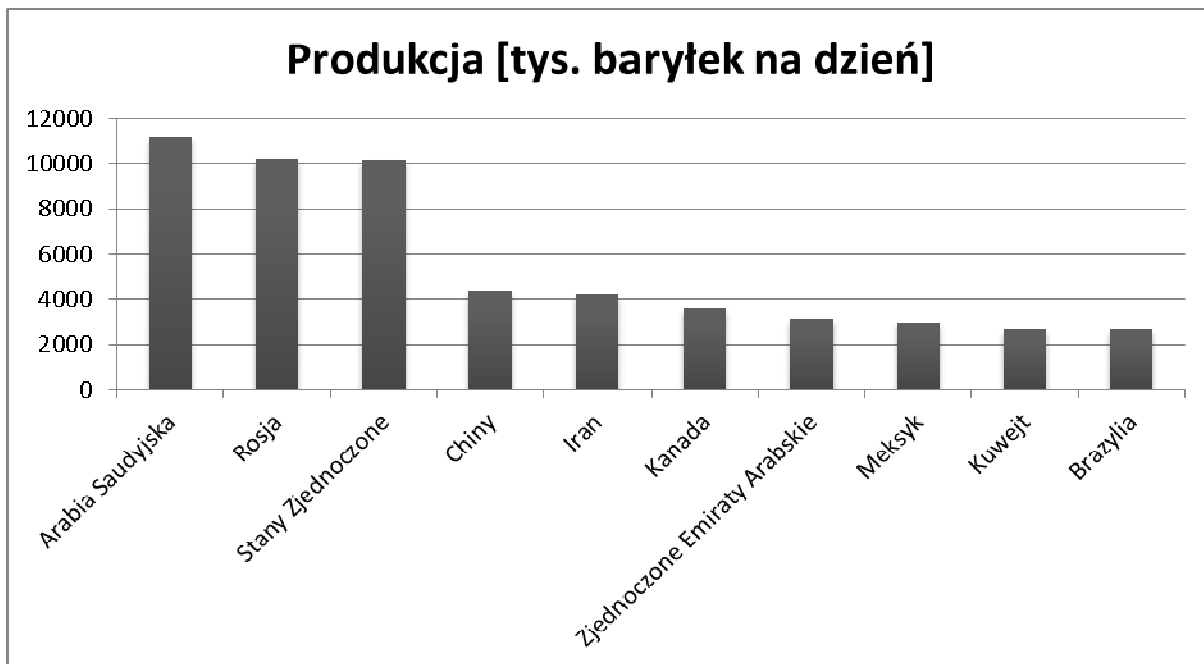




Rys. 3 Średnie zużycie oleju napędowego w sektorze drogowym na osobę na świecie w latach 1971-2010 (Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Banku Światowego)

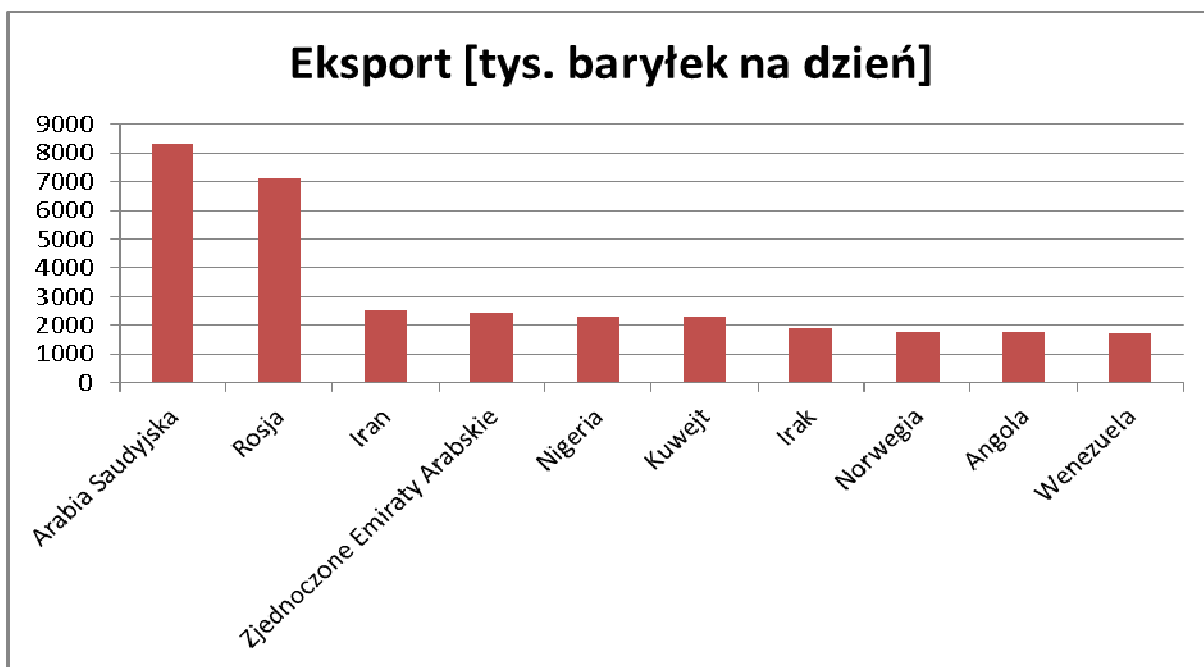
Ropa naftowa jest wykorzystywana nie tylko do produkcji paliw i energii, ale jest istotnym surowcem w wielu gałęziach przemysłu, np. w przemyśle chemicznym. Wzrost cen ropy naftowej powoduje wzrost kosztów wytwarzania prawie wszystkich produktów, dlatego wahania ceny surowca mają tak dotkliwy wpływ na stabilność gospodarczą. Wysokie ceny ropy powodują zmniejszenie aktywności gospodarczej, zwiększają jednak wpływy do budżetów państw z tytułu opodatkowania paliw, które jest szczególnie wysokie w Europie.

Na cenę ropy wpływają wahania popytu i podaży ropy oraz kurs dolara amerykańskiego, gdyż jest to waluta rozliczeniowa transakcji handlu międzynarodowego tym surowcem. Na wielkość popytu na ropę w długim okresie wpływa wzrost zapotrzebowania na paliwa, natomiast w krótkim okresie także sezonowość sprzedaży na największym rynku zbytu - w Stanach Zjednoczonych. Zwiększone zapotrzebowanie na ropę naftową w USA występuje zimą, w okresie grzewczym, oraz latem, w okresie wakacyjnym [119]. Natomiast na podaż ropy naftowej na świecie ma wpływ przede wszystkim zagrożenie wyczerpaniem się surowca oraz uwarunkowania polityczne związane z sytuacją w krajach jego wydobycia. Na Rysunku 4 przedstawiono dziesięć krajów, w których produkuje się i eksportuje największe ilości ropy naftowej na świecie.



Rys.4 Najwięksi producenci ropy naftowej w 2011 roku.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych United States Energy Information and Administration

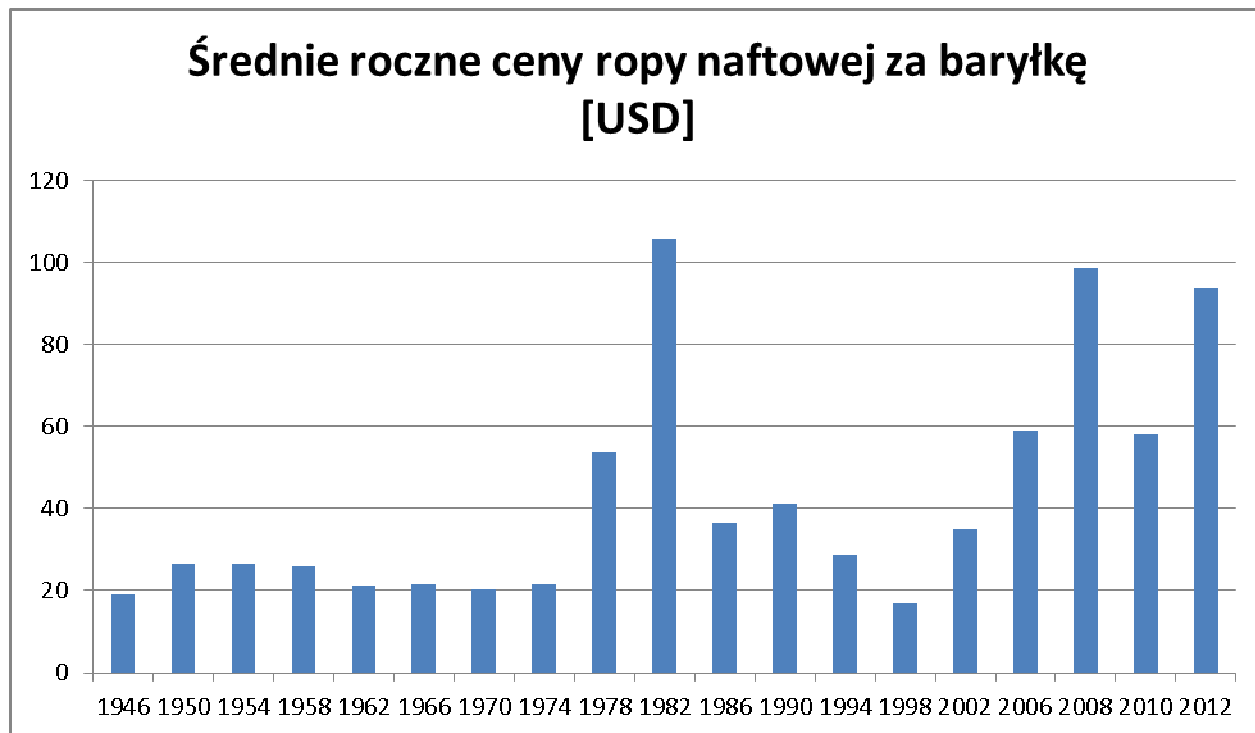


Rys. 5 Najwięksi producenci i eksporterzy ropy naftowej w 2011 roku

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych United States Energy Information and Administration

Wśród największych światowych producentów ropy naftowej duże znaczenie ma grupa krajów zrzeszonych w OPEC, czyli Organizacji Krajów Eksportujących Ropę Naftową. W jej posiadaniu znajduje się około 40% światowych zasobów surowca [119]. Celem organizacji, według jej statusu, jest zapewnienie stabilności cen paliw na światowych rynkach oraz dbanie o wysoki poziom dochodów państw członkowskich, a także stabilność

dostaw i zapewnianie wysokich zwrotów z inwestycji [119]. Organizacja została założona na konferencji w Bagdadzie przez Arabię Saudyjską, Irak, Iran, Kuwejt i Wenezuelę. W późniejszych latach do OPEC dołączyły: Algieria, Angola, Ekwador, Gabon, Indonezja, Katar, Libia, Nigeria i Zjednoczone Emiraty Arabskie. Gabon jednak wystąpił z organizacji, a Indonezja zawiesiła swoje członkostwo [119]. Wszystkie kraje należące do organizacji to kraje rozwijające się, w których produkcja i eksport ropy naftowej są najbardziej dochodowym sektorem gospodarki [119].



Rys. 6 Średnie roczne ceny ropy naftowej za baryłkę, skorygowane o współczynnik inflacji w latach 1946-2012

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Illinois Oil and Gas Association; Bureau of Labor Statistics of the U.S. Department of Labor

Na powyższym rysunku przedstawiono wahania ceny ropy naftowej od drugiej połowy XX wieku. Po zakończeniu drugiej wojny światowej zapotrzebowanie na ropę znacznie wzrosło, a zasoby krajów uprzemysłowionych nie zaspokajały popytu, dlatego uruchomiono wydobywanie w wielu krajach słabiej rozwiniętych, które jednak nie czerpały z tego należnych zysków. Inwestycje dokonywały w większości korporacje z kapitalistycznych krajów zachodnich. Od 1960 interesy niektórych krajów wydobywania ropy są chronione przez OPEC.

Aż do początku lat siedemdziesiątych ceny ropy kształtowały się w sposób dosyć stabilny, utrzymując się na poziomie 20-30 USD za baryłkę (ceny skorygowane o poziom inflacji), dostawy jednak ledwo pokrywały zapotrzebowanie. W rejonie Bliskiego Wschodu od lat tlił się konflikt arabsko-izraelski, który eskalował w roku 1973. Sprzymierzone z Palestyną wojska państw arabskich, przede wszystkim Egiptu i Syrii, zaatakowały tereny Izraela. Izrael miał poparcie Stanów Zjednoczonych i Europy Zachodniej, Natomiast kraje arabskie były sprzymierzone ze Związkiem Radzieckim. W trakcie działań wojennych

państwa arabskie zrzeszone w OPEC zdecydowały się na przerwanie dostaw ropy naftowej do USA i Europy Zachodniej. Cena baryłki wzrosła ponad dwukrotnie, do poziomu ponad 50 USD. Kraje Zachodu zostały zmuszone do poszukiwania innych źródeł zaopatrzenia w energię, np. rozwoju sektora energetyki jądrowej, a także poszukiwania nowych źródeł ropy i uruchomienia wydobywania ze źródeł dotychczas nierentownych oraz zwiększenia oszczędności energii. W 1974 roku przy OECD powstała Międzynarodowa Agencja Energii, będąca platformą współpracy państw zakresie zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego[119].

Niepokoje w świecie arabskim wciąż trwały. W roku 1979 miała miejsce rewolucja irańska, która przyczyniła się do drugiego kryzysu naftowego. Rewolucja spowodowała chaos gospodarczy i zmniejszenie wydobywania ropy.

Na dramatyczny wzrost cen ropy w 1979 roku miała także wpływ agresja Związku Radzieckiego na Afganistan. Choć sam Afganistan nie był eksporterem surowca, to świat zachodni obawiał się rozszerzenia radzieckiej strefy wpływów na okoliczne kraje zasobne w ropę naftową. Ostatecznie nie miało to miejsca, jednak ceny ropy naftowej wzrosły do ponad 100 dolarów za baryłkę. Mimo to drugi kryzys naftowy nie miał już tak dotkliwych skutków dla gospodarek zachodnich krajów wysoko rozwiniętych, jak kryzys z roku 1973, gdyż państwa te rozwinęły w pewnym stopniu system pozyskiwania ropy z innych źródeł, między innymi z odwiertów na Morzu Północnym. Największe konsekwencje drugiego kryzysu naftowego odczuły kraje rozwijające się, w wysokim stopniu uzależnione od dostaw ropy naftowej z państw arabskich. Jednak w skali światowej kraje OPEC straciły decydujący udział w produkcji ropy i nawet tak drastyczny wzrost jej ceny nie zapewniał im takiego wzrostu przychodów, jakiego oczekiwały [119].

Od kwietnia 1982 roku OPEC ustala limity wydobywania ropy naftowej dla każdego z państw członkowskich. Redukcja wydobywania ropy przyczyniła się do wzrostu ceny surowca, a co za tym idzie, zwiększenia przychodów krajów członkowskich z eksportu. Kraje członkowskie zdecydowały się podporządkować zarządzeniu, redukując swój udział w rynku ropy. Wiele trudności w koordynacji wspólnej polityki organizacji wynika z faktu, iż w państwach członkowskich realizuje się różne wewnętrzne priorytety polityki gospodarczej. Mniejsi producenci są bardziej skłonni do przekraczania narzuconych limitów w celu podnoszenia krótkookresowego przychodu, natomiast producenci większych ilości surowca, jak Arabia Saudyjska, nie zgadzają się na redukcję swojego wydobywania, by zniwelować różnice i zapewnić równowagę na rynku [119].

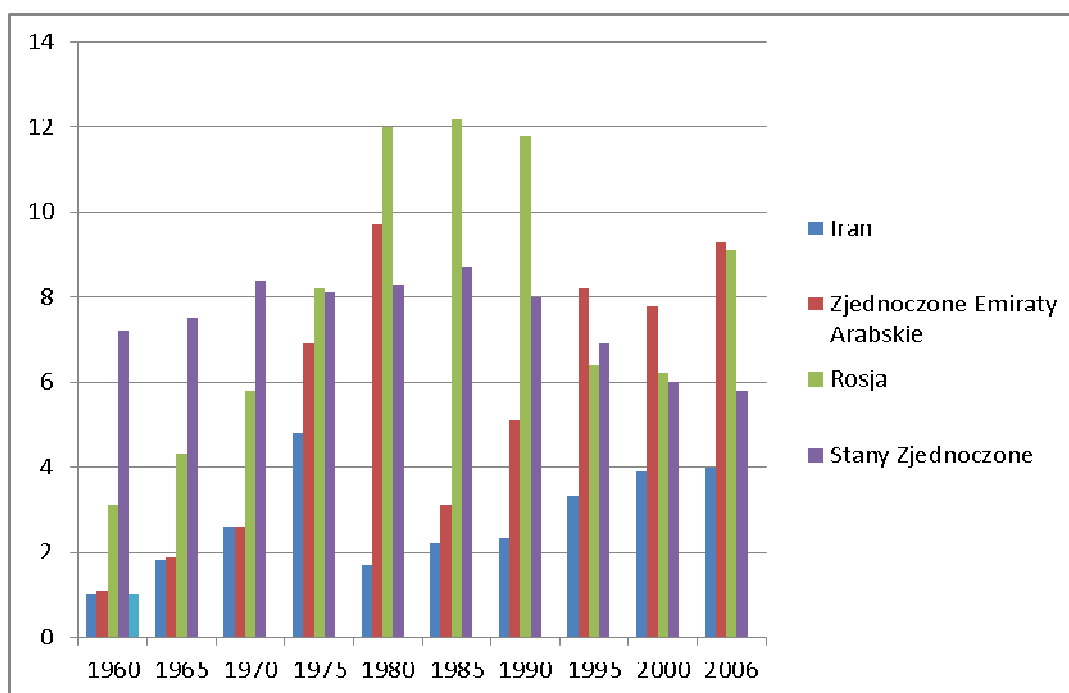
Do początku lat 90 cena ropy naftowej malała, jednakże w roku 1990 miało miejsce kolejne wydarzenie, zaburzające równowagę na tym rynku. Wojska irackie pod dowództwem Saddama Husajna zaatakowały przygraniczne regiony należące do Kuwejtu, zasobne w ropę naftową. Inwazja początkowo była skuteczna, jednak państwa ONZ pod przewodnictwem Stanów Zjednoczonych, po kilku wezwaniach Iraku do opuszczenia terenu Kuwejtu, podjęły decyzję o interwencji zbrojnej, znanej jako operacja „Pustynna Burza”. ONZ nałożyło na Irak sankcje między innymi w postaci embargo na sprzedaż ropy, znacznie zmniejszające dochody państwa do budżetu, zrujnowanego wieloletnimi wojnami [119]. Mimo, iż zmniejszenie dostaw ropy na światowym rynku było znaczne, a sytuacja w regionie bardzo poważna, to na skutek działań, podjętych przez Międzynarodową Agencję Energii, cena surowca wzrosła tylko do 41 dolarów za baryłkę.

W latach 90 ceny baryłki kształtowały się w sposób stabilny w okolicy 20-30 dolarów, w 1998 roku spadły nawet do poziomu 17 dolarów, przede wszystkim z powodu

dużej podaży ropy. Pod koniec lat 90 znowu odnotowano wzrost cen, tym razem nie był on spowodowany przez wydarzenia polityczne w krajach wydobycia surowca. W przeciągu około roku ceny wzrosły ponad dwukrotnie, a przyczyną tego było znaczne ograniczenie podaży, wywołane obniżeniem limitów wydobycia przez organizację OPEC.

Największy wzrost cen ropy naftowej w ostatnich latach miał miejsce tuż przed globalnym kryzysem gospodarczym w roku 2008, kiedy cena baryłki wzrosła do prawie 100 dolarów. Kiedy kryzys rozpoczynał się w Stanach Zjednoczonych, inwestorzy na dużą skalę lokowali swoje środki w surowcach, a słabnący dolar pociągał za sobą wzrost ceny ropy. Jednocześnie wzrastało zapotrzebowanie na ropę krajów rozwijających się, takich jak Chiny i Indie. W momencie, gdy okazało się, iż kryzys nie pozostanie tylko problemem amerykańskim, waluta amerykańska przestała tracić na wartości w stosunku do innych najważniejszych walut – euro i jena. Także postępująca recesja gospodarcza wymusiła spadek cen. Skuteczność działań OPEC w tym okresie – manipulacje limitami wydobycia okazała się niewielka [119].

Rysunek 7 przedstawia zmiany w wielkości wydobycia ropy naftowej przez największych jej producentów, czyli Arabię Saudyjską, Iran, Stany Zjednoczone oraz były Związek Socjalistycznych Republik Radzieckich, a obecnie Federację Rosyjską. Wyraźnie widać zmniejszenia produkcji w państwach arabskich, związane z kryzysami naftowymi z lat 1973 i 1979. Stany Zjednoczone zwiększały swoje wydobycie do lat 70 w celu zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego, jednak ich zasoby ropy nie są zbyt duże i produkcja spada. Duże zasoby surowca posiada Rosja, która zaopatruje głównie rynek wewnętrzny oraz europejski. Rosyjska produkcja ropy załamała się wraz z upadkiem Związku Radzieckiego, jednak od połowy lat 90 ulega zwiększeniu.

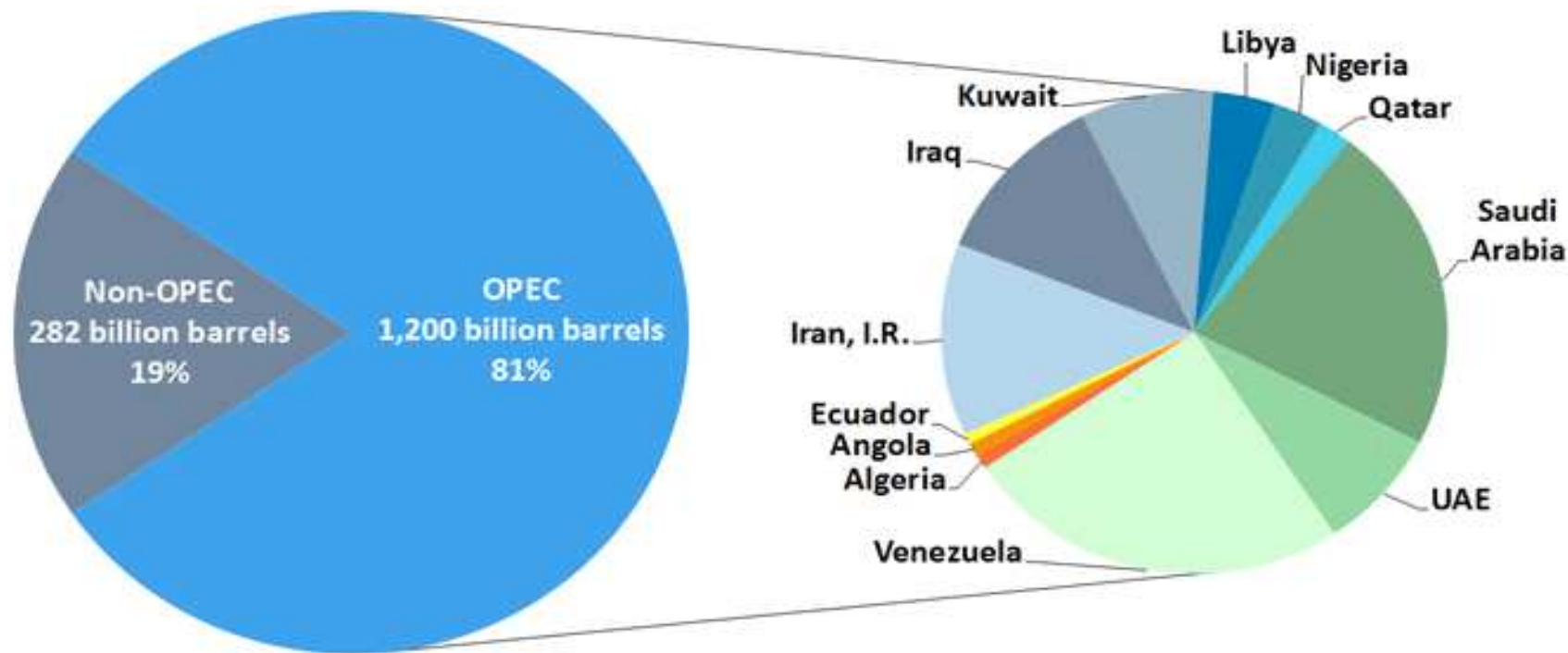


Rys. 7 Najwięksi producenci ropy naftowej w latach 1960-2006

Źródło: *Annual Energy Review 2006*, Energy Information Administration, United States Department of Energy 2007.

Rynek ropy naftowej jest jednym z najważniejszych elementów gospodarki światowej, jednak charakteryzują go trudne do przewidzenia, silne wahania. Powstały liczne mechanizmy, mające na celu regulację ceny ropy, jednak historia pokazuje, iż nie zawsze są one skuteczne. Bardzo duże wahania cen ropy powodują zmiany cen nie tylko produktów jej bezpośredniego przetworzenia, takich jak paliwa, lecz praktycznie wszystkich wyrobów, gdyż producenci ponoszą wyższe koszty transportu czy też ogrzewania. Tania ropa naftowa należy już do przeszłości, co jest związane również z nieuchronnym wyczerpywaniem się surowca. Dlatego poszukuje się paliwa, które mogłoby zastąpić tradycyjną benzynę i olej napędowy, charakteryzującego się bardziej stabilną, a przede wszystkim niższą ceną.

Jak wynika z Rysunku 7, ponad 80% znanych światowych zasobów ropy naftowej znajduje się w posiadaniu krajów zrzeszonych w OPEC, z czego prawie połowa w Wenezueli i Arabii Saudyjskiej. Znaczne zasoby posiada także Iran, Irak, Kuwejt i Zjednoczone Emiraty Arabskie. Szacuje się, że o ile nie zostaną odkryte nowe złoża ropy naftowej w państwach niezrzeszonych w OPEC, to do 2020 roku ich zasoby całkowicie się wyczerpią, co da krajom arabskim pozycję monopolisty na rynku ropy naftowej i możliwość windowania cen. Pewny jest natomiast znaczny wzrost udziału tych krajów na rynku i znaczenia eksportu z państw OPEC dla gospodarki światowej [37].



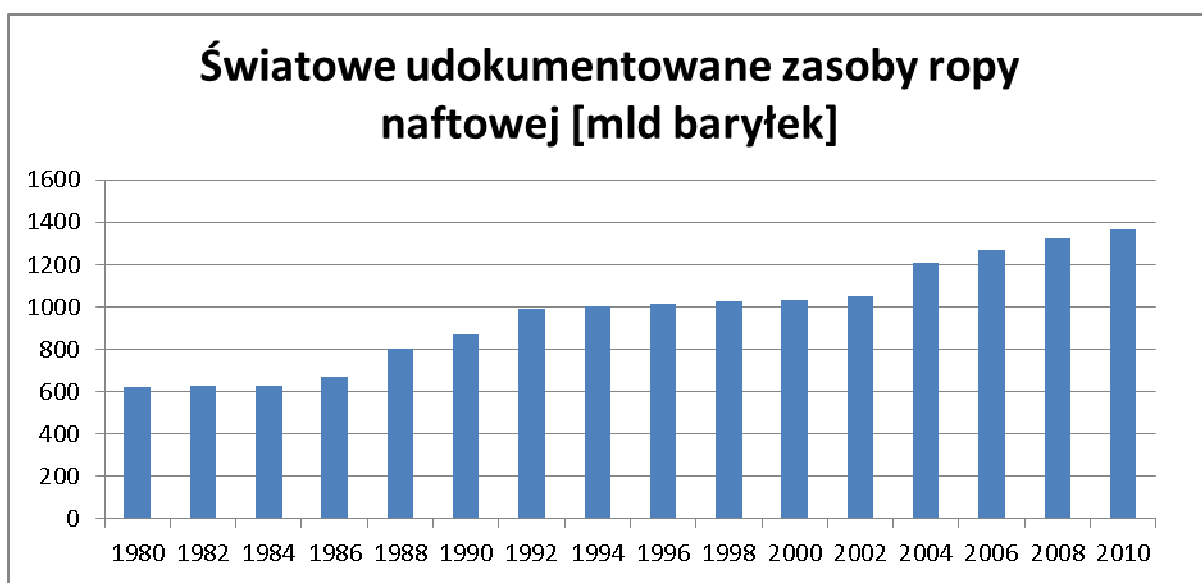
**OPEC proven crude oil reserves, end 2011**  
(billion barrels, OPEC Share)

Venezuela	297.6	24.8%	Iraq	141.4	11.8%	Libya	48.0	4.0%	Algeria	12.2	1.0%
Saudi Arabia	265.4	22.1%	Kuwait	101.5	8.5%	Nigeria	37.2	3.1%	Angola	10.5	0.9%
Iran, I.R.	154.6	12.9%	United Arab Emirates	97.8	8.2%	Qatar	25.4	2.1%	Ecuador	8.2	0.7%

Rys. 8 Światowe zasoby ropy naftowej krajów OPEC i pozostałych w 2011 roku [w miliardach baryłek]  
Źródło: OPEC Annual Statistical Bulletin 2012

Ze względu na kluczowe znaczenie surowca, wciąż poszukuje się nowych źródeł jego wydobycia. Jednak odkrywane pokłady ropy nie są w stanie zaspokoić ogromnego, wciąż rosnącego światowego popytu, co nieodwołalnie wskazuje na konieczność poszukiwania innego źródła energii. Poszukiwania pochłaniają ogromne nakłady pieniężne, nieadekwatne do efektów.

Według niektórych szacunków, uwzględniających udokumentowane zasoby ropy, wyczerpią się one za około 40 lat. Według innych prognoz, ropy naftowej jest wielokrotnie więcej, uwzględniają one szacunkowe, nieodkryte zasoby – surowca wystarczy na około 125 lat. Pewne jest jednak, iż w niedługim okresie gospodarka światowa zostanie całkowicie pozbawiona jednego z kluczowych obecnie surowców. Powinno się zatem już teraz rozwijać i popularyzować technologie, umożliwiające pozyskanie energii ze źródeł odnawialnych.



Rys. 9 Światowe udokumentowane zasoby ropy naftowej w latach 1980-2011 w miliardach baryłek

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych United States Energy Information Administration

### 2.3 Gaz ziemny

Gaz ziemny jest rodzajem paliwa kopalnego o pochodzeniu organicznym. Gaz w naturalnych warunkach gromadzi się w złożach, które wypełniają wolne przestrzenie w skorupie ziemskiej. Złoża gazu mogą występować pod dużym ciśnieniem. Wydobycie gazu ziemnego dokonuje się poprzez odwierty. Zasoby gazu ziemnego mogą występować samodzielnie albo też znajdują się w sąsiedztwie pokładów ropy naftowej czy węgla kamiennego. Skład konkretnego gazu zależy od miejsca, w którym jest wydobywany, a także od technologii tzw. zgazowania. Podstawowy składnik gazu ziemnego stanowi metan, jest to nawet do 98% w przypadku gazu wysokometanowego. To właśnie zawartość metanu w gazie powoduje, że w procesie spalania nie powstają pyły ani odpady stałe. Poza metanem mogą być obecne niewielkie ilości etanu, propanu, butanu oraz innych związków



mineralnych i organicznych. Gaz ziemny ze swojej natury jest bezwonny i musi być specjalnie nawaniany przed wpuszczeniem go do sieci gazowniczej po to by ułatwić wykrycie jego ewentualnej obecności w powietrzu. Gaz ziemny jest stosunkowo mało szkodliwy dla środowiska naturalnego, widać to w porównaniu z innymi źródłami energii: emisja dwutlenku węgla powstała ze spalania gazu jest do 30% mniejsza w porównaniu do ropy naftowej i jest mniejsza o ok. 60% niż w przypadku węgla. Poważnie zmniejszone jest też wydzielanie innych substancji chemicznych, takich jak rtęć, siarka czy dwutlenek azotu.

Gaz ziemny jest substancją bezbarwną, charakteryzuje się mniejszą gęstością niż powietrze. Wchodząc w reakcję z powietrzem tworzy mieszkankę wybuchową. W swoich naturalnych złożach gaz znajduje się pod wysokim ciśnieniem i dlatego sam wydostaje się na powierzchnię ziemi poprzez odwierty. Wydobywany surowy gaz jest przeważnie zanieczyszczony obecnością ciał stałych takich jak rozdrobniony piasek czy glina albo ciekłych, takich jak pozostałości ropy naftowej czyli węglowodorami ciekłymi oraz wodą. Z tego powodu przed wprowadzeniem gazu do rurociągu przesyłowego poddaje się go procesowi oczyszczania. Trzeba podkreślić, że podczas wydobywania gazu i potem jego transportowania muszą być przestrzegane wszelkie zasady regulujące działania na rzecz ochrony środowiska naturalnego. Przy spalaniu gazu uwalniane są tylko są niewielkie ilości szkodliwych gazów. Gaz ziemny z powodu swojej kaloryczności stanowi bardzo dobre źródło energii. Docierający do końcowego odbiorcy gaz ziemny poważnie różni się od gazu wydobywanego z pokładów. Wśród dostarczanego gazu większość to tzw. gaz wysokometanowy. Surowy gaz przed wpuszczeniem do rurociągu zostaje oddzielony od innych frakcji węglowodorów oraz poddany oczyszczeniu. Inne węglowodory, takie jak etan, butan, propan są bardzo wartościowymi produktami lecz nie można ich przesyłać gazociągami ponieważ mają tendencję do skraplania się. W wydobywanym surowym gazie ziemnym obecna jest też para wodna, siarka i siarkowodór, hel, dwutlenek węgla oraz pozostałości ropy naftowej, (dzieje się tak zwykle kiedy gaz towarzyszy wydobywaniu ropy).

Istnieją różne klasyfikacje gazu. Ze względu na zawartość składników węglowodorowych wyróżnia się gaz:

- suchy (niska zawartość propanu i wyższych węglowodorów),
- mokry (propan i wyższe węglowodory w ilościach od 5-10%).

Ze względu na zawartość azotu:

- gaz bezazotowy (zawartość azotu poniżej 1-3%),
- gaz niskoazotowy (zawartość azotu w granicach 3-10%),
- gaz zaazotowany (zawartość azotu powyżej 10%).

Ze względu na zawartość siarkowodoru (siarki):

- gaz małosiarkowy (zawartość siarkowodoru poniżej 0,3%),
- gaz siarkowy (zawartość siarkowodoru w granicach 0,3-3%),
- gaz wysokosiarkowy (zawartość siarkowodoru powyżej 3%).

W Polsce gaz ziemny wydobywany jest przede wszystkim na Podkarpaciu (okolice: Przemyśla, Husowa, Sanoka) i w Zapiadlisku Przedkarpackim (jest to gaz wysokometanowy). Jako efekt procesu odmetanowywania kopalni węgla kamiennego gaz ziemny powstaje w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym, w regionie Wielkopolskim (okolice: Odolanowa, Kościana, Grodziska Wielkopolskiego, Międzychódu) oraz w województwie Lubuskim (tu: Drezdenko). W Polsce rozprawadza się dwa rodzaje gazu

ziemnego: gaz wysokometanowy (około 85%) i gaz zaazotowany (około 15%). Skład obu rodzajów gazu zamieszczono w Tabeli 2.

Tabela 2 Skład gazu wysokometanowego i zaazotowanego

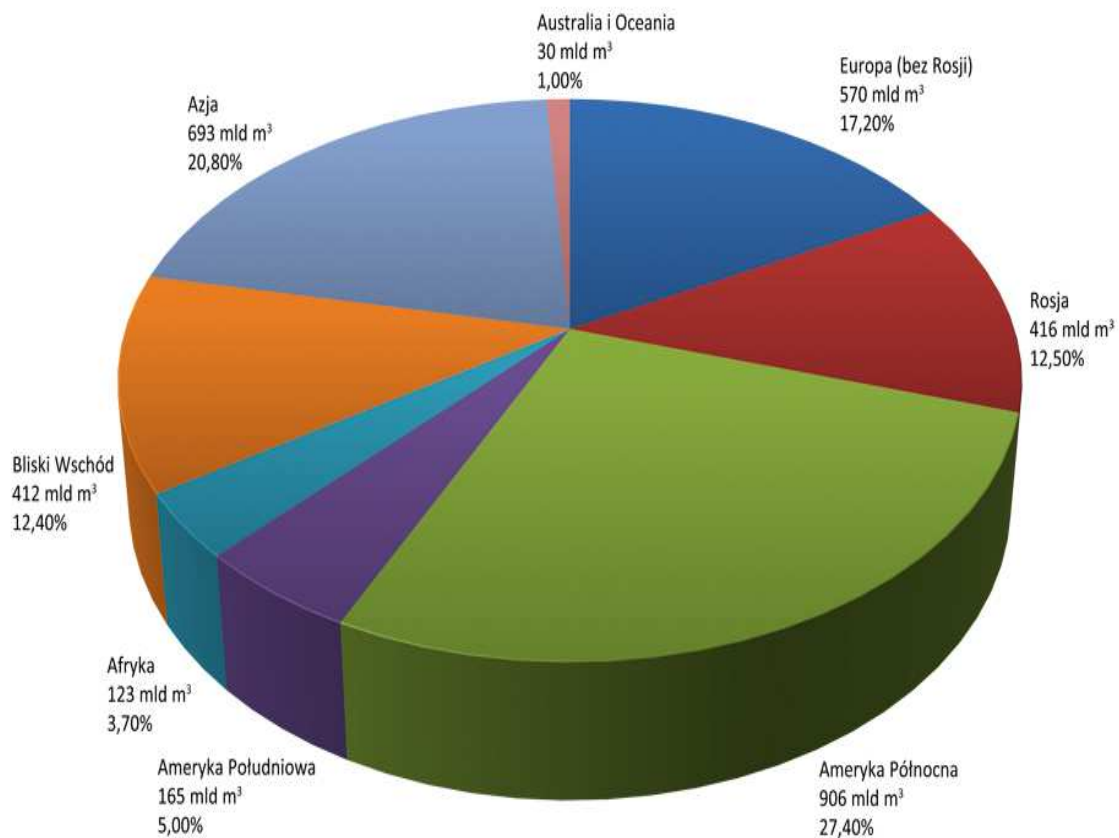
Gaz ziemny	Ciepło spalania [MJ/m <sup>3</sup> ]	Wartość opałowa [MJ/m <sup>3</sup> ]	Metan [%]	Azot [%]	Etan, propan, butan [%]	Dwutlenek węgla [%]	Dwutlenek węgla i inne [%]
wysokometanowy	38,15	34,43	98,14	0,84	0,91	0,11	-
zaazotowany	26,00	25,00	69,40	29,21	-	-	1,39

Gaz ziemny to jedyne paliwo kopalne, na które nieustannie rośnie światowe zapotrzebowanie. Przewiduje się znaczący wzrost popytu na gaz w Chinach, Indiach oraz na Bliskim Wschodzie. W Stanach Zjednoczonych surowiec ten staje się najważniejszym paliwem w bilansie energetycznym z powodu niskiej ceny i jego dużej podaży. Szacuje się, że gaz ziemny wyprzedzi pod tym względem ropę naftową około roku 2030.[38]. W ciągu ostatniego dziesięciolecia roczne zużycie gazu ziemnego na świecie wzrosło o 28%, a w Unii Europejskiej o 16%. W niektórych krajach w tym samym okresie nastąpiło ponad dwukrotne zwiększenie zużycia gazu ziemnego, np. w Chinach o 330%, w Hiszpanii o 270%. W roku 2014 konsumpcja gazu na świecie wzrosła o 0,4 %, w Unii Europejskiej zaś spadła o 11,6 % w odniesieniu do roku 2013, w tym w Polsce tylko o 2,1 %. W Ameryce Północnej nastąpił wzrost o 2,5%, w Ameryce Południowej o 1%. W USA zużycie zwiększyło się o 2,9%, w Azji wzrosło o 2%, zaś w Afryce spadło o 0,1% [116]. Przyszłościowo szacuje się, że do roku 2030 roku zużycie gazu będzie jeszcze wyższe i wyniesie około 4831 mld m<sup>3</sup>/rok, co będzie stanowiło około 25% światowego zużycia energii. W tym momencie gaz ziemny stanie się drugim po ropie naftowej nośnikiem energii (dzisiaj zajmuje trzecie miejsce, przed nim jest węgiel) [104].

Największe udokumentowane złoża gazu na świecie znajdują się:

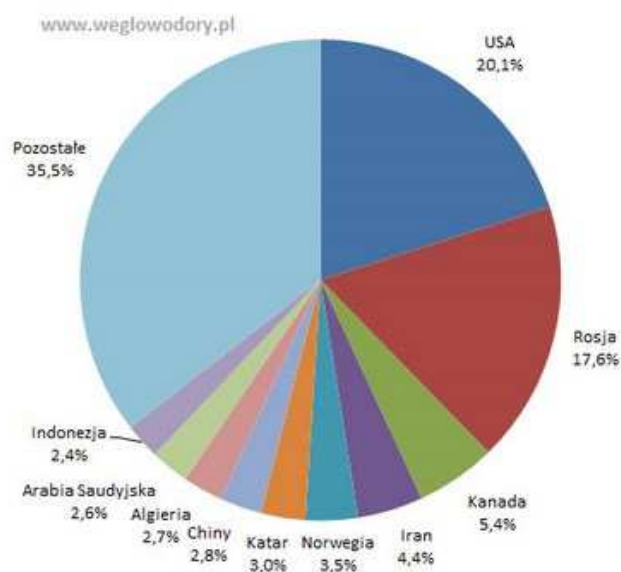
- w Rosji - 48,5 bln m<sup>3</sup>,
- w Iranie - 21,0 bln m<sup>3</sup>,
- w Katarze - 9,0 bln m<sup>3</sup>,
- na Morzu Północnym - 5,38 bln m<sup>3</sup>,
- w Algierii - 3,72 bln m<sup>3</sup>.

Gaz ziemny to doskonałe paliwo, które może być stosowane we wszelkich niemobilnych urządzeniach energetycznych. Do nich należą: kotły (zwłaszcza o małej mocy), suszarnie, turbiny, przemysłowe piece grzewcze czy też kuchenki domowe. Czasami uwarunkowania technologiczne albo techniczne sprawiają, że niemożliwe jest stosowanie innego paliwa niż gazowe (np. produkcja żarówek, turbiny gazowe). Niewątpliwą zaletą gazu łatwość i wygoda transportu tego paliwa (rurociągi) łatwość sterowania oraz automatyzacji samego procesu spalania. Paliwo gazowe pozwala na osiągnięcie wyższych wskaźników sprawności energetycznej niż w urządzeniach, w których zastosowano inne paliwa.



Rys. 10 Wydobywanie gazu ziemnego na Świecie

**Wydobywanie gazu ziemnego na świecie w 2009 roku  
[w mld m sześć.]**



Rys. 11 Wydobywanie gazu ziemnego na Świecie

## 2.4 Energia jądrowa

Połowa XX wieku przyniosła nowy rodzaj energii. W latach pięćdziesiątych pojawiły się pierwsze elektrownie jądrowe a już druga połowa lat sześćdziesiątych przyniosła dynamiczny rozwój energetyki jądrowej. Stało się tak z powodu wzrastających cen paliw kopalnych. Wzrost ten został zahamowany dopiero przez katastrofę w elektrowni jądrowej w Czarnobylu. Współcześnie udział elektrowni wykorzystujących reakcję jądrową w całej światowej produkcji energii elektrycznej stanowi prawie jedną czwartą. Najwięcej reaktorów jądrowych znajduje się w Stanach Zjednoczonych i we Francji, potem kolejno w Japonii, Rosji oraz na Ukrainie [12]. Najważniejszym, poza paliwem jądrowym, elementem reaktora jest moderator neutronów oraz medium, które odbiera ciepło powstające w reaktorze. Moderatorem jest najczęściej woda (woda lekka H<sub>2</sub>O albo woda ciężka D<sub>2</sub>O) lub sam grafit. Wytworzone w reaktorze ciepło jest odbierane przez wodę lub gaz (np. CO<sub>2</sub> czy hel)[40].

Energia jądrowa powstaje jako efekt procesu rozszczepienia bardzo ciężkich jąder promieniotwórczych pierwiastków, takich jak uran, pluton i tor.

Pierwiastki promieniotwórcze dzielimy następująco:

- pierwiastki naturalne, które występują w przyrodzie: aktyn, frans, astat, neptun, pluton, polon, radon, tor, rad i uran,
- pierwiastki sztuczne, które nie występują w przyrodzie: einstein, ameryk, lorens, kiur, berkel, kaliforn, ferm, nobel, mendelew, promet oraz technet.

W drodze reakcji uwalniana zostaje energia wiązania jądrowego, mająca największą wartość dla jąder o średnich masach. Podczas rozszczepienia jednego grama uranu otrzymuje się tyle energii, co podczas spalania ponad dwóch ton węgla.

Paliwo wykorzystywane w reaktorach atomowych to głównie uran. Jest to srebrzystoszary metal o ciężarze właściwym wynoszącym 18,1 g/cm<sup>3</sup>. Uran występuje w postaci rudy uranu, zwykle tzw. blendy uranowej, wymagającej wieloetapowej obróbki, w wyniku której otrzymuje się paliwo jądrowe. Energia jądrowa wytwarzana jest w reaktorach elektrowni jądrowych w wyniku kontrolowanej reakcji łańcuchowej. Rozszczepianiu poddaje się taką ilość ciężkich jąder, zwłaszcza izotopu uranu o masie atomowej wynoszącej 235 (zawartość tego izotopu w naturalnym uranie to tylko 0,7%), jaka jest potrzebna do wytworzenia pożądanej ilości energii elektrycznej. Reakcja rozszczepiania jąder atomu, której wynikiem jest wytworzone ciepło ma charakter lawinowy. Oznacza to, że rozczepienie w określonych warunkach jednego jądra atomu w inicjuje proces rozczepienia kilku następnych jąder. Żeby reakcja znajdowała się pod kontrolą, w pobliżu materiału rozszczepialnego umieszczone zostają materiały, które pochłaniają neutrony powodujące kolejne procesy rozpadu. Materiałami tymi są zwykle wykonane z boru i kadmu pręty. Ich wsuwanie w reaktor reguluje ilość obecnych neutronów. Należy zauważyć, że nie wszystkie neutrony mają moc wywoływania reakcji rozszczepiającej atomy. Najlepiej rozszczepiają atomy tzw. neutrony termiczne, które posiadają stosunkowo niską energię w odniesieniu do energii posiadanej bezpośrednio po wygenerowaniu ich podczas reakcji rozszczepienia. W związku z tym potrzebna jest dodatkowa substancja, która odbierze neutronom energię (tzw. moderator). Moderatorem może być woda i grafit. Reakcja rozszczepienia powoduje uwalnianie się ogromnej ilości energii. Żeby reaktor nie uległ w tej sytuacji przegrzaniu, a w konsekwencji uszkodzeniu, musi być ona szybko i skutecznie odprowadzona stąd też potrzeba chłodziwa, które intensywnie odprowadzi ciepło z reaktora.[32].

Elektrownie jądrowe są to obiekty przemysłowe, które służą do produkowania energii elektrycznej. Elektrownia atomowa to rodzaj elektrowni cieplnej, w której ciepło zostaje wytworzone w wyniku rozszczepienia atomów. Ciepło, w zależności od rodzaju elektrowni w sposób pośredni lub bezpośredni ogrzewa a w konsekwencji odparowuje wodę. Następnie para wodna w turbinie zostaje zamieniona z energii cieplnej na mechaniczną, która z kolei porusza prądnicę, za pomocą której przetwarza się energię mechaniczną na energię elektryczną. Elektrownia jądrowa to rodzaj to elektrowni cieplnej. W elektrowni jądrowej, podobnie jak w elektrowniach konwencjonalnych na inne paliwa kopalne, podgrzewa się wodę żeby potem wytworzoną parą uruchamiać turbiny parowe i generatory, które wytwarzają energię elektryczną. Jedyną różnicę stanowi sposób podgrzewania wody: zamiast spalania węgla czyli utleniania pierwiastka węgiel zawartego w węglu kamiennym oraz brunatnym czy też w oleju oraz gazie, wykorzystywana jest reakcja rozszczepiania jąder atomu. Pozostałe elementy elektrowni oprócz „paleniska” (reaktor jądrowy zajmuje miejsce pieca, w którym spalane są kopaliny) są dokładnie takie, jak w konwencjonalnych elektrowniach. Paliwem w elektrowniach atomowych jest uran, a dokładnie U-235 czyli jego rzadki izotop [40]. Stosuje się różne kryteria podziału elektrowni jądrowych – ze względu na rodzaj reaktora, zastosowane chłodziwo, generację reaktora, energię neutronów, ilość obiegów.

Głównymi problemami w energetyce jądrowej jest eksploatacja złóż uranu i składowanie odpadów radioaktywnych, które umieszcza się na specjalnych składowiskach. Duża elektrownia jądrowa produkuje rocznie około 30 ton odpadów. Odpady promieniotwórcze składa się głęboko pod ziemią w pokładach solnych lub ilowych, na terenach asejsmicznych, w skałach, przez które nie penetruje woda [12].

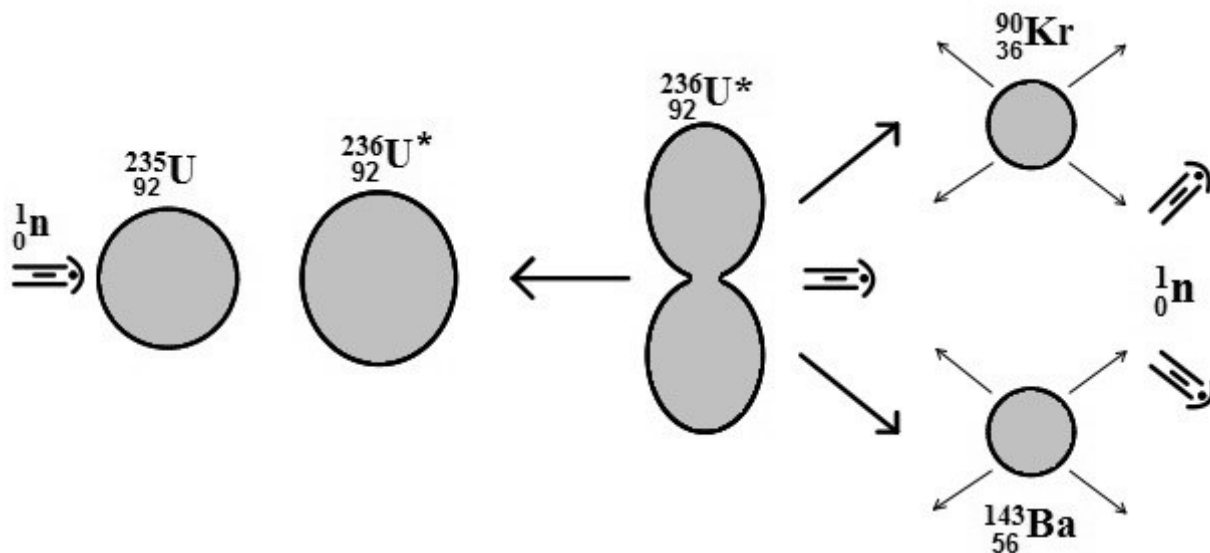
Zalety wynikające z funkcjonowania elektrowni jądrowych są następujące [12]:

- najbardziej skondensowane źródło energii,
- niespotykane współczynniki wykorzystania mocy zainstalowanej,
- brak emisji pyłów i szkodliwych gazów,
- wielokrotne zmniejszenie ilości odpadów i powierzchni ich składowania,
- ograniczenie eksploatacji paliw kopalnych,
- brak hałaśliwych urządzeń,
- produkcja energii tańsza niż z innych źródeł po zwrocie kosztów inwestycyjnych,
- bezpieczeństwo – poziom zabezpieczeń porównywalny do przemysłu kosmicznego.

Wady, które stwarza działanie elektrowni jądrowej[12]:

- potencjalne zagrożenie dla zdrowia ludzi, mieszkających w pobliżu, narażenie ich na szkodliwy wpływ promieniowania jonizującego w razie awarii w elektrowni,
- trudności wynikające z powstawania odpadów promieniotwórczych: problemy z ich transportem oraz ich składowaniem (brak odpowiednich miejsc na bezpieczne gromadzenie odpadów, ewentualne skażenie atmosfery, wody oraz gleby w rejonach przechowywania odpadów,
- ogromne wielkie straty oraz skutki potencjalnych awarii, będące wynikiem skażenia radioaktywnego,
- bardzo wysokie koszty budowy miejsc do składowania i samego składowania odpadów radioaktywnych,
- niezwykle długie (w porównaniu z energetyką konwencjonalną) okresy zwrotu inwestycji w energetyce jądrowej – 15-20 lat

Elektrownie jądrowe występujące na świecie dzielimy na trzy rodzaje: 186 czyli prawie połowa z nich funkcjonuje w Europie, jedna czwarta znajduje się w Ameryce Północnej. Pozostałe czyli jedna czwarta pracują na Dalekim Wschodzie oraz w Azji Południowej. Na początku września 2011 r. funkcjonowały na świecie 432 reaktory energetyczne, w sumie posiadały moc 366,535 GWe (gigawatów mocy elektrycznej). Wszystkie te elektrownie dostarczyły blisko 15% całkowitej energii elektrycznej produkowanej na świecie. Warto dodać, że w 16 krajach udział energetyki jądrowej przekracza 25%. W roku 2010 w krajach Wspólnoty Europejskiej 145 reaktorów jądrowych dostarczyło ponad 30% energii elektrycznej. Pod względem udziału energetyki jądrowej w bilansie elektroenergetyki pierwsze miejsce zajmowała Francja z wynikiem 74,12%, Słowacja - 51,80% oraz Belgia - 51,16%. W Ameryce Północnej funkcjonują 124 reaktory, które pokrywają zapotrzebowanie na energię elektryczną między innymi USA (w 20%) oraz Kanady w 15% (odpowiednio jest tam czynnych 104 i 18 reaktorów). Na Dalekim Wschodzie i w Azji Południowej pracowało w roku 2010 aż 114 jądrowych bloków energetycznych, w tym w Republice Korei 21 elektrowni (32,18%), a w Japonii 54 (29,21%). Równie znaczący udział w bilansie energetycznym krajów ma energetyka jądrowa w niektórych pozostałych poza wymienionymi państwach naszego regionu (Rosja 17,09% pochodzące z 32 reaktorów, Ukraina 48,11% pochodzące z 15 reaktorów, Czechy 33,27% z 6 reaktorów, Węgry 42,10% z 4 reaktorów) [40].



Rys. 12 Rozszczepienie jądra atomowego uranu

Źródło: <http://ncbj.edu.pl/fizyka-reaktorow/reakcja-rozszczepienia-jadra-atomowego>

### 3 Odnawialne źródła energii

Odnawialne źródła energii charakteryzują się tym, iż można z nich korzystać w sposób nieograniczony, gdyż samoistnie się odtwarzają. Są to źródła, które czerpie się z natury. Należą do nich: energia słońca, wody, wiatru, biomasy, geotermalna i inne.

#### 3.1 Energia słoneczna

Technologie energii słonecznej bazują na wykorzystaniu energii cieplnej do celów grzewczych lub do produkcji energii elektrycznej. Energia słoneczna wykorzystywana jest na trzy sposoby [106]:

- w procesie konwersji fotowoltaicznej, czyli bezpośredniej zamiany energii promieniowania słonecznego w energię elektryczną dokonującą się w ogniwie słonecznym (fotowoltaicznym),
- w procesie konwersji fototermicznej, czyli zamiany energii promieniowania słonecznego w energię ciepłą zachodzącą w kolektorze słonecznym,
- w procesie zamiany energii słonecznej pośrednio w energię elektryczną dokonującej się w tzw. piecach słonecznych lub jej wykorzystanie do celów produkcyjnych.

Zasadniczym problemem wykorzystywania energii słonecznej jest fakt, że występuje ona w określonych porach doby (podczas dnia), nie jest więc dostępna w sposób ciągły. Dodatkowo zależy ona od pory roku oraz stopnia nasłonecznienia, co jest zjawiskiem niemożliwym do przewidzenia. To wszystko stwarza trudności w jej magazynowaniu po wyprodukowaniu. Panele fotowoltaiczne, które wykorzystuje się do produkcji prądu elektrycznego w systemach, które nie są zintegrowane z siecią elektryczną muszą mieć warunki do magazynowania energii w bateriach, ładujących się w podczas dnia i dostarczających prąd do urządzeń w nocy. Współcześnie niektóre z elektrowni słonecznych mają systemy pozwalające na gromadzenie energii słonecznej w postaci ciepła (np. w roztopionych solach). Gromadzi się energię przy wykorzystaniu równocześnie energii słonecznej oraz hydroenergii czy też poprzez wytwarzanie i magazynowanie wodoru metodą elektrolizy wody [106].

Ogniwo fotowoltaiczne czyli ogniwo słoneczne składa się z półprzewodnika (zwykle są to półprzewodniki krzemowe krystaliczne). Ogniwo fotowoltaiczne bezpośrednio zamienia fotony światła na prąd elektryczny. Komórka to najmniejszy element ogniwa słonecznego. Komórki ogniwowe łączy się za pomocą metalowego przewodnika elektryczności w większe moduły, a te z kolei w panele. Moduły wytwarzają prąd o określonym napięciu (zwykle jest to 12 V). Szereg takich połączonych w panelu komórek ogniowych produkuje stały prąd elektryczny. Prąd stały elektryczny wykorzystuje się w sposób bezpośredni lub zamieniać go na prąd zmienny przy pomocy przetwornicy. Ogniwa słoneczne muszą być zabezpieczone przed niekorzystnym oddziaływaniem atmosfery. W tym celu montuje się je w pokrytej szkłem obudowie, która dodatkowo zostaje zabezpieczona materiałem przeciwodblaskowym. Natężenie generowanego przez ogniwa prądu zależy od natężenia promieniowania słonecznego, padającego na moduł, jak też od ilości samych modułów. Komórka ogniwa słonecznego wykorzystuje tylko pewną część

energii zawartej w promieniowaniu słonecznym (sprawność wykorzystania energii słonecznej 15-20 %). Aby móc bardziej efektywnie wykorzystać energię słoneczną buduje się komórki wielowarstwowe, w których każda warstwa składa się z półprzewodników złożonych z arsenu i galu, miedzi z indem i selenem oraz kadmu i telluru (sprawność około 35 %). Ogniwa słoneczne są stosunkowo drogie, stąd ich wykorzystanie jest ograniczone [106].

Energię słoneczną można wykorzystywać również przez podgrzewanie wody w kolektorach słonecznych. Aby pochłoniąć więcej energii słonecznej, kolektor słoneczny pomalowany jest na czarno. Podgrzana woda jest pompowana do zbiornika ciepłej wody, w którym zainstalowany jest dodatkowy grzejnik elektryczny, który reguluje temperaturę wody. Ze zbiornika woda pobierana jest przez użytkownika i wykorzystywana do mycia lub ogrzewania pomieszczeń. System ten funkcjonuje poprawnie w ciepłych strefach klimatycznych, natomiast w innych strefach woda musi być usunięta z systemu w okresie zimowym, aby nie dopuścić do jej zamarznięcia. W Polsce bardziej zaawansowane systemy pozwalają w 90 % zaspokoić zapotrzebowanie na ciepłą wodę w okresie od kwietnia do listopada [106]. Połączone szeregowo ogniwa fotowoltaiczne tworzą kolektory słoneczne, potrzebne żeby uzyskać odpowiednie napięcie oraz pożądaną moc. Kolektory słoneczne służą więc do konwersji fotochemicznej czyli procesu fotochemiczny prowadzącego do tworzenia wysokoenergetycznych wiązań chemicznych, a w konsekwencji zamiany energii słonecznej w użyteczne ciepło. Kolektory słoneczne są one używane do ogrzewania pomieszczeń (c.o.), uzyskiwania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.), chłodzenia i produkcji technologicznego ciepła. Kolektory słoneczne zwykle montuje się na dachach budynków, rzadziej na ich elewacjach. Znamy też konstrukcje wolnostojące, np. na działkach (kiedy jest dość duży teren, bez zacinających go drzew czy zabudowań). Zdecydowanie najbardziej efektywną lokalizacją jest instalacja kolektora kierunku południowym. Badania wskazują, że optymalna wartość kąta nachylenia kolektora to ok. 315-328 K [123]. W praktyce stosowane są kolektory płaskie oraz próżniowe. Poza kolektorami instalacje fotowoltaiczne muszą posiadać konstrukcję wspierającą wraz z układem sterującym ruchem kolektorów, system ich regulacji oraz kontroli. Zasadniczym elementem jest urządzenie przekształcające prąd stały, który uzyskujemy z kolektorów na prąd zmienny oraz system gromadzenia energii oraz jej źródło rezerwowe.

Instalacje fotowoltaiczne posiadają następujące cechy:

- nie potrzebują paliwa, więc unika się problemów związanych z jego transportem oraz magazynowaniem,
- nie potrzebują kosztownego i intensywnego chłodzenia więc nie wymagają budowania więc mogą być budowane w dowolnym miejscu, a nie tak jak tradycyjne elektrownie w pobliżu rzek,
- ogniwa przekształcają w energię rozproszoną część promieniowania słonecznego padającego na Ziemię,
- ich wydajność nie ulega zmniejszeniu wraz z upływem czasu,
- długa żywotność (20-30 lat).

System pośredniego wykorzystania energii słonecznej polega na koncentracji energii w jednym punkcie (w ogniskowej), w którym możliwe jest osiągnięcie temperatury do 3573 K. W ogniskowej umieszcza się odbiornika ciepła, a koncentracja energii słonecznej jest przeprowadzana przy pomocy luster wklęsłych i soczewek (układ koncentracji energii



słonecznej). Energię skoncentrowaną wykorzystuje się jako źródło ciepła do podgrzewania wody i tworzenia wysokociśnieniowej pary wodnej, stosowanej w tradycyjnej elektrowni ciepłej do produkcji energii elektrycznej. Wykorzystuje się następujące technologie koncentracji energii słonecznej:

- reflektor paraboliczny lustrzany korytkowy,
- reflektor linearny lustrzany Fresnela,
- reflektor miskowy Stirlinga,
- wieża słoneczna.

Energia słoneczna może być również stosowana do produkcji przemysłowej oraz do zamiany na energię chemiczną [106].

### 3.2 Energia wiatru

Wiatr jest zjawiskiem przyrodniczym o niedającym się precyzyjnie określić, zmiennym charakterze. Z tego powodu niemożliwe jest przewidzenie wielkości energii możliwej do uzyskania w określonej chwili. Jednak możemy oszacować łączną produkcję energii w długim okresie z dość dużą dokładnością, ponieważ średnia prędkość wiatru i jego rozkład prędkości podczas roku zmieniają się w bardzo niewielkim stopniu. Energia kinetyczna wiatru jest zależna od jego prędkości, od temperatury powietrza oraz od ciśnienia atmosferycznego. Energia wiatru tworzy się w wyniku różnicy temperatur ogromnych mas powietrza, która jest spowodowana nierównomiernym nagrzewaniem się powierzchni kuli ziemskiej. Okazuje się, że zmienność wiatru nie wprowadza nieprzewidywalnych wahań w działanie systemów energetycznych, pod warunkiem, że energia powstająca z wiatru nie stanowi dominującego źródła energii. Duńskie doświadczenia płynące z energetyki wiatrowej wskazują, żeby udział energii wiatrowej w całym systemie energetycznym nie przekraczał 20% [123].

Elektrownię wiatrową nazywamy zespół urządzeń, które produkują energię elektryczną wykorzystując tzw. turbiny wiatrowe. Współczesne turbiny wiatrowe zamieniają siłę wiatru czyli prędkość ruchu powietrza na energię elektryczną. Do ich wad należy ich widoczna obecność w krajobrazie, co spotyka się z różnym postrzeganiem i oceną estetyczną tych budowli oraz to, że powodują hałas. Uważa się też, że mogą stanowić zagrożenie dla ptaków (możliwość powstawania urazów mechanicznych i zakłóceń w ptasiej nawigacji). Trzeba przyznać, że nieduże pojedyncze turbiny stanowią bardzo dobre źródło energii w miejscach, które oddalone są od centrów cywilizacyjnych, a więc brak możliwości podłączenia do krajowej sieci energetycznej. Energia wiatru jest zależna od jego prędkości w trzeciej potęgze; wobec tego bardzo istotna jest lokalizacja wiatraków. Musi to być miejsce, w którym częstotliwość występowania silnych wiatrów rzędu 10-20 m/s jest największa. Bardzo zaawansowane technologicznie wiatraki prądotwórcze mogą pracować przy prędkości wiatru od 3 do 30 m/s. Turbina wiatrowa o mocy 1 MW wymaga minimalnej średniorocznej prędkości wiatru, zaś gwarantująca opłacalność inwestycji to prędkość wiatru 5 m/s. Żeby otrzymać 1 MW mocy, oprócz odpowiedniej siły wiatru, wirnik turbiny wiatrowej musi mieć średnicę około 50 metrów. Żeby optymalnie wykorzystać miejsca o korzystnych warunkach lokalizacyjnych buduje się elektrownie wiatrowe, które składają się z wielu ustawionych obok siebie turbin (są to tzw. farmy wiatrowe). W Polsce prędkość wiatrów wynosi średnio 2,8 m/s w lecie oraz 3,8 m/s w porze zimowej i tylko w niewielu miejscach okresowo prędkość wiatru przekracza 5m/s,

co stanowi bezwzględne minimum dla zasilania turbin wiatrowych. Największy udział energii wiatrowej na świecie mają Niemcy (około 40% produkcji w skali całego globu).

Główny element elektrowni wiatrowej stanowi wirnik, który przekształca energię wiatru w energię mechaniczną, z której następnie generator wytwarza energię elektryczną. Posadowiony na wale wolnoobrotowym wirnik ma zazwyczaj trzy łopaty, które wykonane są z włókna szklanego wzmocnionego poliestrem. Wirnik obraca się zwykle z szybkością od 15 do 30 obrotów na minutę, którą potem powiększa przekładnia aż do 1500 obrotów na minutę. Przekładnia łączy się z wałem szybkoobrotowym, do którego podłączony jest generator. Wszystkie te elementy: generator, przekładnia, system sterowania monitorujący siłownię, układ smarowania, chłodzenia oraz hamulec znajdują się w gondoli, która jest zamontowana razem z wirnikiem na stalowej wieży zwykle o wysokości od 30 do 100 m. Na samym szczycie wieży zamontowany jest silnik oraz przekładnia zębata, które mają za zadanie obracanie wirnika wraz z gondolą w kierunku wiatru. Takie turbiny wiatrowe muszą być wyposażone w układ kontrolny, pozwalający na uniknięcie mechanicznego uszkodzenia elektrowni oraz umożliwiający jak najbardziej efektywne wykorzystywanie jej możliwości. Komputerowy system kontroli zbiera i wykorzystuje wszystkie informacje dotyczące kierunku i prędkości wiatru. Wyróżnia się następujące turbiny wiatrowe o poziomej i pionowej osi obrotu. W praktyce wykorzystuje się duże i małe turbiny wiatrowe. Duże turbiny produkujące energię do kilku MW wymagają dobrych warunków wiatrowych i rozległych, niezabudowanych terenów (szpecą krajobraz, są uciążliwe pod względem hałasu i stanowią zagrożenie dla ptaków i nietoperzy). Kiedy warunki panujące w danym miejscu uniemożliwiają wykorzystywanie wielkich turbin wiatrowych można stosować niewielkie turbiny o mocy od 0,1 do 100 kW. Ich praca jest cicha, nie są zagrożeniem dla ptaków, nie niszczą estetyki krajobrazu. Okazuje się, że określone tereny wyjątkowo sprzyjają stosowaniu małych turbin wiatrowych. Są to:

- obszary o niezbyt korzystnych warunkach wiatrowych, gdzie nie są potrzebne duże ilości energii elektrycznej,
- obszary trudno dostępne, gdzie można wykorzystywać turbiny wiatrowe o przenośnej konstrukcji,
- tereny na dalekiej północy, o niewielkiej ilości światła gdzie małe turbiny zasilają stacje telefonii komórkowej,
- warunki ekstremalne - bardzo silne wiatry oraz skrajne temperatury. Małe turbiny wiatrowe, które mają pionową oś oraz moc ok. 10 kW wytrzymują tak niekorzystne warunki jak: cyklony, sztormy i burze piaskowe, przystosowane są też do pracy w temperaturach od 223 do 323 K.

### 3.3 Energia wody

Energetyka wodna to pozyskiwanie energii z siły wód. Tak otrzymana energia zostaje potem zamieniona na energię mechaniczną, ta zaś z kolei przy zastosowaniu turbin wodnych oraz hydrogeneratorów w siłowniach wodnych czyli tzw. młynkach oraz w elektrowniach wodnych zostaje przekształcona na energię elektryczną. Współcześnie hydroenergetyka interesuje się przede wszystkim pozyskiwaniem energii z wód o bardzo dużej sile przepływu oraz znaczącej różnicy poziomów. Taką sytuację uzyskuje się poprzez spiętrzeniu górnego poziomu wody. W tej chwili ok. 20 % światowej produkcji energii elektrycznej pochodzi z hydroenergii.

Najczęściej wodę wykorzystuje się do wytwarzania energii w elektrowniach wodnych, zamieniających za pomocą turbin wodnych energię przepływu czy też spadku wody na energię elektryczną. W większość elektrowni wodnych po prostu przegradza się za pomocą zapory dolinę konkretnej rzeki żeby spiętrzyć wodę. Turbina wodna, tzw. turbina hydrauliczna najczęściej jest silnikiem wodnym, który przetwarza energię mechaniczną wody na tzw. ruch obrotowy. Dzieje się tak poprzez wirnik z łopatkami, który obracając się z kolei napędza prądnicę lub układ prądnic. Wyróżniamy turbiny wodne osiowe, diagonalne czyli skośne, turbiny promieniowe oraz styczne. Ta klasyfikacja zależy od kierunku przepływu wody. Biorąc pod uwagę przetwarzanie energii klasyfikujemy turbiny na akcyjne czyli przetwarzające wyłącznie energię kinetyczną wody i reakcyjne, które poza energią kinetyczną wody przemieniają też energię jej ciśnienia. Decyzja o wyborze rodzaju turbiny jest uwarunkowana wysokością spadku oraz ilością wody, na której pracuje dana elektrownia wodna. Przyjmuje się, że turbiny akcyjne stosuje się zwykle w elektrowniach o wysokim spadzie, zaś turbiny reakcyjne znajdują zastosowanie dla mniejszych spadów. Turbina wodna przemienia energię kinetyczną na energię mechaniczną. Podłączony do niej generator tzw. prądnica wytwarza z energii mechanicznej energię elektryczną. Generator do swojego działania wykorzystuje prawo indukcji elektromagnetycznej. Na ruchomej części generatora, tzw. wirniku zostały umieszczone przewody elektryczne, które obracają się na żelaznej ramie generującej silne pole elektromagnetyczne. Wirnik zostaje wprawiony w ruch turbiną, która porusza się za pomocą energii kinetycznej silnie spadającej wody. Wytworzona w elektrowni wodnej energia elektryczna jest przenoszona do miejsca odbioru poprzez linie przesyłowe. Tak wytworzona elektryczność ma zwykle dość niskie napięcie żeby było możliwe jej efektywnie przesyłanie na odległe dystanse więc raczej nie trafia bezpośrednio z miejsca wytwarzania do domów i zakładów pracy bezpośrednio z miejsca produkcji. Dodatkowo w procesie transmisji pewna część energii elektrycznej zamieniona zostaje w ciepło, co oznacza stratę. Straty energii podczas przesyłu są tym większe, im większy był ładunek elektryczny prądu. W celu zminimalizowania strat energii elektryczność podczas transmisji przekazuje się go najpierw do stacji transformatorowej, odpowiednio zwiększającej napięcie. Opłacalna jest bowiem transmisja prądu o niższym ładunku elektrycznym i o wyższym napięciu. Prąd o takich właściwościach nie nadaje się jednak do użytku i zanim zostanie przekazany do dystrybucji musi zostać zmodyfikowany: jego napięcie musi zostać obniżone, co jest dokonywane w stacjach przekątnikowych.

W elektrowniach wodnych można też wykorzystywać energię, którą zawierają wody śródlądowe i pływy wód morskich. Trzeba wtedy zredukować w jakichś granicach, np. fragment strumienia, rzeki, czy część zatoki, naturalne straty energii wody i uzyskać jej spiętrzenie odnośnie poziomu odpływu. Takie elektrownie zbiornikowe wodne mogą odgrywać też inną ważną rolę, np. stanowić zabezpieczenie przeciwpowodziowe. Takie zbiorniki wodne mogą służyć rekreacji, znajdować zastosowanie jako stawy hodowlane czy też zapewniać lokalne zaopatrzenie w wodę. Mogą też regulować przepływ żeglugi i odgrywać rolę w nawadnianiu terenów. Istotne znaczenie posiadają elektrownie wodne szczytowo-pompowe, które pozwalają na użycie wody jako swoistego magazynu energii. Rozwój hydroenergetyki w sposób oczywisty zależy od zasobów energii wód.

### 3.3.1 Energia rzek

Energię wody człowiek uzyskuje poprzez wykorzystanie naturalny przepływu wody

w rzekach albo też korzysta z różnicy poziomów pomiędzy wodą znajdującą się w zbiorniku (albo jeziorze), a korytem, w którym płynie woda. Żeby wykorzystywać energię wodną stawia się tamy, budowane w miejscach występowania jezior i dolin. Wówczas odpływ wody z jeziora kontroluje się poprzez tunele znajdujące się w tamie, tam też znajduje się turbina, która jest sprzężona z generatorem prądu elektrycznego. Kiedy woda spada na łopatki turbiny, wprawia turbinę w ruch obrotowy. Wówczas generator produkuje prąd elektryczny, przesyłany do odbiorców wysokonapięciową linią przesyłową. Możliwe jest także sterowanie ilością wytwarzanego prądu elektrycznego, poprzez kierowanie zbytecznej części wody z ominięciem turbiny. Turbina wodna jest urządzeniem, które wykonuje pracę mechaniczną. Budowanie tam oraz zbiorników wodnych stanowi zawsze wysoko kosztowną inwestycję oraz wymaga sporych terenów na takie inwestycje. Jednakże ogromną zaletą, która uzasadnia takie inwestycje stanowi niezwykle tania produkcja energii, na dodatek powstające duże tereny związane z takimi budowlami mogą być wykorzystywane na cele rekreacyjne, co stanowi niewątpliwą korzyść dodatkową. Energia grawitacyjna zostaje zgromadzona w wodzie, znajdującej się poza tamą. Ponieważ woda spadająca z turbiny posiada ogromne ciśnienie, umożliwia to wykorzystanie znacznej części energii znajdującej się w wodzie. Po wykorzystaniu energii woda znów wraca do koryta rzeki [106].

Ze względu na sposób odprowadzania wody do turbin elektrownie wodne wykorzystujące wody śródlądowe dzieli się na [123]:

- Elektrownie przepływowe, przetwarzające w sposób bezpośredni za pomocą turbin energię kinetyczną przepływającej w rzece wody, ich moc zależy od ilości przepływającej wody, nie mają one zbiornika składującego wodę,
- Elektrownie regulacyjne czyli zbiornikowe, wyrównujące sezonowe zmiany w ilości płynącej wody; jeżeli zastosujemy zbiornik wodny posadowiony przed elektrownią, mają wtedy charakter retencyjny (czyli wyrównują poziom rzeki w dół od zapory),
- Elektrownie szczytowo-pompowe, służące przede wszystkim gromadzenia energii elektrycznej wyprodukowanej w inny sposób. Elektrownie znajdują się między dwoma zbiornikami wodnymi – górnym i dolnym i pozwalają kumulować energię w czasie małego na nią zapotrzebowania poprzez pompowanie wody ze zbiornika dolnego do górnego, co powoduje stratę pewnej części energii. W okresie większego zapotrzebowania energia ta wyzwalam jest poprzez spuszczenie wody ze zbiornika górnego i w ten sposób napędza turbiny. Elektrownie te są skutecznym akumulatorem o znaczącej pojemności.

### 3.3.2 Energia mórz i oceanów

Możliwości wykorzystania energii mórz i oceanów w zależności od jej źródła są następujące:

- wykorzystanie energii zjawisk takich jak przyływy i odpływy,
- wykorzystanie energii fal morskich,
- wykorzystanie różnicy temperatury poszczególnych warstw wody, w zależności od głębokości,
- wykorzystanie różnicy zasolenia poszczególnych warstw wody (tzw. gradient zasolenia).

Znamy następujące sposoby wykorzystania energii przyływów i odpływów:

- zamiana energii kinetycznej horyzontalnej pochodzącej z fal morskich na energię elektryczną,
- wykorzystanie różnicy poziomu wody do wytwarzania energii elektrycznej.

Pierwsza metoda realizuje się poprzez budowę zapór czyli wykorzystanie różnicy poziomów pomiędzy wysokimi oraz niskimi pływami. Tego rodzaju zapory lokalizuje się głównie przy ujściach rzek czy też w określonych cieśninach oraz zatokach. W takich zaporach połączone z generatorami turbiny wytwarzają energię elektryczną. W trakcie przepływu fale przenoszą się zwykle poprzez turbinę (możliwy też jest przepływ przez otwartą śluzę).

Tzw. elektrownia pływowa produkuje prąd elektryczny za pomocą specjalistycznych urządzeń wykorzystujących zjawisko przyływów i odpływów morza. Buduje się je w miejscach, w których możliwa jest budowa zapór z turbinami; zwykle umieszcza się je pomiędzy otwartym morzem a utworzonym na potrzeby elektrowni zbiornikiem. Hydroelektrownie czyli elektrownie pływowe produkują energię elektryczną za pomocą siły wód. Żeby to osiągnąć konstruuje się specjalne tamy, powodujące w konkretnych miejscach gwałtowny spadek dużych mas wody. Taka woda spadając na turbinę ze specjalnymi łopatom (ustawione pod odpowiednim kątem). Turbina poruszona siłą wody przekazuje swoją energię do prądnicy produkującej prąd. Żeby możliwa była przemiana energii płynącej wody do napędzenia silników wodnych (kół oraz turbin), trzeba spiętrzyć wodę za pomocą tzw. budowli piętrzących czyli jazów i przegród dolinowych. Wtedy otrzymany w konkretnym przekroju rzeki poprzez spiętrzenie wody, jest energią mechaniczną. Elektrownia tego rodzaju nie jest w stanie produkować energii elektrycznej stale, ponieważ w okresie wyrównywania się poziomów wody w morzu i zbiorniku spadek wody jest zbyt mały, żeby praca turbin była w ogóle możliwa. Dlatego wymaga się żeby elektrownia pływowa współpracowała z elektrownią cieplną albo rzecznią elektrownią wodną, które wytwarzają energię elektryczną podczas przerwy w pracy elektrowni przepływowej. Podczas gdy różnica poziomów wody w morzu oraz zbiorniku jest wystarczająco duża możliwe jest pompowanie wody do znajdującego się wysoko zbiornika oraz wykorzystywanie jej do pracy turbin w okresie kiedy poziomy w morzu i zbiorniku wyrównują się. Wszystko to jest możliwe w korzystnych dla takiej produkcji warunkach topograficznych. Rodzaj ujścia rzeki do morza oraz jej wysokie pozwalają na budowę zapory, która pozwoli wpłynąć wodom morskich do doliny rzeki w czasie przyływu i uwolnieniu ich przez turbiny wodne w czasie odpływu. Największa na świecie elektrownia pływowa funkcjonuje we Francji. Trzeba zauważyć, że elektrownie pływowe powodują zasilanie ujść rzek, erozję brzegów wskutek wahań poziomów wody, utrudniają wędrówek ryb w górę rzek, co należy uznać za zjawiska negatywne.

Elektrownie, które wykorzystują przetworzony ruch fal morskich, ze względu na ich umiejscowienie, dzielimy na:

- elektrownie nadbrzeżne,
- elektrownie przybrzeżne, zwykle posadowione na dnie płytkich wód (10-20 m głębokości),
- elektrownie morskie (więcej niż 40 m głębokości).

Do wykorzystywania energii fal morskich stosowane są turbiny wodne i powietrzne. W turbinach wodnych woda morska popychana falami wpływa jakby zwiężającą się sztolnią do wnętrza położonego na górze zbiornika. Kiedy w zbiorniku znajdzie się dostateczna ilość

wody, przelewa się ona przez specjalny upust i porusza turbinę rurową, powiązaną z generatorem prądu. Po tym procesie woda powraca do morza. W turbinach powietrznych zbiornik znajduje się na platformie zbudowanej na brzegu morza. Fale wpadają na jej podstawę i tym samym wypychają powietrze do części górnej zbiornika. Fale morskie sprężają powietrze, które napędza turbinę, a potem generator. Zdarza się, że tego typu instalacje mają często długość kilkudziesięciu kilometrów. W ten sposób stają się często rodzajem zabezpieczenia dla brzegu morskiego przed zniszczeniem i pełnią rolę falochronu.

Tzw. technologia konwersji oceanicznej energii cieplnej (oryg. OTEC - ocean thermal energy conversion) korzysta ze zmian temperatury wody morskiej zachodzącej na różnych głębokościach. Zastosowanie tej technologii umożliwia zamianę energii promieniowania słonecznego skupionego przez wody morskie na energię elektryczną. OTEC można stosować wtedy, kiedy różnica temperatur warstw wody wynosi minimum 19K. Do tej pory zbudowano trzy rodzaje układów OTEC: otwarty, zamknięty oraz mieszany. W układzie otwartym, woda morska, która jest cieplejsza w pobliżu powierzchni wody jest czynnikiem roboczym i podlega procesowi odparowania w komorze próżniowej. Powstająca para wodna służy do napędzania turbiny niskiego ciśnienia współpracującej z generatorem zaś para wylatująca z turbiny ulega skropleniu w kondensatorze produkując wodę odsoloną. Sam kondensator podlega chłodzeniu za pomocą zimnej wody morskiej, którą pobiera się z głębszych warstw wody morskiej. W następnym cyklu procesu używa się nowej wody morskiej. Niewątpliwą zaletą takiego procesu stanowi połączenie produkcji energii elektrycznej z procesem odsalania wody morskiej. W zamkniętym cyklu konwersji oceanicznej energii cieplnej element roboczy stanowi ciecz posiadająca niską temperaturę wrzenia. Woda morska o wyższej temperaturze wymusza odparowanie czynnika roboczego, którego pary poruszają turbinę niskiego ciśnienia. Z kolei zimna woda morska wymusza skroplenie pary w kondensatorze, której skropliny zostaną użyte do następnego cyklu przemian. Taki otwarty cykl konwersji oceanicznej energii cieplnej pozwala na odsalanie wody na naprawdę dużą skalę. Przemiana energii ciepłej oceanu wykorzystuje różnicę temperatury wody morskiej na powierzchni (cieplejszej) oraz w głębi morza czy oceanu (zimniejszej). Może to występować w okolicach równikowych, w których temperatura wody morskiej ma na powierzchni około 303 K, a na głębokości od 300 do 500m mamy ok. 283 K. Żeby wykorzystać taką różnicę trzeba użyć czynnika roboczego, parującego w temperaturze wody na powierzchni oraz skraplanego wodą czerpaną z większych głębokości. Takim czynnikiem może być amoniak, freon i propan. Instalacja do takich przemian wraz z generatorem prądu budowana jest na pływającej platformie.

### 3.4 Biomasa

Biomasa to przede wszystkim ulegająca biodegradacji materia organiczna powstała z roślin i zwierząt. To także resztki pozostające z produkcji rolnej oraz leśnictwa, a także odpady przemysłowe oraz komunalne. Do celów energetycznych z tzw. biomasy stałej używa się drewna i odpadów z jego przerobu, roślin pochodzących z upraw na cele energetyczne, produktów rolniczych i odpadów organicznych pochodzących z rolnictwa, niektórych odpadów komunalnych oraz przemysłowych. Im gęstsza jest wykorzystywana biomasa, tym większą stanowi wartość jako paliwo. Niezwykle wartościowe paliwo stanowi brykiet, wytwarzany z mocno rozdrobnionych odpadów drzewnych. Paliwo uszlachetnione czyli brykiet i pelety drzewne wytwarza się przez suszenie, mielenie oraz prasowanie

biomasy. Wokół oczyszczalni ścieków a także na składowiskach odpadów wytwarza się biogaz, który jest mieszaniną przede wszystkim metanu oraz dwutlenku węgla. Powstaje on w procesie beztlenowej fermentacji substancji organicznych. Może on być wykorzystywany w procesie:

- wytwarzania energii elektrycznej w silnikach iskrowych i turbinach,
- wytwarzania energii cieplnej w kotłach,
- wytwarzania energii elektrycznej oraz cieplnej w tzw. układach skojarzonych.

Wykorzystanie metanu, który jest jednym z gazów cieplarnianych, zapobiega jego niepotrzebnej emisji do atmosfery ziemskiej. Biomasa ciekła ma największe znaczenie jako surowiec, z którego powstają alkohole produkowane z roślin o znacznej zawartości cukru, a także biodiesel wytwarzany z roślin oleistych. W wyniku procesu fermentacji, pirolizy oraz hydrolizy kukurydzy a także trzciny cukrowej otrzymujemy metanol i etanol czyli – biopaliwa, które stając się później dodatkiem do tradycyjnych paliw ciekłych.

Żeby produkcja biomasy miała uzasadnienie ekonomiczne trzeba brać pod uwagę pewne ograniczenia związane z użytkowaniem ziem uprawnych oraz wpływ użycia określonych produktów roślinnych na kształtowanie się cen żywności. Obejmuje to przede wszystkim wytwarzanie paliw płynnych. Zwykłe spalanie biomasy to nie najlepsze rozwiązanie. Z biomasy typu: słoma i zrębki drewna i innych biosurowców można produkować szlachetne nośniki energii jak: bioetanol, biogaz, biobutanol, biodiesel, a także używać jako biopaliwo oleje roślinne albo wytwarzać gaz drzewny czyli holtzgas. Sam bioetanol stanowi dzisiaj dodatek do paliwa stosowany w wielu krajach. Technologia biopaliw jest dostępna dla państw o różnym, także niezbyt wysokim, stopniu rozwoju. Warto dodać, że związane z tą dziedziną koszty inwestycyjne nie należą do wysokich [40].

Biomasa stanowi surowiec w zasadzie nieszkodliwy dla środowiska, ponieważ ilość CO<sub>2</sub> emitowana do atmosfery w procesie jej spalania równoważy ilość dwutlenku węgla pochłanianego przez same rośliny, odtwarzające biomasę w procesie fotosyntezy. Korzystanie z biomasy pozwala też na lepsze zagospodarowanie nieużytków oraz odpadów.

### 3.5 Energia geotermalna

Energia geotermalna stanowi jakby nadwyżkę energii cieplnej w zestawieniu do energii, która odpowiada średniej temperaturze powierzchni na kuli ziemskiej. Pochodząca z wnętrza ziemi energia geotermalna, jest obecna zwłaszcza na obszarach działalności wulkanicznej oraz sejsmicznej. Tkwi ona zgromadzona w skałach i w wodach wypełniających szczeliny i pory skalne. W jądrze i w skorupie ziemskiej zgromadzona jest ogromna ilość ciepła. W samym jądrze temperatura osiąga nawet 4273 do 4773 K, a bezpośrednio pod skorupą ziemską nawet 1273 K. W tym obszarze cały czas trwa ciągły przepływ ciepła od wnętrza ziemi do jej najwyższych warstw i aż na samą powierzchnię ziemi. Wewnątrz skorupy ziemskiej istnieje kilka rodzajów tzw. energii geotermalnej. Energia geotermalna to posiadana przez magmę, geociśnienie, suche gorące skały a także energia nagromadzona w gorących wodach podziemnych. Energia ta występuje w formie gorącej wody i pary wodnej i jest używana do produkcji ciepła grzewczego na potrzeby komunalne, do produkcji rolnej, a lokalnie jest wykorzystywana nawet do produkcji prądu elektrycznego. Kiedy Woda powstała z opadów dociera do w głąb ziemi to poprzez kontakt z młodymi intruzjami oraz aktywnymi ogniskami magmy, zostaje podgrzana do wysokich temperatur. Wędruje wtedy górę, w stronę powierzchni ziemi już jako gorąca woda albo

para wodna. Taka woda geotermiczna może być używana bezpośrednio (np. poprzez doprowadzenie jej bezpośrednim systemem rur), albo pośrednio kiedy oddaje ciepło zimnej wodzie i pozostaje w zamkniętym obiegu. Energia geotermiczna to energia pochodząca od wydobytych na powierzchnię ziemi wód geotermalnych. Żeby wydobyć wodę geotermalną na powierzchnię ziemi dokonuje się odwiertów sięgających do głębokości ich zalegania. W określonej odległości od otworu, którym pobiera się wodę przewierca się kolejny otwór, przez który oddaje się wodę geotermalną z powrotem do złoża po wcześniejszym odebraniu jej ciepła. Zwykle wody geotermalne są bardzo mocno zasolone, co stanowi problem w eksploatacji wymienników ciepła oraz pozostałych elementów armatury instalacji geotermicznych poddawanych zniszczeniu przez sól. Energię geotermiczną można wykorzystywać w sieciach centralnego ogrzewania traktując ją jako główne źródło energii cieplnej. Kolejnym ważnym zastosowaniem energii geotermicznej jest wykorzystanie jej do produkcji energii elektrycznej. Proces ten jest ekonomicznie uzasadniony wyłącznie w wypadku wykorzystania źródeł geotermicznych o wyjątkowo wysokiej temperaturze. Gorące źródła czyli gejzery stanowią typowy element krajobrazu Islandii, wykorzystującej gorącą wodę stamtąd pochodzącą jako źródło do ogrzewania ciepłej wody, co nie ma to negatywnego wpływu to na środowisko naturalne [120].

Zalety energii geotermalnej są następujące:

- stosunkowo łatwa dostępność,
- nie podleganie uwarunkowaniom pogodowym i klimatycznym,
- praktycznie niewyczerpywalność takich złóż,
- obojętność pozyskiwania tej energii dla środowiska, brak wytwarzania jakichkolwiek szkodliwych substancji,
- urządzenia techniki geotermalnej zajmują niewiele miejsca, nie ingerują.

Technologia wykorzystywania energii pochodzącej ze źródeł geotermalnych opiera się polega na spożytkowaniu ciepła pochodzącego z ziemi za pomocą pomp ciepła na potrzeby grzewcze podczas zimy, zaś latem ciepło oddaje się do gruntu żeby chłodzić mieszkania. Trzeba pamiętać, że temperatura gruntu już kilka metrów w głąb ziemi jest stała, i nie mają na nią wpływu pory roku (wynosi około 283 K). Zatem jest niższa niż temperatura powietrza w lecie i wyższa niż temperatura powietrza w zimie. Żeby wykorzystać tę energię konieczne jest wykorzystanie pompy ciepła. Zwykle stosowane do wykorzystywania energii geotermalnej są systemy zamknięte, zbudowane z systemów rur, które wypełnione wodą czy też niezamarzającymi specjalnymi płynami tworzy zamkniętą pętlę. Taki system zakopany w gruncie, połączony jest z pompą ciepła i układem wydzielania ciepła w domu. W ten sposób czynnik roboczy krąży zawsze w zamkniętym obiegu. W takim systemie możliwe jest wyróżnienie układu poziomego wraz z rurami ułożonymi poziomo, które zajmują większą powierzchnię. Zdecydowanie tańszy w realizacji ale o niższej sprawności jest układ poziomy, przeznaczony raczej do niewielkich budynków mieszkalnych. Pionowy układ instalacji stosuje się w razie braku miejsca na konstrukcję poziomą, droższą w ułożeniu, ale bezpieczniejszą w procesie eksploatacji. W układzie otwartym woda gruntowa czy też woda ze źródła termalnego wydobywana jest z ziemi i potem płynie przez pompę ciepła, po drodze oddając energię. W następnym etapie jest wylewana na zewnątrz, co wiąże się z koniecznością instalacji zbiornika na wykorzystaną wodę, a także posiadania źródła wody gruntowej. Kwestia zbiornika rodzi problemy: jeśli jest to zbiornik wody powierzchniowej, to problemem jest miejscowe obniżenie poziomu wód gruntowych oraz zdecydowany wzrost zasolenia wód



powierzchniowych. Można tego uniknąć włączając z powrotem wodę pobraną po jej wykorzystaniu. Systemy, w których wykorzystuje się wody powierzchniowe muszą posiadać znajdujący się w bliskiej odległości zbiornik wodny, z umieszczonym w nim wymiennikiem, przekazującym ciepło już do pompy ciepła. W taki sposób można wykorzystywać stałą temperaturę wody. Przeciwnie niż systemy pozyskujące ciepło pochodzące z wód gruntowych, systemy te nie wymagają kosztownych odwiertów.

#### 4 Konwersja energii

Pierwotna energia znajdująca się w surowcach energetycznych przetwarzana jest na energię wtórną, a potem używana przez odbiorcę. Najwięcej w życiu codziennym zużywamy energii mechanicznej, cieplnej i elektrycznej. Energia pierwotna jest to energia chemiczna w procesie przemian fizycznych i chemicznych przekształcona w wielu urządzeniach w energię wtórną. Jak wcześniej mówiliśmy podstawowymi nośnikami energii są: gaz ziemny, ropa naftowa oraz węgiel kamienny. Spalanie paliwa przemienia energię chemiczną na energię cieplną. Z kolei zamiana ciepła na pracę pozwala uzyskać w silnikach energię mechaniczną. Energia elektryczna powstaje przez konwersję energii cieplnej, mechanicznej oraz chemicznej.

Konwersja danej formy energii w inną ma miejsce przy sprawności mniejszej niż 1. W przemianie od energii chemicznej, która jest zawarta w paliwie, do energii mechanicznej i elektrycznej, najmniejszą sprawność wykazuje zamiana ciepła na pracę. Zwykle sprawność silników spalinowych z zapłonem iskrowym nie przekracza 0,3, jest natomiast większa dla silników z zapłonem samoczynnym, z powodu wyższego stopnia sprężania. Znaczącą sprawność posiada zamiana energii ruchu wód w energię ruchu obrotowego turbiny wodnej, wahającą się pomiędzy 0,75 a 0,95. Warto dodać, że sprawność konwersji energii wiatru możliwa w turbinach wiatrowych wynosi 0,46 [119]. Niewielka sprawność energetyczna bloków parowych (0,28 – 0,4) jest wynikiem niskiej efektywności zamiany ciepła na pracę w turbinach parowych. Znacznie lepszą sprawność posiadają bloki energetyczne gazowo-parowe, które są połączeniem turbinowej siłowni parowej oraz spalinowej (0,6). Znaczącą sprawność zamiany energii słonecznej na energię elektryczną spotyka się przy użyciu fotoogniwa, które jest zbudowane z pojedynczego kryształu krzemu (0,17) aniżeli dla multikrystalicznego większego fotoogniwa.

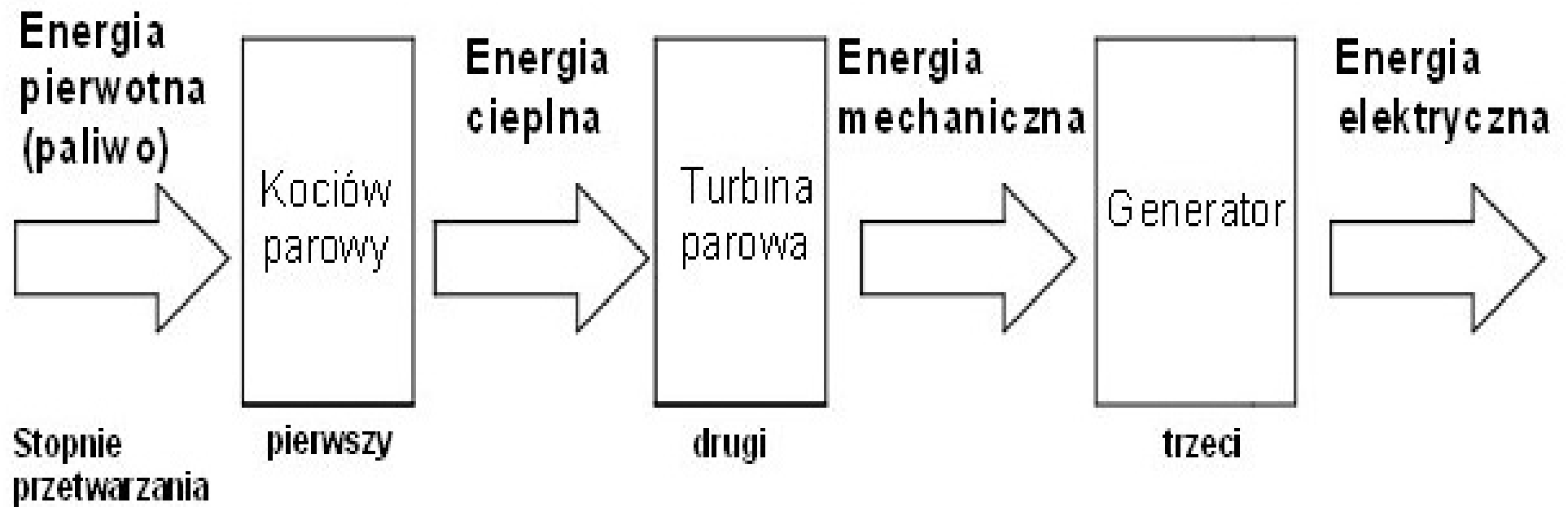
Tabela 3 Sprawności przemian energii

Przemiana energii	Urządzenie	Sprawność
Ciepło – energia mechaniczna	Turbina parowa (siłownia bez kotła i generatora elektrycznego)	0,4
	Silnik parowy	0,2
Paliwo – ciepło – energia mechaniczna	Silnik Diesla	0,4
	Silnik spalinowych z zapłonem iskrowym	0,3
	Turbina gazowa	0,38
Paliwo – ciepło – energia mechaniczna – energia elektryczna	Elektrownia parowa	0,4
	Układ parowo-gazowy	0,6
	Generator MHD	0,6
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	0,7
	Ogniwa paliwowe	0,6
Paliwo – ciepło	Kocioł parowy	0,9
	Domowy piec węglowy	0,6

#### 4.1 Elektrownia

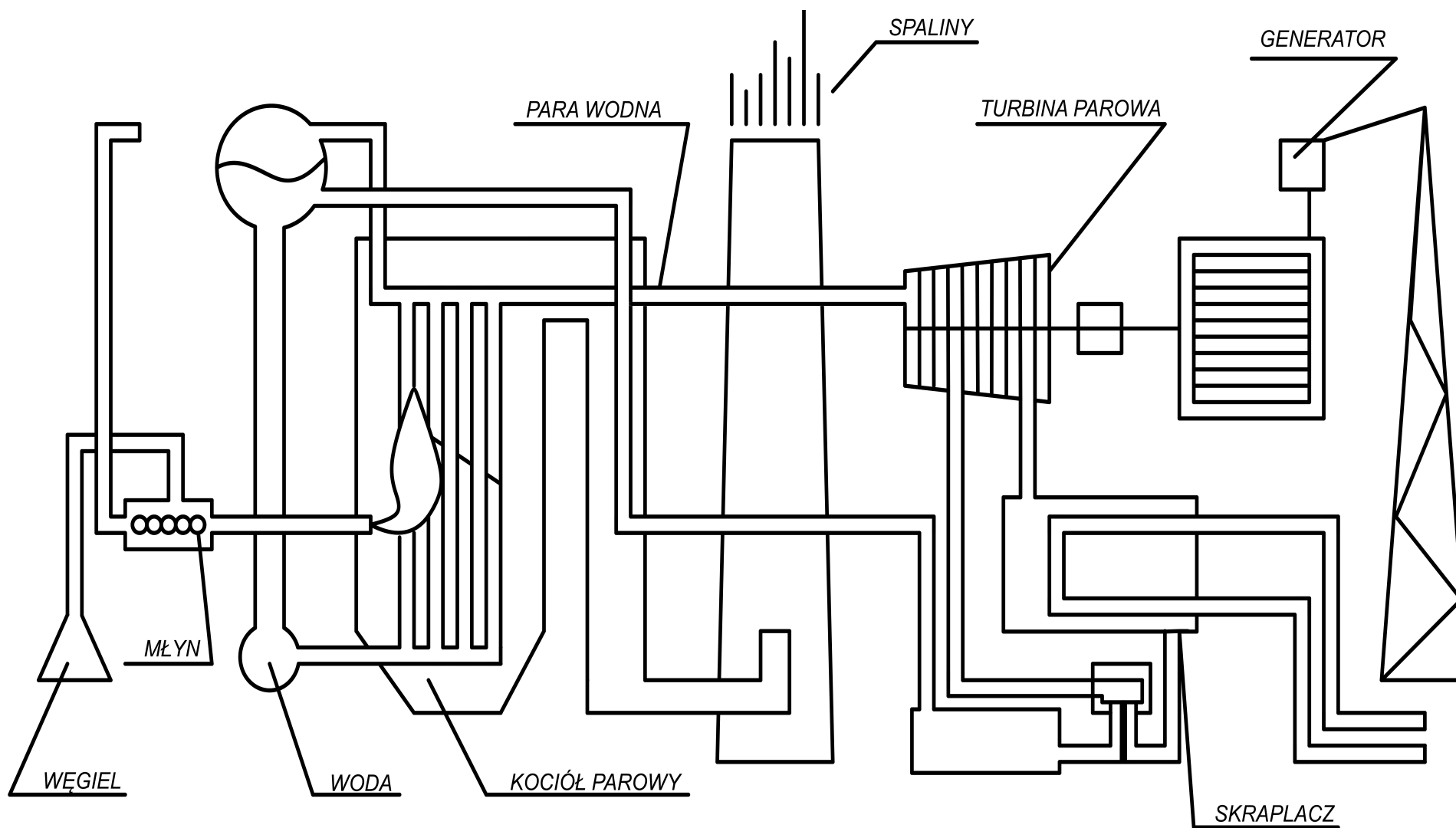
Przemiana energii pierwotnej w energię elektryczną zachodzi w elektrowniach. Elektrownie w Polsce jako paliwo wykorzystują węgiel kamienny i brunatny. Jednak spalany może być również olej opałowy lub gaz ziemny. Urządzeniami wykorzystywanymi w elektrowni kondensacyjnej wykorzystującej węgiel jako paliwo są: kocioł parowy, turbina parowa kondensacyjna ze skraplaczem oraz generator, czyli prądnicą prądu zmiennego. Wytwarzanie energii elektrycznej w elektrowniach kondensacyjnych odbywa w trzech etapach:

- 1 stopień - spalanie paliwa w kotle parowym, a następnie zamiana energii chemicznej na energię cieplną przekazywaną czynnikowi termodynamicznemu, zamieniającą wodę płynącą wewnątrz kotła w parę wodną,
- 2 stopień – energia cieplna czynnika czyli pary wodnej zamienia się w turbinie na energię mechaniczną, para wodna rozprężając się wprawia w ruch obrotowy turbinę,
- 3 stopień - wirujący wał turbiny porusza generator czyli prądnicę, co powoduje produkcję energii elektrycznej, generator zamienia energię mechaniczną na elektryczną.



Rys. 13 Przemiany energii w elektrowni

Źródło: [http://oze.gridw.pl/images/stories/dokumenty/mat\\_2\\_etap/elektrownia\\_cieplna.jpg](http://oze.gridw.pl/images/stories/dokumenty/mat_2_etap/elektrownia_cieplna.jpg)



Rys. 14 Schemat technologiczny elektrowni węglowej  
 Źródło: <http://teresin.hekko.pl/Technik/Elektrownie/wytwarzanie/elektrownia.gif>

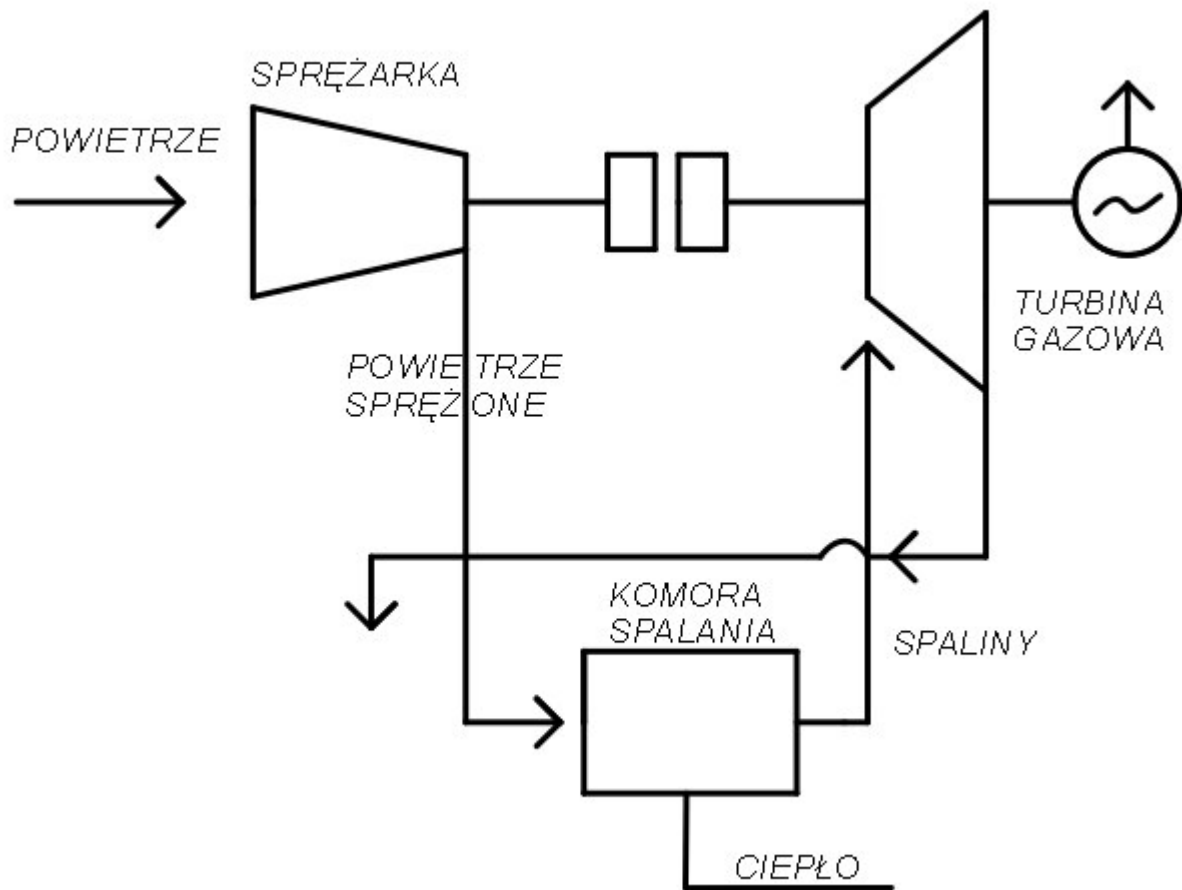
W Polsce ponad 90% energii pozyskiwana jest z elektrowni węglowych. Nowoczesne elektrownie kondensacyjne mają budowę blokową, czyli złożone są z wielu odrębnych zespołów wytwórczych (bloków energetycznych). Elektrownie takie mają stosunkowo niską sprawność wytwarzania. Około 35-38% energii dostarczonej w paliwie jest zamieniane na energię elektryczną.

Węgiel do elektrowni na paliwo węglowe dostarcza się wagonami z kopalń, następnie zostaje zważony, rozładowywany i transportuje się go na składowisko. Potem węgiel przygotowuje się do spalania, przechodzi on kolejno przez proces przemiału, suszenia oraz dozowania. Następnie dostarczany jest do paleniska kotła. Kocioł jest to urządzenie służące do wytwarzania pary wodnej o złożonym stopniu suchości oraz adekwatnej do potrzeb temperaturze. Kocioł zbudowany jest z wysokiego paleniska, które oplatają rury wypełnione wodą. Do wnętrza paleniska wdmuchuje się miał węglowy wraz z powietrzem i w takiej postaci zostanie ona poddany spalaniu. Powstające przy tej okazji ciepło doprowadza do wrzenia wodę w rurach, która zaczyna parować. Parę gromadzi się żeby potem trafiła w najbardziej gorące miejsca paleniska, w wyniku czego otrzymujemy tzw. parę przegrzaną. Procesowi spalania paliwa w palenisku towarzyszy powstawanie spalin. Spaliny płynące w komorze paleniskowej oddają swoją energię cieplną konkretnym powierzchniom. Wynikiem spalania paliwa w kotle jest powstanie żużlu oraz lotnego popiołu. Powstająca w kotle para przegrzana poprzez system rur dopływa do zespołu trzech turbin. Przejście pary przez pierwszą z nich czyli turbinę wysokoprężną powoduje jej zwrot zwracana do kotła, w którym zostaje ponownie ogrzana. Potem para przechodzi przez dwie pozostałe turbiny - średnioprężną i niskoprężną – w których stopniowo traci swoją energię. Na koniec procesu para zamieniana jest w gorącą wodę w skraplaczu, a woda gorąca powraca znów do kotła. W trzecim etapie procesu energia kinetyczna w generatorach zostaje przetworzona w energię elektryczną.

Elektrownia gazowa, która korzysta z gazu ziemnego jako paliwa jest zbudowana z:

- komory spalania, do której dostarczane jest paliwo i sprężone powietrze, jest ona odpowiedzialna za spalanie paliwa,
- sprężarki,
- turbiny gazowej, do której dopływają podgrzane do wysokiej temperatury spaliny,
- wytwornicy pary czyli wymiennika ciepła, które wytwarza parę, nie zawiera ona paleniska,
- turbiny parowej, wykorzystującej energię cieplną pary wodnej do produkcji energii mechanicznej,
- skraplacza, zamieniającego parę wodną w wodę,
- chłodni wentylatorowej/kominowej, służącej do chłodzenia wody,
- generatora, przetwarzającego energię mechaniczną na energię elektryczną.

W turbinie gazowej, która porusza generator gorące spaliny ulegają rozprężeniu. Turbina napędza też sprężarkę, zasysającą i sprężającą powietrze, w szczególnych przypadkach podgrzane wcześniej ciepłem spalin. Powietrze podaje się do komory spalania, aby wspomóc spalanie gazu. Spaliny, które opuszczają komorę spalania mają wchodząc do turbiny temperaturę nawet do 14273 K. Za turbiną ta wysoka temperatura spada do 673-873K.



Rys. 15 Schemat działania turbiny gazowej

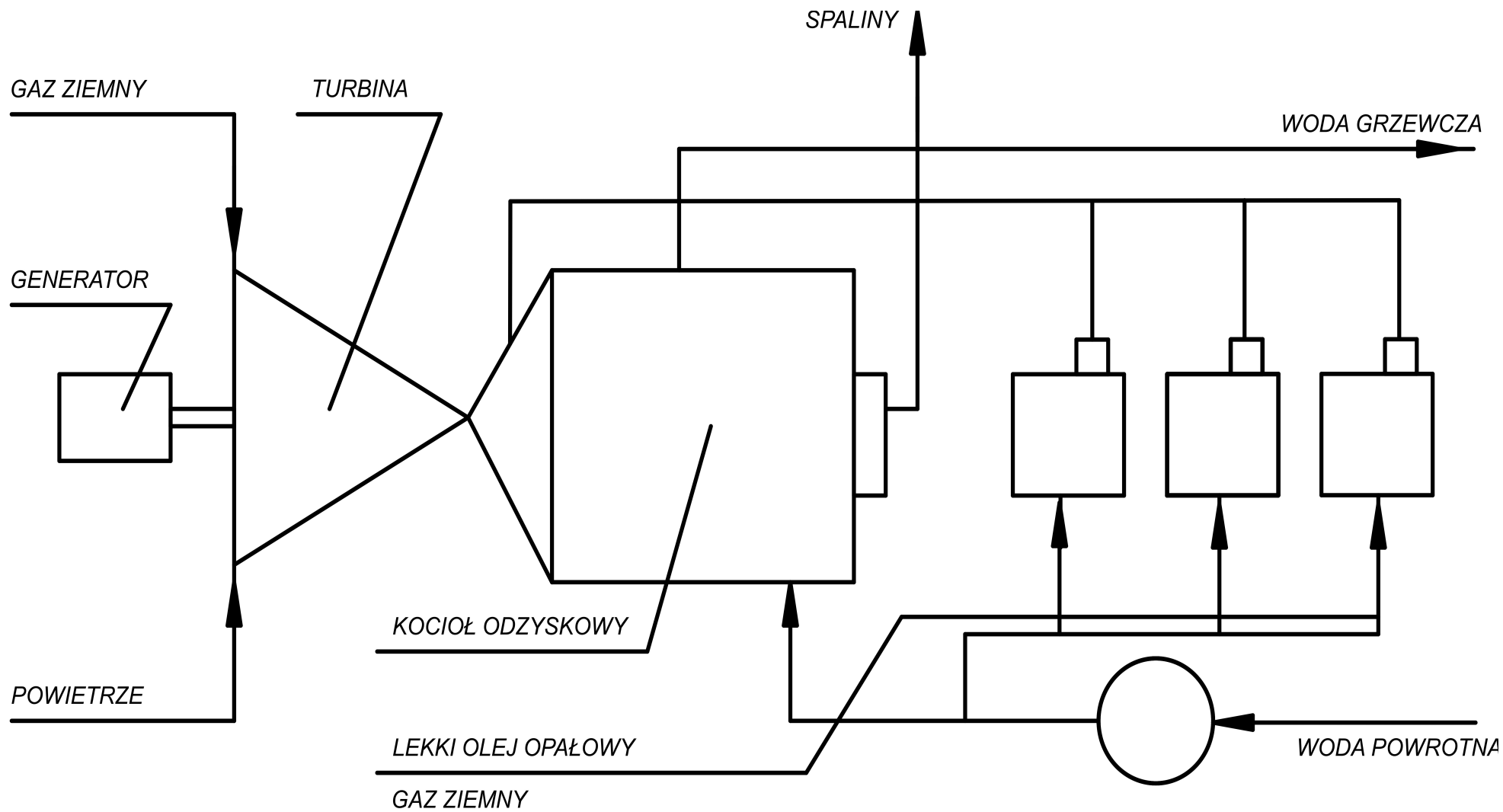
Źródło: <http://teresin.hekko.pl/Technik/Elektrownie/wytwarzanie/elektrownia02.gif>

Tzw. sprawność elektrowni używających gazu jako paliwa wynosi ok. 42%, czyli jest wyższa od elektrowni kondensacyjnej cieplnej, co wynika z mniejszych wymagań układu chłodzenia oraz z mniejszego zużycia wody. Do zalet turbin gazowych należy ich duża niezawodność oraz dyspozycyjność. Równie istotny jest ich szybki rozruch – w 10-13 min od stanu postoju do osiągnięcia pełnej mocy, pełna automatyzacja procesu pracy, możliwość zdalnego sterowania elektrowniami i porównywalnie niskie koszty utrzymania. W zestawieniu z elektrownią węglową produkcja szkodliwych substancji w elektrowni gazowej - przy produkcji identycznej ilości energii elektrycznej jest mniejsza (np. CO<sub>2</sub> o 50%, NO<sub>x</sub> o 75%, pyłów o 99,6%, SO<sub>2</sub> o 99,9%). W elektrowni gazowej nie trzeba budować zbiorników gazowych ponieważ gaz ziemny dostarcza się na bieżąco rurociągiem bezpośrednio od zewnętrznego dostawcy, nie ma potrzeby posiadania miejsca na skład opału czy składowanie odpadów.

## 4.2 Elektrociepłownia

W elektrociepłowniach zachodzi przemiana energii chemicznej paliwa na elektryczną

i ciepłą. Jest to realizowane przy pomocy turbiny gazowej, parowej lub w kombinowanym układzie gazowo-parowym. W tym samym procesie technologicznym metodą skojarzoną produkowana jest energia elektryczna i ciepło w postaci czynnika (jest to najczęściej woda) o bardzo wysokiej temperaturze, przeznaczonej dla miejskiej sieci ciepłowniczej lub przemysłu. Elektrociepłownie to zwykle tradycyjne siłownie ciepłe z zainstalowanymi turbinami parowymi, upustowo-kondensacyjnymi i upustowo-przeciwprężnymi. Turbiny tych rodzajów posiadają upusty ciepłownicze, którymi przegrzana para zasila wymienniki ciepłownicze przekazując ciepło wodzie sieciowej, która doprowadzana jest do instalacji komunalnej systemu centralnego ogrzewania (c.o.) oraz ciepłej wody użytkowej (c.w.u.). w ostatnim czasie popularne stają się elektrociepłownie wyposażone w turbiny gazowe. Buduje się też elektrociepłownie z klasycznymi silnikami tłokowymi na gaz lub silnikami diesla o mniejszych mocach. W elektrociepłowni produkowana energia elektryczna stanowi 14% wytwarzanej energii, stanowi energia elektryczna, a pozostała większa część to energia ciepła. Elektrociepłownia wytwarza więc mniej energii elektrycznej niż elektrownia ciepła, ale powstała w skraplaczu woda nosi tak wysokie parametry cieplne, że wykorzystywana może być w sieci ciepłowniczej jako główne źródło energii cieplnej. Ta prawidłowość sprawia, że produkcja energii elektrycznej i cieplnej jest zdecydowanie bardziej efektywna niż wytwarzanie wyłącznie energii elektrycznej, czy wyłącznie energii cieplnej.



Rys. 16 Schemat technologiczny elektrociepłowni  
Źródło:



## 5 Sposoby uzyskiwania energii mechanicznej

Energia mechaniczna dzieli się na energię kinetyczną i potencjalną. Energia kinetyczna definiowana jest zgodnie ze wzorem [23]:

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2 \quad (1)$$

gdzie:

m - masa ciała,

v - prędkość ciała.

Oznacza to, że praca wykonywana przez wypadkową siłę F działającą na punkt materialny jest równa zmianie energii kinetycznej tego punktu. Twierdzenie to jest słuszne niezależnie od tego czy wypadkowa siła jest stała czy zmienna. Jeśli wartość prędkości punktu materialnego jest stała nie ma żadnej zmiany energii kinetycznej i praca wykonywana przez siłę wypadkową jest równa zero (ruch jednostajny po okręgu). Tylko wtedy, gdy siła wypadkowa ma różną od zera składową w kierunku ruchu materialnego, zmienia ona wartość prędkości tego punktu, czyli jego energię kinetyczną. Pracę nad punktem materialnym wykonuje jedynie składowa siły mająca kierunek zgodny z kierunkiem ruchu tego punktu [23].

Jeżeli całkowita praca wykonana nad cząstką jest dodatnia, to energia kinetyczna cząstki wzrasta o wartość tej pracy. Jeżeli energia kinetyczna punktu materialnego maleje, to praca wykonywana przez siłę wypadkową przy przemieszczaniu tego punktu jest ujemna. Przemieszczenie i składowa siły wypadkowej w kierunku ruchu są wówczas skierowane przeciwnie. Energia kinetyczna punktu materialnego maleje o wielkość równą dokładnie pracy, jaką wykonuje ten punkt. Wykonując pracę ciało zmniejsza swoją prędkość i traci część zmagazynowanej energii. Energia kinetyczna ciała, będącego w ruchu jest równa pracy, jaką może wykonać ciało zanim się zatrzyma. Twierdzenie to jest słuszne niezależnie od tego, czy przyłożone siły są stałe czy zmienne [1,2].

Energia kinetyczna jest wielkością skalarną. Energia kinetyczna zespołu punktów materialnych jest sumą energii kinetycznych poszczególnych punktów [23].

Zmiana energii kinetycznej ciała  $\Delta E_k$  ciała jest związana z całkowitą pracą wykonaną nad tym ciałem, zgodnie ze wzorem [83]:

$$\Delta E_k = E_{k \text{ końc.}} - E_{k \text{ pocz.}} = W \quad (2)$$

gdzie:

$E_{k \text{ pocz.}}$  - początkowa energia kinetyczna ciała,

$E_{k \text{ końc.}}$  - końcowa energia kinetyczna ciała po wykonaniu nad nim pracy.

Zależność można również przedstawić następująco:

$$E_{k \text{ końc.}} = E_{k \text{ pocz.}} + W \quad (2)$$

Energia potencjalna jest to energia związana z konfiguracją (ustawieniem) układu ciał działających na siebie siłami. Energia potencjalna układu może się zmienić, gdy zmienia się konfiguracja tych ciał. Jednym z rodzajów energii potencjalnej jest grawitacyjna energia potencjalna związana z odległością ciał przyciągających się siłą grawitacyjną. Innym rodzajem jest energia potencjalna sprężystości związana ze ściskaniem lub rozciąganiem ciała sprężystego (np. sprężyny) [83].

Zmianę grawitacyjnej energii potencjalnej  $\Delta E_p$ , zarówno dla wznoszenia, jak i dla upadku ciała definiuje się jako pracę wykonywaną nad ciałem przez siłę ciężkości, z przeciwnym znakiem, zgodnie ze wzorem [83]:

$$\Delta E_p = -W \quad (3)$$

Jeżeli energia kinetyczna układu zmienia się o wartość  $\Delta E_k$ , to znaczy następuje zmiana stanu układu, to energia potencjalna układu musi się zmienić o wartość równą, co do wartości bezwzględnej, lecz przeciwną co do znaku, tak że suma tych dwóch zmian jest równa zero, zgodnie z zależnością [23]:

$$\Delta E_k + \Delta E_p = 0 \quad (4)$$

Wynika z tego, że zmiana energii kinetycznej układu jest równoważona przez równą, co do wartości, a przeciwną co do znaku zmianę energii potencjalnej układu, tak że ich suma pozostaje stała przez cały czas trwania ruchu, czyli [23]:

$$E_k + E_p = \text{const} \quad (4)$$

Energia potencjalna układu stanowi zatem pewną formę nagromadzonej energii, która może być całkowicie odzyskana i zamieniona na energię kinetyczną. Zależy ona tylko od położenia punktu materialnego (od stanu układu), co jest równoznaczne ze stwierdzeniem, że energia potencjalna ma znaczenie jedynie dla sił zachowawczych [23].

Zmiana energii potencjalnej jest dodatnią pracą, którą trzeba wykonać, aby powoli przesunąć ciało z punktu A do punktu B w obecności siły oddziaływania, przy czym musi to być siła zachowawcza. Praca wykonywana przez siłę zachowawczą działającą na ciało jest niezależna od drogi po której to ciało porusza się z punktu A do punktu B. Nie można zatem w sposób ciągły zyskiwać lub tracić energii przez wielokrotne obieganie tej samej drogi.

Zasada zachowania energii nakłada poważne ograniczenia na możliwość uzyskiwania energii i na przechodzenie energii z jednej formy w inną. Gdy siła zachowawcza  $W$  wykonuje pracę nad jednym z ciał układu, zachodzi zamiana energii kinetycznej  $E_k$  ciała na energię potencjalną  $E_p$  układu. Zmiana energii kinetycznej jest wtedy równa:

$$\Delta E_k = W \quad (5)$$

a energii potencjalnej jest równa:

$$\Delta E_p = -W \quad (5)$$

Z połączenia równań otrzymuje się zależność:

$$\Delta E_k = -\Delta E_p \quad (5)$$

Oznacza to, że wzrost jednego z tych rodzajów energii jest dokładnie równy ubytkowi jednego z nich. Równanie można też zapisać w postaci:

$$E_{k2} - E_{k1} = -(E_{p2} - E_{p1}) \quad (5)$$

Wskaźniki 1 i 2 odnoszą się do dwóch różnych chwil, czyli do dwóch różnych konfiguracji i składników układu. Przekształcając równanie przybiera ono postać:

$$E_{k2} + E_{p2} = E_{k1} + E_{p1} \quad (5)$$

Zasada zachowania energii określa, że w układzie izolowanym od otoczenia (żadne siły zewnętrzne układu pochodzące od ciał spoza układu nie powodują zmian energii w obrębie układu), w którym zamiana energii pochodzi jedynie od sił zachowawczych (gdy na składniki układu nie działają siły tarcia ani siły oporu ośrodka), energia potencjalna i kinetyczna mogą się zmieniać, lecz ich suma czyli energia mechaniczna nie może ulegać zmianie. Tę zależność obrazuje równanie:

$$\Delta E_{\text{mech.}} = \Delta E_k + \Delta E_p = 0 \quad (6)$$

Zatem suma wszystkich energii kinetycznych i potencjalnych ciał pozostaje stała, bez względu na to, jakie oddziaływania czy zdarzenia mogłyby zachodzić.

Gdy energia mechaniczna układu jest zachowana, można powiązać ze sobą sumę energii kinetycznej i potencjalnej w pewnej chwili i w jakiejś innej chwili bez analizowania ruchu układu w chwilach pośrednich i bez wyznaczania pracy wykonanej przy tym przez działające w układzie siły. Zasada zachowania energii obowiązuje dla wszystkich odosobnionych, zachowawczych układów ciał. Przy czym za układ odosobniony definiuje się jako taki, na który nie działają siły zewnętrzne.

Przemiana energii chemicznej w mechaniczną może zachodzić w silnikach (odrzutowy, spalinowy), turbinach gazowych, parowych. Dostarczanie energii może być realizowane w sposób ciągły (silnik parowy, odrzutowy, turbina gazowa, parowa) lub kwantowy (silnik spalinowy).

### 5.1 Ciągłe dostarczanie energii

Ciągłe dostarczanie energii polega na stałym dopływie paliwa do urządzenia i przekształcaniu go w energię mechaniczną. Przykładem tego sposobu jest działanie silnika parowego, silnika odrzutowego, turbiny gazowej i parowej.

### 5.1.1 Turbina parowa

Turbina parowa jest to swoista maszyna cieplna wykorzystująca jako czynnik obiegowy parę wodną. W turbinie parowej energia cieplna, pochodząca z pary wodnej powstałej w kotle parowym albo w wytwornicy pary, przekształcona zostaje w energię mechaniczną. Następnie energia mechaniczna jest odprowadzana wałem do generatora elektrycznego. Przemiana energii pary wodnej przebiega w dwóch etapach. Najpierw energia wewnętrzna pary w wyniku rozprężania zamieniana jest w energię kinetyczną strumienia pary, a następnie energia kinetyczna przekształcana jest na pracę mechaniczną za pomocą łopatek turbiny. Turbina parowa jest zbudowana z:

- elementów ekspansyjnych czyli dysz lub kierownic, w których dochodzi do przemiany energii cieplnej czynnika na energię kinetyczną,
- łopatek wirnikowych, w których energia kinetyczna gazu zamieniana zostaje na pracę.

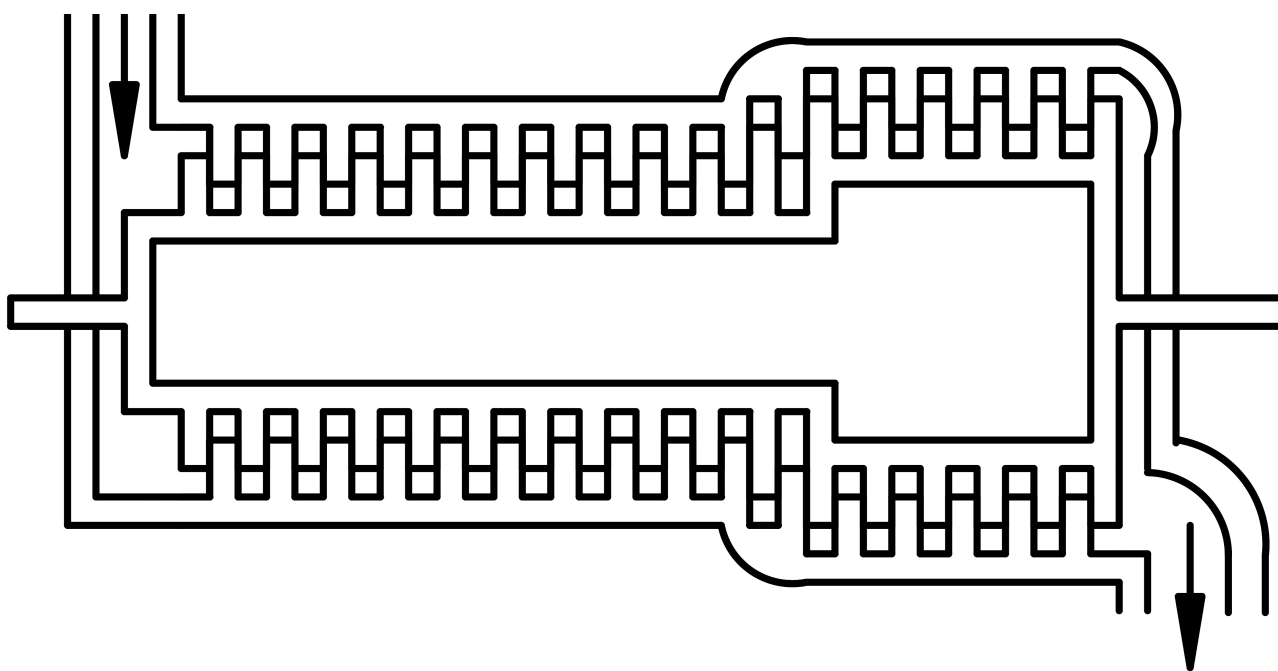
Te przyrządy ekspansyjne powiązane są konstrukcyjnie z nieporuszającym się korpusem turbiny. Łopatki wirnikowe są częścią wirnika, który wykonuje ruch obrotowy. Zespół składający się z wieńca przyrządów ekspansyjnych (tzw. wieniec kierowniczy) oraz wieniec łopatek wirnikowych to jest stopień turbiny. Najczęściej konstruuje się buduje turbiny wielostopniowe, złożone z poszczególnych ułożonych szeregowo. Turbiny jednostopniowe są rzadkością. Stopień turbiny zbudowany jest z nieruchomego wieńca kierowniczego, powiązanego na trwałe z korpusem oraz z wieńca wirnikowego, który związany jest z podlegającym obrotom wałem. W tzw. wieńcu kierowniczym dokonuje się zmiana entalpii czynnika na jego energię kinetyczną, zaś w wieńcu wirnikowym mamy do czynienia ze zmianą energii kinetycznej na energię mechaniczną. Tak więc w stopniu traktowanym jako całość następuje zmiana entalpii czynnika na energię mechaniczną. Turbina parowa posiada kilkadziesiąt stopni, w związku z tym jej wirnik jest podzielony na kilka części połączonych ze sobą sprzęgłem. Konstrukcja polegająca na podziale wału wirnika na różne części, z których każda podlega osobnemu ułożyskowaniu, umożliwia uzyskanie wymaganej sztywności elementów wirnika. Zazwyczaj każda z części wału ma również swój osobny korpus. Stąd turbiny są jakby niezależne, a ich wały połączone są sprzęgłami i napędzają zwykle jeden wspólny generator. Wirniki są posadzone na wale, który w sposób bezpośredni przekazuje pracę napędzanym maszynom. Wirnik jest kołem z osadzonymi na wieńcach łopatkami pracującymi. Każdemu wirnikowi towarzyszą przyrządy ekspansyjne. Zazwyczaj konstruuje się turbiny o przepływie osiowym czyli tzw. turbiny osiowe. Ze względu na rodzaj pracy stopnia turbiny dzieli się na:

- pracujące w systemie akcyjnym, w którym cały możliwy spadek entalpii zmienia się w dyszach na energię kinetyczną. Przy czym ciśnienie panujące za dyszami jest równe ciśnieniu za wieńcem wirnikowym; nie zachodzi tu żadna ekspansja,
- pracujące w systemie reakcyjnym, w którym pewna część spadku entalpii, jaki możliwy jest w stopniu turbiny zmienia się w dyszach na energię kinetyczną, zaś czynnik przepływający przez wieniec wirnikowy nadal ekspanduje.

W wielu konstrukcjach część stopni turbiny stanowią stopnie akcyjne, a część stopnie reakcyjne. Przepływ gazu przez turbinę powoduje spadkiem energii potencjalnej gazu, która zgodnie z zasadą zachowania energii zamienia się w energię kinetyczną, którą potem

odprowadza się wałem do napędzanej maszyny. Ponieważ niemożliwe skonstruowanie silnika cieplnego w całości zamieniającego dostarczone ciepło na pracę (wynika to z drugiej zasady termodynamiki), oznacza to, iż turbiny parowe oprócz użytecznej pracy zawsze muszą oddawać otoczeniu niewykorzystane ciepło. To zaś stanowi podstawę do skojarzonej produkcji energii elektrycznej oraz ciepła w elektrociepłowniach.

Zależnie od ciśnienia pary turbina dzieli się na następujące części składowe: wysokoprężną, średnioprężną i niskoprężną. Para ulega rozprężeniu w części wysokoprężnej i zostaje doprowadzona do części średnioprężnej, a następnie do części niskoprężnej. Z części niskoprężnej trafia do skraplacza, w którym para zostaje całkowicie skroplona, a kondensat zostaje nieznacznie przechłodzony. Ponieważ na wlocie pary wysokiego ciśnienia pary na wlocie do turbiny (dokładnie do jej części wysokoprężnej), panuje wysokie ciśnienie ze względów wytrzymałościowych należy stosować grube ścianki elementów, które doprowadzają czynnik do samej turbiny oraz jej korpusu. Skutecznym sposobem podniesienia sprawności takiej siłowni cieplnej jest tzw. przegrzew wtórny czynnika, który realizuje się pomiędzy wysokoprężną a częścią średnioprężną turbiny. Para wodna opuszczając część wysokoprężną jest kierowana z powrotem do wnętrza kotła żeby podnieść temperaturę i entalpię, a potem dostaje się do części średnioprężnej. Największe elektrownie parowe stosują dwa wtórne przegrzewy. Jeszcze innym sposobem poprawy sprawności siłowni cieplnej może być zastosowanie podgrzewu regeneracyjnego wody, która zasila przed dopływem do kotła parowego. Woda ta podgrzewana zostaje parą odprowadzaną z turbiny.



Rys. 17 Turbina parowa

Najpowszechniej stosowana jest turbina parowa z obiegiem kondensacyjnym, upustowo-kondensacyjnym oraz przeciwpięśnym (tzn. mniejszymi jednostkami występującymi w skojarzonych układach przeznaczonych do wytwarzania energii elektrycznej oraz ciepła). Układ łopatkowy turbiny składa się z nieruchomych wieńców łopatkowych czyli tzw. wieńców kierowniczych, zespolonych z kadłubem) a także wieńców

wirujących, zespolonych z wirnikiem.

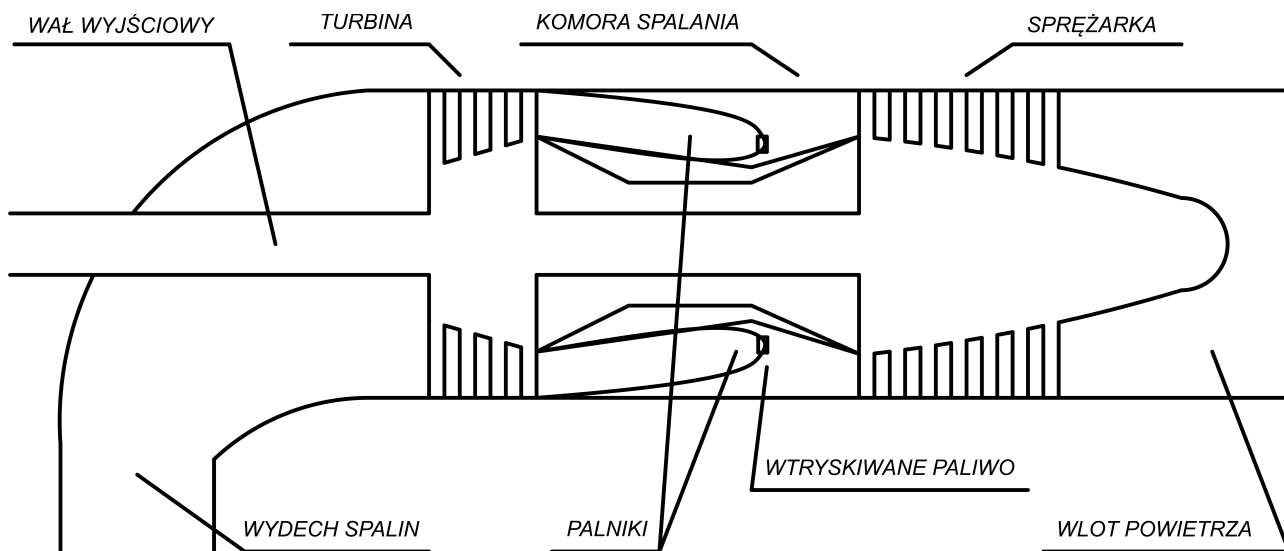
W elementach ekspansyjnych turbiny następuje przemiana energii cieplnej pary na energię kinetyczną, która zostaje przekazana do wirników. W wirnikach dokonuje się przemiana energii kinetycznej na energię mechaniczną.

Turbinę parową stosuje się do napędzania generatorów elektrycznych pracujących w elektrowniach parowych (głównie węglowych oraz jądrowych, znacznie rzadziej geotermalnych i solarnych), w elektrociepłowniach oraz konstrukcjach gazowo-parowych. Zasadniczą rolę turbin parowych stanowi napędzanie generatorów produkujących do energii elektryczną w dziedzinie energetyki. W przemyśle turbiny parowe stosowane są do napędu pomp, sprężarek i wentylatorów. Ponadto stanowią napęd dużych statków i okrętów (tankowców czy lotniskowców), w szczególności o napędzie atomowym. W elektrowniach współczesnych stosowane są także do napędu pompy zasilającej.

### 5.1.2 Turbina gazowa

Turbina gazowa jest maszyną wirnikową o takiej samej zasadzie działania jak turbina parowa. Z tą różnicą, że czynnikiem roboczym są gazy, a właściwie spaliny. Stopnie turbinowe turbiny gazowej ze względu na rozprężanie czynnika roboczego mają charakter akcyjny lub reakcyjny. W skład turbiny gazowej wchodzi:

- sprężarka wirkowa,
- jedna lub więcej komór spalania,
- turbina gazowa,
- jedna lub więcej wymienników ciepła.



Rys. 18 Turbina gazowa

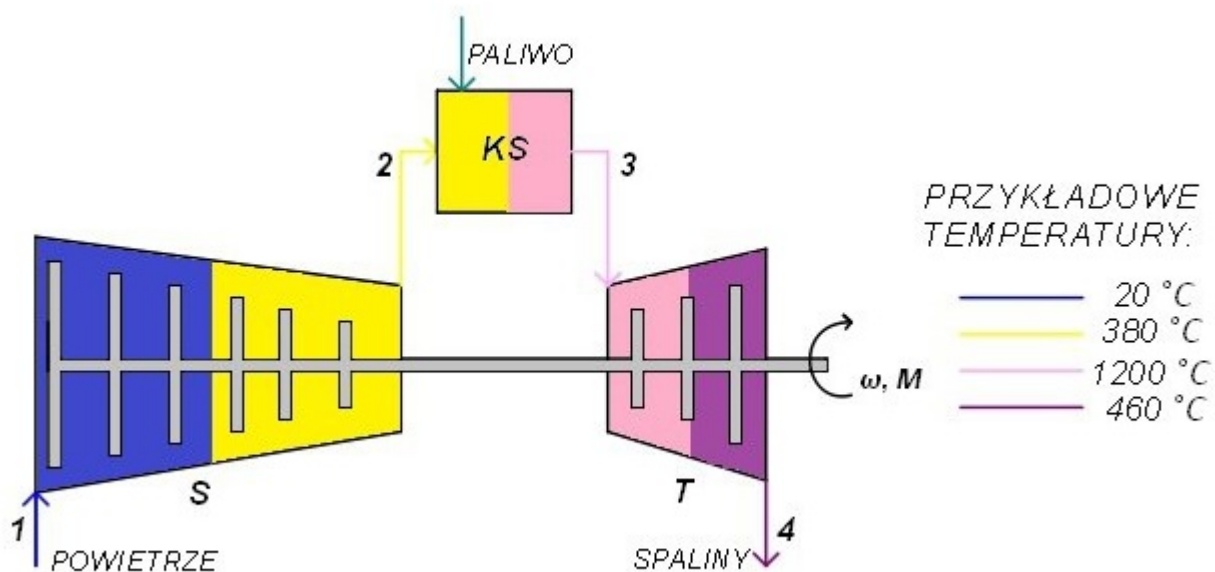
Sprężarka i turbina połączone są zazwyczaj wspólnym wałem, a komora spalania umieszczona jest pomiędzy nimi.

Najprostsza turbina złożona jest z jednej ruchomej części (nie biorąc pod uwagę układu zasilania w paliwo), czyli z wału sprzężonego z kołem wirnikowym sprężarki oraz kołem wirnikowym turbiny. Bardziej skomplikowane technologicznie turbiny posiadają wał

podwójny, liczne łopatki kierownicze i wirnikowe, złożony układ rurociągów, instalacje dodatkowe (np. wtrysku cieczy i pary wodnej), dwie albo więcej komory spalania, dodatkowe palniki, wymienniki ciepła takie jak chłodnice międzystopniowe i rekuperatory), kocioł do odzyskiwania, instalację do oczyszczania spalin, urządzenia pomiarowe i sterujące oraz inne.

Wirnik turbiny gazowej to monolityczna, jednowałowa konstrukcja, wspólna dla części turbinowej i sprężarkowej. Część turbinowa składa się z paru stopni turbinowych (3-4), z których dwa pierwsze są chłodzone. Stopień składa się zwykle z elementów wirujących powiązanych z wałem czyli wirnika, a także z elementów nieruchomych, powiązanych z nieruchomym korpusem tzw. stojana albo kierownicy. Tak sprężarka jak i turbina są urządzeniami prawie zawsze o wielostopniowej konstrukcji (tylko w najmniejszych urządzeniach są jednostopniowe). Komora spalania jest także dość nieskomplikowanym konstrukcyjnie elementem lub ich zespołem, który zapewnia właściwe warunki spalania paliwa przy równoczesnym zagwarantowaniu właściwego chłodzenia ścianek komory powietrzem (zazwyczaj przez otwory i kanały doprowadzające chłodzące powietrze).

Na wale turbiny mocuje się sprężarkę wirową, która tłoczy powietrze zasysane z atmosfery wraz z paliwem do komory spalania. Powietrze uczestniczy w procesie spalania oraz chłodzi ściany komory. Paliwo poddawane jest spalaniu spalane bezpośrednio w sprężonym powietrzu, które przepływa przez komorę. Spaliny powstałe w komorze spalania spalin kieruje się bezpośrednio albo przez wymiennik ciepła wprost do turbiny gazowej, w której przepływające przez wirnik turbiny spalin wytwarzają moc mechaniczną na wale wirnika napędzając tym samym zamontowaną na nim sprężarkę. Jeśli turbina generuje moc większą od tej pobieranej przez sprężarkę, to nadmiar mocy zostaje odprowadzony do innej maszyny np. do generatora elektrycznego. Nadwyżka mocy w turbinie powstaje wynika z wyższych temperatur czynnika w turbinie ponieważ im wyższa jest temperatura czynnika, to tym większa staje się objętość właściwa, czyli więcej energii trzeba przeznaczyć żeby do sprężania czy też więcej energii otrzyma się z rozprężania. Z drugiej strony im niższa jest temperatura czynnika, tym niższa jest energia sprężania i rozprężania. Tak więc sprężanie w sprężarce czynnika musi dokonywać się przy jak najniższej temperaturze, a samo rozprężanie w turbinie przy jak najwyższej. Po rozprężeniu w turbinie czynnik roboczy ma jeszcze dość wysoką temperaturę, a więc niesie ze sobą sporą energię. W prostych układach czynnik opuszczający turbinę zostaje wypuszczony jest do atmosfery, co oznacza stosunkowo duże straty energii. Żeby ograniczyć straty używa się rekuperatorów, kotłów odzysknicowych i innych urządzeń energetycznych, przeznaczonych do odzyskiwania energii cieplnej ze spalin wyrzucanych do otoczenia. Obieg turbiny gazowej zazwyczaj jest obiegiem otwartym, którego czynnik termodynamiczny pobierany zostaje z zewnątrz (powietrze oraz paliwo), a po przejściu przez komorę spalania oraz turbinę zwracany zostaje do otoczenia (spaliny).



Rys. 19 Schemat turbiny gazowej z przykładowymi temperaturami w charakterystycznych punktach układu; S - sprężarka, KS - komora spalania, T - turbina,  $\omega$  - prędkość kątowna wału, M - moment obrotowy na wale

Znaczącą ilość produkowanej przez turbinę gazową mocy wykorzystuje do swojej pracy sprężarka powietrza. Strumień powietrza, które przetwarza chłodziarka znacząco bowiem przekracza zapotrzebowanie na powietrze potrzebne do spalania paliwa. Powietrze jest też konieczne do schłodzenia płomienicy komory spalania oraz do zmniejszenia temperatury wlotowej spalin i osiągnięcia poziomu, który jest bezpieczny dla pierwszego stopnia turbinowego.

Sprawność turbiny gazowej zależna jest od wysokości temperatury czynnika roboczego w miejscu wlotu turbiny i jest określona stopniem odporności na żar łopatek wirnikowych oraz kierowniczych pierwszego stopnia turbiny. Im wyższą mamy temperaturę, tym wyższą mamy sprawność chemiczną paliwa w całym układzie. Górna granica temperatury określona zostaje przez wytrzymałość materiału łopatek tworzących pierwszy stopień turbiny. Stosowanie nawet najbardziej zaawansowanych materiałów nie sprawia, że łopatki są odporne za wysokie temperatury, dlatego stosuje się chłodzenie łopatek za pomocą powietrza pochodzącego ze sprężarki. Kiedy powietrze płynie przez wewnętrzne kanały znajdujące się w łopatkach kierownicy oraz wirnika pierwszych stopni turbiny, chłodzi poprzez wymuszoną konwekcję od wewnątrz a potem następnie wydostaje się przez otwory pełniąc funkcję filmu powietrznego, który chroni łopatkę przed ostrym działaniem gorących spalin. Takie chłodzone łopatki stosuje się dla temperatur rzędu 1000°C, a czasami nawet 2000°C. Najdoskonalsze technologie chłodzenia łopatek pozwalają na uzyskanie temperatury spalin przy wlocie do turbiny na poziomie ponad 1400 °C.

Sprawność układów turbiny gazowej nie jest wielka, więc w celu jej poprawy wprowadza się bardziej rozbudowane, które pozwalają zbliżyć obieg turbiny gazowej do tzw. obiegu Carnota. Najczęściej stosuje się konstrukcję z regeneracją ciepła, w której sprężone powietrze, które jest podawane do komory spalania zostaje ogrzane ciepłem gorących spalin, które rozprężają się w turbinie, ale utrzymują nadal wysoką temperaturę.



Wtedy do komory spalania wtryskuje się mniejsze dawki paliwa z zachowaniem identycznej mocy mechanicznej, która jest odprowadzana z turbiny, co oznacza wzrost sprawności. Podgrzew regeneracyjny sprężanego powietrza znalazł zastosowanie przede wszystkim w układach stacjonarnych, co wiąże się z potrzebą wbudowania do układu większego wymiennika cieplnego. Kolejnym sposobem podniesienia sprawności jest zastosowanie chłodzenia międzystopniowego powietrza sprężanego. Wykorzystuje się to zasadę, że niższa temperatura gazu wymaga mniejszego sprężania. Poprawa sprawności nie jest jednak znacząca wzrost intensywności chłodzenia powoduje obniżenie temperatury powietrza przy wlocie do komory spalania, musi więc wzrastać zużycie paliwa, to zaś wymusza użycie chłodziw międzystopniowych oraz rekuperatorów. Urządzenia te czynią układ bardziej skomplikowanym, powiększają masę urządzenia i co za tym idzie podnoszą koszty inwestycji.

Żeby obniżyć temperaturę sprężanego powietrza można je nawilżyć. Najlepiej do tego celu użyć wody, która jest tania, nietoksyczna, obojętna dla środowiska a przede wszystkim posiada bardzo duże ciepło parowania. Wodę można wtryskiwać przy wlocie do sprężarki, co stwarza pewne problemy ponieważ woda wpływając w postaci rozdrobnionych kropeł niesionych przez powietrze może wpływać erozyjnie na łopatki wirnika sprężarki. Dlatego znacznie lepsze jest wprowadzenie międzystopniowy wtrysku wody. Wówczas woda jest wtryskiwana do częściowo sprężonego już powietrza, które ma niewielką wilgotność względną (w procesie sprężania rośnie temperatura ale wilgotność bezwzględna nie ulega zmianie). Woda odparowuje znacznie szybciej chłodząc powietrze, a w dalszym procesie sprężaniu ulega jednorodna mieszanina gazowa (tzn. woda w formie pary). Nawilżając powietrze uzyskujemy obniżenie średniej temperatury czynnika sprężanego, spada moc pobiera przez sprężarkę i rośnie strumień masy czynnika płynącego przez komorę spalania oraz turbinę. Wzrasta też strumień paliwa, które jest podawane do komory spalania. Takie nawilżanie sprężanego powietrza znajduje zastosowanie w rozbudowanych układach, zwłaszcza tych, które posiadają rekuperator, co umożliwia osiągnięcie znaczących sprawności.

Inny sposób przegrzew wtórny spalin rozprężanych. Jego wprowadzenie może poprawić sprawność i wzrost jednostkowej mocy. W układach otwartych dokonuje się spalanie pewnych ilości paliwa w częściowo rozprężonych spalinach a potem znów ogrzaniu czynnika do bardzo wysokiej temperatury. Taki proces może się dokonać tylko wtedy, kiedy spaliny zawierają wystarczającą ilość tlenu. Kiedy wprowadzimy wtórny przegrzew to wzrasta temperatura spalin przy wylocie z turbiny, zwiększając stratę wylotową i wtedy przyrost sprawności okazuje się stosunkowo niewielki. Równoczesne wprowadzenie chłodzenia i przegrzewu międzystopniowego połączonych z regeneracją ciepła umożliwia osiągnięcie dość wysokich sprawności, ale warto zauważyć, że bardzo wysokie są wówczas koszty inwestycyjne.

Największe sprawności uzyskuje się w układach kombinowanych gazowo-parowych, składających się z turbiny gazowej pracującej w układzie otwartym, oraz turbiny parowej z całym osprzętem. Te dwa układy połączone są ze sobą termodynamicznie i technologicznie kotłem odzyskowym, który jest powierzchniowym wymiennikiem ciepła. Ciepło do takiego układu dostarcza się na poziomie komory spalania turbiny gazowej, a jego odprowadzenie ma miejsce w skraplaczu, który znajduje się przy wylocie turbiny parowej (temperatura źródła ciepła dolnego kształtuje się na poziomie ok. 40-50°C), co pozwala otrzymać bardzo dużą różnicę temperatur między górnym a dolnym źródłem

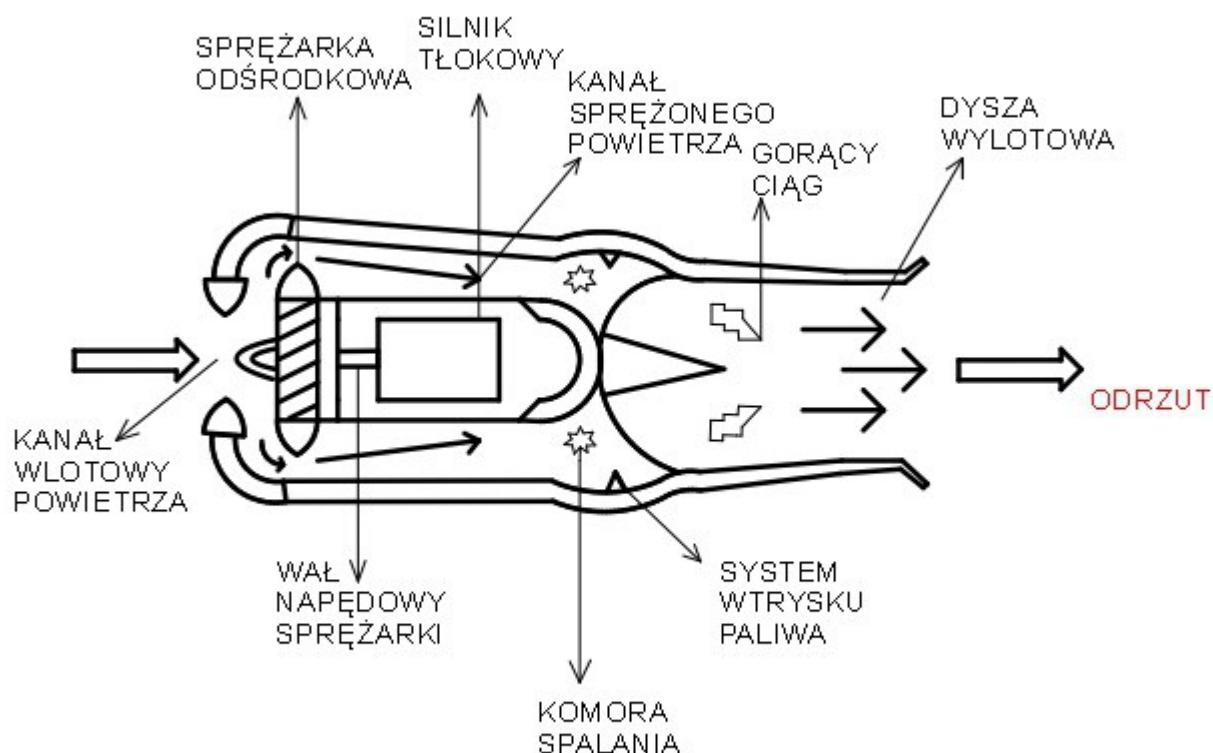
ciepła. Uzyskujemy wtedy najwyższe znane w energetyce zawodowej sprawności elektryczne, które dochodzą do 60%.

Turbina gazowa znalazła zastosowanie w energetyce, ciepłownictwie (elektrownie, elektrociepłownie), przemyśle i transporcie (wodny, lądowy, powietrzny). Energia mechaniczna odbierana z wału turbiny wykorzystywana jest do napędu statków, pociągów, generatorów energii elektrycznej, śmigieł, sprężarek, a nawet czołgów. Ponadto jest elementem konstrukcyjnym silnika turboodrzutowego lub turbowałowego (turbośmigłowego, śmigłowcowego).

Zaletą turbin gazowych jest zwarta budowa, brak kotłowni, szybkość uruchamiania, łatwość obsługi, znacznie mniejsza emisja zanieczyszczeń niż z konwencjonalnych siłowni parowych. Sprawność turbin gazowych jest zbliżona do konwencjonalnych siłowni parowych. Wadą jest wysoki koszt paliw ciekłych i gazowych (ropa naftowa, gaz ziemny), służących do zasilania turbin.

### 5.1.3 Silnik odrzutowy

Silnik odrzutowy jest to silnik spalinowy. W tego rodzaju silniku energia cieplna, która pochodzi ze spalania paliwa ulega przekształceniu w energię kinetyczną gazów, które wypływają dyszą. Gazy będące produktem spalania wyrzucane z ogromną prędkością budują siłę ciągu w stronę przeciwną. Zasada działania silnika odrzutowego opiera się jest na prawidłowościach właściwych silnikowi spalinowemu takich jak: sprężanie, spalanie i rozprężanie. Istotną różnicą zawiera się w tym, że praca silnika tłokowego dokonuje się w cyklach: sprężanie, spalanie, rozprężanie i wydech), zaś w silniku odrzutowym proces ten występuje w sposób ciągły. To sprawia, że silnik odrzutowy jest wydajniejszy, a na dodatek jego konstrukcja jest prostsza. W silniku odrzutowym realizowany jest obieg Braytona-Joule'a.



Rys. 20 Silnik odrzutowy

Źródło: <http://www.armia24.pl/technologie/2504-pierwsze-silniki-odrzutowe-w-uzytkowaniu-wojskowym>

W skład silnika odrzutowego wchodzi: wentylator, sprężarka (zwykle sprężarka osiowa), komory spalania, turbiny, dysza wylotowa. Powietrze dostaje się wlotem poprzez wentylator (łopatki osadzone są na wale i tworzą wirnik) do urządzenia sprężarki. Jej zadanie polega na sprężeniu powietrza czyli na zmniejszeniu prędkości jego przepływu wraz z podniesieniem jego ciśnienia. Tak sprężone powietrze wędruje do komory spalania, do której paliwo jest podawane przez wtryskiwacze. Paliwo zmieszane z powietrzem ulega teraz spalaniu. W trakcie rozruchu silnika przed startem stosuje się świecę zapłonową do zapalenia paliwa. Ponieważ przy spalaniu wydzielą się duża ilość powietrza to zapalenie się paliwa powoduje powstawanie gorących gazów wylotowych, które trafiają potem na turbinę. Turbina za pomocą wału napędza urządzenie sprężarki. W ten sposób silnik może pracować bez przerw. Gazy przechodzą przez turbinę i dyszę wylotową i ulegając rozprężeniu wypływają na zewnątrz. Pewna część gazów spalinowych, która ominęła turbinę wydostaje się przez dyszę silnika tworząc tzw. zjawisko odrzutu. W ten sposób strumień gorących gazów „popycha” samolot do przodu. W silniku odrzutowym turbina ma ograniczone znaczenie; jej jedyną rolę stanowi zasilenie sprężarki oraz ewentualnie innych urządzeń (np. generatora), a pozostała energia gazów odpowiada za odrzut.

Na wentylator silnika lotniczego składają się dwa następujące po sobie "wieńce" ("rzędy") obracających się łopatek wirnika. Po nich następuje pojedynczy wieniec łopatek

kierowniczych, których wierzchołki skierowane są do środka silnika. Nie wirują one w taki sposób jak łopatki wirnika, ale znajdują się na stałe w sprężarce. Stopień sprężarki jest to wieniec wirujących łopatek wirnika wraz wieńcem osadzonych na stałe łopatek kierownic. W jednym stopniu (poza samolotami naddźwiękowymi, które są tu wyjątkiem) spręż czyli stosunek ciśnień przy wylocie i przy wlocie sprężarki nie jest większa niż 1,6 i maleje wraz z każdym kolejnym stopniem.

W tym układzie silnik tłokowy napędza sprężarkę, tłoczącą do komory spalania powietrze. Kiedy wtryskiwane zostało paliwo, dochodziło do zapłonu i gorące gazy, które wydostawały się przez dyszę wylotową na zewnątrz, wytwarzały pożądany odrzut.

## 5.2 Silnik spalinowy

Silnik spalinowy jest przeznaczony do przetwarzania energii cieplnej, którą jest otrzymywana w procesie spalania paliwa na energię mechaniczną ruchu obrotowego. Do tego procesu używa się cylindra silnika oraz mechanizmu korbowego. W cylindrze dokonuje się cykl zamkniętych przemian gazu roboczego, które tworzą obieg cieplny. Jego efektem jest praca cieplna obiegu. W następnym etapie procesu mechanizm korbowy zamienia pracę cieplną na pracę mechaniczną. Przemiana ciepła na pracę dokonuje się ze sprecyzowaną sprawnością, zależącą od wybranych parametrów właściwych danemu silnikowi (konstrukcyjne i robocze). Działanie silnika spalinowego polega na zamianie w cylindrze energii chemicznej paliwa na pracę mechaniczną. Ciepło wytworzone w procesie spalania paliwa jest efektem ogromnego wzrostu ciśnienia w cylindrze, gazy spalinowe przesuwają tłok, a korbowód wymusza obrót wału korbowego silnika. Dużą grupę silników spalinowych stanowią silniki tłokowe czyli silniki z tłokiem tradycyjnym oraz z tłokiem krążącym. W silniku tłokowym podczas pełnego ruchu tłoka, dwukrotnie znajduje się on w skrajnym położeniu. Pojemność całkowita cylindra oznacza, że tłok znajduje się w dolnym martwym położeniu, natomiast pojemność komory sprężania kiedy pojemność cylindra jest w górnym martwym położeniu. Pojemność skokowa to różnica między pojemnością całkowitą cylindra, a pojemnością komory sprężania.

W praktyce stosuje się silniki czterosuwowe. Przestrzeń robocza silnika zbudowana została w postaci cylindra z możliwością zmiany objętości gazu roboczego w czasie cyklu i powtarzalnością cykli w czasie używania silnika. Główne elementy takiego silnika to: głowica, kadłub, koło zamachowe, korbowód, tłok, wał korbowy, miska olejowa. Silnik składa się z następujących elementów:

- Kadłub, który pełni rolę obudowy, osłania sam układ korbowy, od góry jest przykryty głowicą, z zamontowanymi w niej zaworami, świece zapłonowe prowadnice zaworowe, wtryskiwacze itp.; tworzy cylindry, które umożliwiają działanie mechanizmu korbowego oraz rozrządu zaworowego, montaż i działanie podzespołów instalacji silnika oraz umieszczenie silnika na podstawie. Złożony jest z bloku cylindrowego, głowicy oraz skrzyni korbowej.
- Mechanizm korbowy czyli elementy ruchome silnika związane przegubami, które umożliwiają w cylindrze ruch posuwisto-zwrotny tłoka oraz ruch obrotowy wykorbienia w skrzyni korbowej (korbowód łączy tłok z wykorbieniem). W taki sposób praca obiegu roboczego przekształcona zostaje w pracę mechaniczną ruchu obrotowego, używaną do ruchu odbiornika energii złączonego z silnikiem.
- Układ rozrządu zaworowego tworzony jest z elementów, które pozwalają na

wymianę ładunku w cylindrze (po to by kontynuować cykle pracy silnika). Podstawowy element stanowi zawór grzybkowy – jego zadaniem jest okresowe otwieranie połączenia pomiędzy cylindrem a otoczeniem silnika. Zwykle stosuje się zawór dolotowy, który umożliwia napełnianie cylindra powietrzem oraz zawór wylotowy, który pozwala na wylot spalin z cylindra. Z tym zaworem pracuje mechanizm, który umożliwia ruch zaworu w danym czasie trwania cyklu roboczego, który zapewnia właściwy przekrój swobodnego przepływu gazu. W tzw. silniku czterosuwowym układ rozrządu tworzą zawory dolotowe oraz wylotowe, gniazda i prowadnice zaworowe, wałek rozrządu wraz z przekładnią napędową, sprężyny, dźwigniki oraz układ dźwigni i drążków napędu zaworów.

- Układ zapłonowy stosowany jest w silnikach z zapłonem iskrowym i służy powstawaniu iskry elektrycznej, która jest konieczna do zapalenia w cylindrze mieszanki. Składa się on z urządzeń, które produkują prąd o niskim napięciu (prądnicą, alternator) oraz przemieniających go na prąd wysokiego napięcia (cewka zapłonowa) a także z urządzeń, które doprowadzają prąd wysokiego napięcia (rozdzielacz, przewody) do świecy zapłonowej.
- Układ zasilania służący do przygotowania paliwa, mieszanki palnej lub powietrza i przekazania ich do cylindra. W jego skład wchodzi: gaźnik (w silniku o zapłonie iskrowym), wtryskiwacze (silnik o zapłonie samoczynnym i iskrowym), pompa wtryskowa, pompa do podawania paliwa, zbiornik paliwa, filtry.
- Układ chłodzenia jest przeznaczony do utrzymywania w danych granicach temperatury ścianek cylindra, tłoka głowicy, zaworów a także innych elementów silnika, które nagrzewają się od płomienia oraz gorących spalin. Układ ten umożliwia odprowadzenie pewnej ilości ciepła z elementów, które są narażone na działanie mocnego strumienia ciepła do otoczenia za pomocą cieczy chłodzącej. Kiedy chłodzimy układ pośrednio płynem w układzie chłodzenia znajduje się pompa do cieczy chłodzącej i chłodnica z wentylatorem. Kiedy chłodzimy układ bezpośrednio powietrzem w jego skład wchodzi: uźebrowania głowicy oraz cylindra, dmuchawy podającej strumień powietrza na uźebrowanie ścianki głowicy oraz bloku cylindrowego, owiewek.
- Układ smarowania jest przeznaczony do zmniejszania tarcia pomiędzy współpracującymi elementami oraz ma za zadanie odprowadzanie ciepła. W jego skład wchodzi miska olejowa i pompa olejowa, kanały, które doprowadzają olej, filtry oraz przewody. Smarowanie dokonuje się przy pomocy oleju smarnego, który krąży w obiegu zamkniętym podczas całej pracy silnika.
- Instalacja wtryskowa zbudowana została z pompy wtryskowej oraz wtryskiwaczy, które są połączone rurkami wysokociśnieniowymi. Pozwala to doprowadzić do cylindra silnika odpowiednie porcje paliwa (pod wymaganym ciśnieniem i w wymaganym czasie).
- Instalacja rozruchowa jest przeznaczona do rozpoczęcia ruchu mechanizmu korbowego aby sekwencyjnie realizować w cylindrze cykl przemian gazu roboczego. Wymaga to przekazania określonego strumienia energii (w postaci sprężonego powietrza) pochodzącego z zewnątrz na moment rozruchu silnika.
- Inne układy i mechanizmy w zależności od rodzaju i zastosowania silnika – mechanizm: dolotowy, wylotowy, doładowujący i sterowania.

Podczas wprowadzania ciekłego paliwa do sprężonego powietrza (wtrysk) tworzy się

mieszanina palna, która złożona jest z cząstek powietrza oraz paliwa, podlega samozapłonowi oraz spalaniu wewnątrz komory spalania silnika. Żeby odbył się ten proces wymaga się gazowego stanu paliwa oraz jego rozprzestrzenia w cylindrze. Mieszanina palna powstaje podczas rozpylania w cylindrze wymuszonego poprzez wtrysk paliwa i zmieszanie obu składników mieszaniny.

Silniki spalinowe dzielą się w różny sposób w zależności od kryteriów. Ze względu na rodzaj sposobu spalania rozróżniamy następujące silniki:

- silnik spalania otwartego - czynnik roboczy znajduje się w stanie gazowym, którego skład jest niezmienny (silnik gazowy ze spalaniem zewnętrznym np. silnik Stirlinga),
- silnik spalania zamkniętego - czynnik roboczy może być w stanie gazowym, którego skład się zmienia (silnik spalinowy oraz silnik gazowy z wewnętrznym źródłem ciepła).

Z uwagi na ciśnienie w kolektorze ssącym silnika, wyróżniamy następujące silniki:

- silnik wolnossący (niedoładowany),
- silnik doładowany - ze względu na ciśnienie w kolektorze ssącym dzieli się na kolejne rodzaje: niskodoładowany (o nadciśnieniu rzędu 0–0,5 bara), średnioładowany (o nadciśnieniu rzędu 0,5–1 bara), wysokodoładowany (o nadciśnieniu od 1 bara wzwyż).

Najczęściej spotyka się następujące silniki:

- Silnik spalinowy tłokowy wykonujący ruch posuwisto-zwrotny tłoka. Jest to najpopularniejsza jednostka napędowa dla samochodów, silnik ten jest stosowany w charakterze napędu głównego i pomocniczego siłowni okrętowych, a także jako napęd generatorów awaryjnych w elektrowniach atomowych. Moc największych spalinowych silników okrętowych sięga 80 MW, a średnica cylindra wynosi 1050 mm. Jest to silnik, w którym spalanie następuje w procesie zamkniętym.
- Silnik spalinowy tłokowy z tłokiem rotacyjnym (silnik Wankla), rzadko stosowany w motoryzacji; silnik spalania zamkniętego.
- Silnik Stirlinga z chemicznym źródłem ciepła (może też korzystać z innych źródeł ciepła, niż spalanie); silnik spalania otwartego.
- Silnik turbowałowy czyli silnik turbinowy, w którym moc mechaniczna odbierana zostaje z wału wirnika turbiny, stosowany przede wszystkim w lotnictwie (silniki turbośmigłowe, śmigłowcowe), w energetyce (siłownia gazowa, układ gazowo-parowy), do napędzania śrub okrętowych, czasami w kolejnictwie, sporadycznie w motoryzacji.

Wskaźnikami pracy silnika są:

- prędkość obrotowa - liczba obrotów wału korbowego w danej jednostce czasu, podawana w cyklach na minutę, określająca granice bezpiecznej pracy silnika (od podania obrotów minimalnych, poniżej których silnik nie pracuje prawidłowo, aż do maksymalnych, od których następuje ryzyko awarii silnika).
- moment obrotowy silnika - średnia wartość momentu obrotowego, która jest przenoszona z wału korbowego do odbiornika energii w czasie jednego obiegu cieplnego,
- praca użyteczna - wielkość pracy przekazywana przez silnik odbiornikowi w czasie jednego rzeczywistego obiegu cieplnego,

- moc użyteczna czyli strumień energii, która jest przekazywana do odbiornika energii, stosunek wykonywanej pracy do czasu jej wykonania, moc jest mierzona na wale napędowym. Różne normy w odmienny sposób określają warunki dokonywania pomiaru mocy użytecznej. Jej wielkości mogą się znacząco różnić w zależności od używanej normy. Wielkość mocy można określić z hamowni.
- czasowe zużycie paliwa,
- jednostkowe zużycie paliwa,
- sprawność ogólna silnika,
- średnie ciśnienie indykowane,
- średnie ciśnienie użyteczne czyli średnie ciśnienie w komorze roboczej podczas spalania mieszanki paliwowej, ciśnienie skorelowane z momentem obrotowym,
- pojemność skokowa (dla silników tłokowych) czyli w silniku spalinowym podsumowana różnica pomiędzy maksymalną a minimalną objętością cylindrów,
- stopień sprężania (dla silników tłokowych) czyli stosunek przestrzeni znajdującej się ponad tłokiem podczas końcowej fazy ssania w zestawieniu do przestrzeni znajdującej nad tłokiem w końcowej fazie sprężania.  
Stopień sprężania obliczamy według wzoru:

$$E = \frac{V_c}{V_k} \quad (7)$$

w którym:

$V_c$  - objętość ponad tłokiem po ssaniu,

$V_k$  - objętość ponad tłokiem po sprężaniu.

- objętościowy wskaźnik mocy (dla silników tłokowych) czyli stosunek mocy silnika do objętości wszystkich jego cylindrów w końcowej fazie ssania,
- jednostkowa moc wewnętrzna (dla silników turbinowych) czyli stosunek mocy wewnętrznej silnika turbowalowego do strumienia masy czynnika przy wlocie do silnika,
- moc nominalna (znamionowa) podawana jest przez wytwórcę silnika,
- moc trwała czyli największą moc, z którą silnik może bezpiecznie pracować w sposób ciągły,
- moc krótkotrwała czyli maksymalna moc, którą silnik generuje bez ryzyka przegrzania,
- jednostkowe zużycie paliwa określa wagową albo objętościową ilość paliwa konieczną do wykonania danej pracy,
- Natężenie zużycia paliwa czyli objętościowe albo wagowe zużycie paliwa w jednostce czasu w silniku, który pracujące przy nominalnych parametrach (moc i obroty nominalne),
- Natężenie wydzielania spalin czyli objętościowa albo wagowe wydalenie gazów spalinowych w jednostce czasu w silniku pracującym przy nominalnych parametrach

(moc i obroty nominalne). Emisja spalin jest klasyfikowana pod kątem udziału w nich różnych składników,

- Minimalne jednostkowe zużycie paliwa - określa nam objętościową albo wagową ilość paliwa zużytego dla wykonania pracy przy nominalnych parametrach w jednostce czasu.

Zadanie układu chłodzenia silnika spalinowego to zapobieżenie nadmiernemu wzrostowi temperatury silnika (maksymalna temperatura 150 °C) i utrzymywanie temperatury pracy silnika w optymalnym przedziale czyli pomiędzy 90 °C a 100 °C. Właściwe działanie układu chłodzenia jest warunkiem koniecznym do osiągnięcia odpowiednich warunków pracy silnika. Brak chłodzenia prowadzi do natychmiastowego wzrostu temperatury podstawowych elementów silnika, co oznacza gorsze warunki smarowania (utrata własności smarnych oleju i jego spalanie z powodu zbyt wysokiej temperatury), występowanie samozapłonów mieszanki, a także nadmierne rozszerzenie termiczne tłoka w cylindrze, co zwykle skutkuje jego zatarciem. Nie jest wskazana także zbyt niska temperatura pracy, ponieważ pogarszają się warunki odparowywania paliwa i zakłócony zostaje proces spalania, co może prowadzić do zwiększonej emisji substancji szkodliwych. Praca silnika w niskiej temperaturze może skutkować tzw. splukiwaniem oleju z gładzi cylindrów, co utrudnia smarowanie. Układ chłodzenia silników spalinowych może być bezpośredni i pośredni. W układzie bezpośrednim chłodzenia używa się powietrza, które bezpośrednio owiewa cylindry oraz głowicę silnika. W układzie pośrednim proces ten przejmuje ciecz chłodząca wewnątrz silnika, która odbiera ciepło. Tylko zupełnie epizodycznie chłodzenie w układzie pośrednim zachodzi poprzez odparowywanie wody, którą trzeba ciągle uzupełniać. Tzw. doładowanie silnika spalinowego jest procesem, który polega na dostarczeniu do silnika znacznie większej ilości czynnika roboczego (powietrza albo mieszanki paliwowo-powietrznej) niż silnik mógłby zassać swobodnie z otoczenia. Dokonuje się to przez zwiększenie za pomocą sprężarki ciśnienia, gęstości czynnika przy wlocie do silnika. Aby otrzymać wymagane zależności momentu obrotowego od obrotów silnika można użyć przystosowanych do tego celu układów sterujących pracą silnika oraz pracą sprężarki. Układ doładowania stosuje się najczęściej przy wzroście wysilenia; otrzymujemy silnik z mniejszą masą jednostkową, mniejszy rozmiarowo oraz o łatwiejszej do wykonania konstrukcji. Układ doładowania tworzony jest przez sprężarkę, jej układ napędowy, przewody doprowadzające i odprowadzające powietrze, może się też w nim znajdować chłodnica powietrza doładującego, urządzenia sterujące oraz pomiarowe.

Żeby zainicjować pracę silnika spalinowego potrzebujemy wprowadzić go w ruch. W dobrze funkcjonującym silniku tylko jeden ruch wystarczy tłok wykonał suw ssania oraz sprężania aż do chwili zapłonu. Dalsza praca dokonuje się już wtedy samoczynnie. Czasami musi dojść do wykonania kilku cykli pracy nim dokona się pełny rozruch danego silnika. Niewielkie silniki motocykli oraz te, które napędzają drobny sprzęt innego rodzaju zastosowano tzw. rozruch manualny. Nie jest to możliwe w przypadku większych silników, dla których wymagane jest wspomaganie rozruchu. Najczęściej w tym celu używa się tzw. rozrusznika czyli silnika elektrycznego zasilanego przez akumulator. Rozrusznik podczas rozruchu sprzęgnięty jest z kołem zamachowym silnika. Wielkie silniki, takie jak np. silniki okrętowe uruchamiane są poprzez doprowadzenie za pomocą rozdzielacza oraz specjalnych zaworów rozruchowych do cylindrów sprężone powietrze. Tylko czasami do uruchamiania używa się mniejszego silnika spalinowego.



Układu rozrządu steruje urządzeniami mającymi za cel przekazanie ładunku do silnika oraz usunięcie z nich spalin. Wyróżniamy następujące typy rozrządu:

- rozrząd zaworowy, który zarządza sterowaniem zaworami ssącymi, zaworami wydechowymi oraz momentem i czasem otwarcia,
- rozrząd tulejowy, w nim tzw. tuleja przesuwno-obrotowa steruje zaworami ssącym oraz wydechowymi,
- rozrząd tłokowy czyli szczelinowy, tutaj tłok otwiera i zamyka okna czyli szczeliny prowadzące do kanałów ssących, przelotowych oraz wydechowych,
- rozrząd kierowany przepustnicą obrotową, otwierającą i zamykającą okna dolotowe ładunku czyli mieszanki,
- rozrząd mieszany czyli tłokowo-zaworowy, w nim przedostanie się ładunku do silnika dokonuje się poprzez okna czyli szczeliny w DMP, zaś spaliny usuwa się poprzez układ zaworów w głowicy (tak się dzieje w większości silników wodorowych, i w niektórych silnikach rotacyjnych).

W każdym układzie smarowania silnika spalinowego dostarczana jest substancja, której zadaniem jest zmniejszanie tarcia do ruchomych elementów tworzących silnik. Takie elementy silnika spalinowego jak: wał korbowy, tłoki, korbowody, łożyska i elementy układu rozrządu wykonują pracę w bardzo trudnych warunkach więc potrzebują skutecznego smarowania. Czynnik smarujący dla silnika spalinowego stanowi olej silnikowy. Jest on doprowadzany do wszystkich istotnych elementów oraz połączeń za pomocą kanałów olejowych, a rozpylany w komorach roboczych. Obieg oleju zostaje wymuszony przez pompe olejową. Olej jest też filtrowany poprzez filtr oleju, a w silnikach bardziej wysiłonych, dodatkowo chłodzony w chłodnicy oleju. Elementy układu smarowania to:

- pompa olejowa (zazębienie zewnętrzne oraz wewnętrzne),
- filtr olejowy,
- zawór przelewowy, który utrzymuje stałe, wymagane ciśnienie oleju w układzie),
- chłodnica oleju pozwala na zachowanie odpowiedniej temperatury oleju, chłodzenie odbywa się za pomocą powietrza albo cieczy),
- magistrala olejowa,
- czujnik ciśnienia oleju, informujący kierowcę o spadku ciśnienia poniżej wymaganej wartości; umieszczany zwykle za filtrem oleju,
- miska olejowa czyli dolna część skrzyni korbowej.

Układ wydechowy silnika spalinowego czyli układ wylotowy jest tworzony przez to zespół urządzeń. Ich zadaniem jest którego skuteczne odprowadzenie spalin i ograniczenie hałasu, który emituje pracujący silnik. W procesie pracy silnika spalinowego wytłaczane z cylindra spaliny, wędrują do kolektora wydechowego, a potem przesyłane są do wstępnego odcinka rury wydechowej i do tłumika (lub kilku szeregowo usytuowanych tłumików) a w końcu do końcowej (wylotowej) części rury wydechu. Układ wydechowy w silnikach, które spalają benzynę bezołowiową dodatkowo oczyszcza spaliny, dopalane w katalizatorze po opuszczeniu układu wydechowego. Wymagania, które są konieczne dla układów wylotowych:

- minimalne opory dla przepływu
- stosunkowo długi okres eksploatacji,
- niskie koszty produkcji układu.

Układ wylotowy tworzą:

- kolektor wylotowy wraz z rurą wylotową,
- reaktor katalityczny,
- tłumiki wylotowe.

Układ zapłonowy jest to urządzenie mechaniczne, elektryczne albo elektroniczne używane w silnikach z zapłonem iskrowym. Zadaniem układu zapłonowego jest rozpoczęcie reakcji spalania w cylindrach silnika mieszanki paliwowo-powietrznej w momencie odpowiadającym danej pozycji tłoka w konkretnym cylindrze. Najlepszy moment do zapłonu jest zależny od licznych parametrów pracy konkretnego silnika. Układ zapłonowy steruje momentem powstania iskry na świecy zapłonowej. Najbardziej tradycyjny układ zapłonowy to układ elektryczno-mechaniczny. Przy czym napięcie obecne na stykach akumulatora (zwykle jest to 12 V) podnoszone zostaje do kilku tysięcy woltów poprzez cewkę wysokiego napięcia. Między akumulatorem a cewką znajduje jest tzw. przerywacz niskiego napięcia. Wysokie napięcie panujące w silniku wielocylindrowym zostaje rozdzielane do konkretnych świec zapłonowych poprzez rozdzielacz zapłonu, którym steruje wał silnika (zwykle wałek rozrządu) w taki sposób, żeby moment zapłonu w danych cylindrach zsynchronizować z cyklami pracy poszczególnych tłoków. Typowy układ zapłonowy, który jest oparty na przerywaczu wywołuje pewne problemy w eksploatacji takie jak: obowiązek okresowej obsługi, problemy z rozruchem silnika przy niskiej temperaturze. Dlatego współcześnie wytwarzane silniki spalinowe rzadko korzystają z klasycznego układu zapłonowego. W jego miejscu pojawia się i zaczyna dominować elektroniczny układ tranzystorowy, tzw. TCI czyli Transistor Controlled Ignition, charakteryzujący się większą precyzją oraz niezawodnością. Tzw. tranzystor mocy występuje w funkcji przerywacza zapłonu, co pozwala wyeliminować kondensator oraz poprawia charakter wyładowania iskrowego. Dodatkowo natężenie prądu, który przepływa przez cewkę ulega stabilizacji, co gwarantuje niezmienną energię iskry, także w czasie rozruchu silnika dokonywanego w niskich temperaturach oraz przy rozładowanym akumulatorze. Użycie bezstykowego czujnika, który steruje układem zapłonowym, a nie wymaga obsługi pozwala na precyzyjne kierowanie kątem wyprzedzenia zapłonu biorąc pod uwagę liczne parametry pracy silnika, co prowadzi do zmniejszenia zużycia paliwa oraz zmniejsza zanieczyszczenie spalin.

Układ zasilania silnika spalinowego to istotna część silnika spalinowego. Jej zadanie to doprowadzenie mieszanki paliwowo-powietrznej do komory spalania. W silnikach o zapłonie samoczynnym powietrze, które wcześniej zostało oczyszczone przez filtr powietrza, zostaje zasysane poprzez tłok podczas suwu ssania. Pompa wtryskowa wtryskuje paliwo w czasie suwu sprężania, tuż przed osiągnięciem przez tłok swojego górnego skrajnego położenia. Typowym rozwiązaniem dla układu zasilania w silniku z zapłonem iskrowym, staje się układ gaźnika. Przy takim rozwiązaniu konstrukcyjnym powietrze wcześniej przefiltrowane ulega w gaźniku zmieszaniu z paliwem. Pompa paliwa dostarcza paliwo do gaźnika. W najbardziej współczesnych, zawansowanych technologicznie silnikach spalinowych, układ gaźnikowy zastąpiono układem z wtryskiem elektronicznym, którego wtryskiwacze, identycznie jak w silnikach z zapłonem samoczynnym, poddają się sterowaniu poprzez elektroniczny układ logiczny.

- [1] Ambroziak, A., Kurczyński, D., *Wskaźniki pracy silnika o zapłonie samoczynnym zasilanego olejem napędowym, paliwem FAME i ich mieszaninami*. MOTROL, 8A, s. 31-41, 2006.
- [2] Bajkowski S., Górniewska B. *Hydroenergetyka na tle produkcji energii z innych źródeł odnawialnych*. Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska, nr 59, s. 77–87, 2013.
- [3] Bal R., Bieranowski J., Budny J., Gutowska A. E., Neugebauer M., Piechocki J., Szczukowski S., Paniczek S., Szutkiewicz P., Tworkowski J., Zaman A. S. *Praktyczne aspekty wykorzystania odnawialnych źródeł energii*. Białystok, 2005.
- [4] Barabas, I., Todorut, A., Idean, D. B., *Performance and emission characteristics of an CI engine fueled with diesel–biodiesel–bioethanol blends*. Fuel, 89, 12, s. 3827–3832, 2010.
- [5] Bednarska A. *Hydroenergetyka w Polsce – obecna sytuacja i perspektywy na przyszłość*. <http://www.plan-rozwoju.pcz.pl/dokumenty/konferencja/artykuly/03.pdf>
- [6] Bernhardt M., Dobrzyński S., Loth E. *Silniki samochodowe*. Wyd. IV WkiŁ, 1988.
- [7] Bernhardt M., Dobrzyński S., Loth E. *Silniki samochodowe*. Wyd. IV WkiŁ, 1988.
- [8] Bień J., Ligienza A., Zabochnicka-Świątek M. *Wykorzystanie biomasy mikroalg do produkcji biopaliw płynnych*, Mat. konf. „Debata o przyszłość energetyki”, 2010.
- [9] Bień J., Sławik L., Zabochnicka – Świątek M. *Możliwości wykorzystania glonów z biomasy zeutrofizowanych zbiorników wodnych jako surowca do produkcji biopaliw*. Inżynieria i Ochrona Środowiska t. 13, nr 3, s. 197-209, 2010.
- [10] Bień J., Sławik L., Zabochnicka - Świątek M., *Wady i zalety biopaliw na przykładzie bioetanolu*. <http://www.plan-rozwoju.pcz.pl/dokumenty/konferencja/artykuly/27.pdf>
- [11] Biernat K. *Biopaliwa drugiej generacji*. Studia Ecologiae et Bioethicae, 5/2007.
- [12] Boral K. *Analiza energetycznego wykorzystania biomasy*. Mat. konf. „Debata o przyszłość energetyki”, maj 2010.
- [13] Borges, M.E., Díaz, L., Gavín, J., Brito, A., *Estimation of the content of fatty acid methyl esters (FAME) in biodiesel samples from dynamic viscosity measurements*. Fuel Processing Technology, 92, 3, s. 597–599, 2011.
- [14] Chalecka K. *Możliwości wykorzystania odnawialnych zasobów energetycznych w Polsce*. Acta Universitatis Nicolai Copernici, Ekonomia XLI, Nauki Humanistyczno-Społeczne, Toruń, z. 397, 2010.
- [15] Christi Y. *Biodiesel from microalge beats bioethanol*. Trends Biotechnology., 26, 3, s. 126-131, 2008.
- [16] Christi Y. *Biodiesel from microalge*. Biotechnology Advan., 25, s. 294-306, 2007.
- [17] Dattatray, B. H., Satishchandra, V. J., *Performance, emission and combustion characteristic of a multicylinder DI diesel engine running on diesel–ethanol–biodiesel blends of high ethanol content*. Applied Energy, 88, s. 5042–5055, 2011.
- [18] Dec B., Krupa J. *Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii w aspekcie ochrony środowiska*.
- [19] Demirbas, A., *Progress and recent trends in biodiesel fuels*, Energy Conversion and Management. 50, s. 14–34, 2009.

- [20] Dmowski A., Rosłaniec Ł. Odnawialne źródła energii - możliwości i ograniczenia w warunkach polskich  
[http://www.if.pw.edu.pl/~pluta/pl/dyd/mtj/zal2/CD\\_II\\_SZKOLA/I%20ZAGADNIENIA\\_O\\_GOLNE/2\\_A\\_Dmowski\\_odnawialne\\_zrodla.pdf](http://www.if.pw.edu.pl/~pluta/pl/dyd/mtj/zal2/CD_II_SZKOLA/I%20ZAGADNIENIA_O_GOLNE/2_A_Dmowski_odnawialne_zrodla.pdf)
- [21] Drozd Cz., Sroka Z. J. *Silniki spalinowe laboratorium*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 1998.
- [22] Dudek, S., Szlachta, Z., *Zasilanie biopaliwami silników pojazdów rolniczych*. Motrol-Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa, 2003.
- [23] Gawlik L. *Węgiel kamienny energetyczny perspektywy rozwoju w świetle priorytetów środowiskowych*. Kraków, 2011.
- [24] Gil L., Ignaciuk P., Liściak S. *Porównanie emisji związków toksycznych silnika zasilanego olejem napędowym i biopaliwami opartymi na estrach oleju lnianki i estrach oleju rzepakowego*. Postępy Nauki i Techniki, nr 11, 2011.
- [25] Górak A., Kamiński W., Tomczak E., *Biobutanol - metody wytwarzania i oczyszczania*. Proceedings of ECOpole, Vol. 4, No. 2., 2010.
- [26] Górski K., *Ocena wybranych parametrów procesu spalania w silniku AD3,152 zasilanym mieszaninami oleju napędowego z estrami metylowymi oleju rzepakowego*. Archiwum Motoryzacji, 4, s. 411-420, 2006.
- [27] Grabowska J. *Węgiel kamienny jako produkt logistyczny*. Logistyka 2, s. 579-588, 2012.
- [28] Grajek W., Leja K., Lewandowicz G., *Produkcja bioetanolu z surowców celulozowych*. Biotechnologia, 4 (87), s. 88-101, 2009.
- [29] Guzik U., Wojcieszńska D. *Energetyka jądrowa – zagłada czy zachowanie świata?* Nauka, nr 1, s. 139-153, 2010.
- [30] Halliday D., Resnick R. *Fizyka1*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2001.
- [31] Halliday D., Resnick R. Walker J. *Podstawy fizyki*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2009.
- [32] Hawłas H. J. *Energetyka jądrowa Podstawowe typy reaktorów energetycznych, szczegóły ich konstrukcji i specyfika zastosowania*. 2008,2009.
- [33] Hebda W. *Ropa naftowa i gaz ziemny na świecie – zasoby, produkcja i konsumpcja*. Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energii Polskiej Akademii Nauk, nr 87, s. 107-118, 2014.
- [34] Izdebski W., Skudlarski J., Stanisław Zajac *Wykorzystanie surowców pochodzenia rolniczego do produkcji biopaliw transportowych w Polsce*. Stowarzyszenie Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu, Roczniki Naukowe, tom XVI, z. 2, 2, 93-97, 2014.
- [35] Jackowska I., Kaczor A., Piekarski W., Starobrat P., Tys J., Zajac G. *Technologiczne i ekonomiczne uwarunkowania produkcji biopaliw z rzepaku*. Acta Agrophysica99. Lublin 2003.
- [36] Jackowska, I., Kaczor, A., Piekarski, W., Starobrat, P., Tys, J., Zajac, G., *Technologiczne i ekonomiczne uwarunkowania produkcji biopaliw z rzepaku*. Acta Agrophysica, 99, Lublin. 2003.
- [37] Janków A., Garstecki Ł., *Jakość paliw – analiza porównawcza jakości paliw dostępnych w Polsce i wybranych krajach Unii Europejskiej (Niemcy, Austria, Łotwa, Irlandia, Czechy)*. Ekspertyza wraz ze streszczeniem, Urząd Ochrony Konkurencji i Konsumentów, Warszawa, 2007.
- [38] Janusz P. *Aktualna sytuacja na rynku gazu ziemnego – perspektywy rozwoju*. Polityka

energetyczna, t. 16, z. 2, 2013.

[39] Janusz P. *Aktualna sytuacja na rynku gazu ziemnego –perspektywy rozwoju*. Polityka energetyczna, t. 16, z. 2, s. 33-51, 2013.

[40] Jeleń K., Rau Z. *Energetyka jądrowa w Polsce*. Wolters Kluwer Polska Sp. z o.o., Warszawa, 2012.

[41] Jezierski G. *Elektrownia jądrowa a konwencjonalna*. Energetyka Ciepła i Zawodowa, nr 10, 2009.

[42] Kaliski M., Nagy S., Rychlicki S., Siemek J., Szurej A. *Gaz ziemny w Polsce – wydobywanie, zużycie i import do 2030 roku*, *Górnictwo i Geologia*, t. 5, z. 3, 2010.

[43] Kaliski M., Nagy S., Rychlicki S., Siemek J., Szurlej A. *Gaz ziemny w Polsce – wydobywanie, zużycie i import do 2030 roku*. *Górnictwo i geologia*, t. 5, z. 3, s. 27-40, 2010.

[44] Kasiński J. R. *Zasoby węgla brunatnego w Polsce - stan rozpoznania i podstawowe problemy*.

[45] Kasztelewicz Z. *Zasoby węgla kamiennego w Polsce i perspektywy ich wykorzystania*. Polityka Energetyczna, t. 11, z. 1, 2008.

[46] Kasztelewicz Z., Klich J. *Zasoby i wydobywanie węgla brunatnego i kamiennego oraz ich udział w krajowym bilansie paliw i produkcji energii elektrycznej*. Wydawnictwo TBPŚ GEOSFERA, Kraków, s. 97-110, 2008.

[47] Kępińska B. *Energia geotermalna w Polsce – stan wykorzystania, perspektywy rozwoju*. Technika Poszukiwań Geologicznych Geotermia, Zrównoważony Rozwój, nr 1–2, s. 7-17, 2011.

[48] Kępińska B. *Wykorzystanie energii geotermalnej w Polsce, 2012–2013*. Technika Poszukiwań Geologicznych Geotermia, Zrównoważony Rozwój, nr 1, s. 5-23, 2013.

[49] Klimiuk E., Pawłowska M., Pokój T.: *Biopaliwa. Technologie dla zrównoważonego rozwoju*. Warszawa: PWN, s. 82, 2012.

[50] Kłosowski G., Macko D., Mikulski D. *Rozwój metod biotechnologicznych produkcji biopaliw ze źródeł odnawialnych*. *Ochrona Środowiska i Zasobów naturalnych*, nr 45, 2010.

[51] Kłosowski, G., Macko, D., Mikulski, D., *Rozwój metod biotechnologicznych produkcji biopaliw ze źródeł odnawialnych*. *Ochrona Środowiska i Zasobów naturalnych*, 45, 2010.

[52] Knothe, G., Steidley, K. R., *Kinematic viscosity of biodiesel fuel components and related compounds. Influence of compound structure and comparison to petrodiesel fuel components*. *Fuel*, 84, s. 1059–1065, 2005.

[53] Kołodziej H., Pięta H., Struś M., Vogt A. *Właściwości paliw z komponentami etylowymi do silników o zapłonie samoczynnym* *Journal of Kones*, No 3/2006.

[54] Kołodziejczyk W. *OTEC - Energia z oceanów*, *Nowoczesna Energetyka Europy Środkowo-Wschodniej*, 2015.

[55] Korban Z. *Wybrane aspekty wykorzystania energetyki wiatrowej w Polsce*. *Górnictwo i Geologia*, t. 5, z. 2, s. 79-89, 2010.

[56] Korczak A., Rduch J. *Energetyka wodna w Polsce; stan aktualny i perspektywy rozwoju*. s. 33-61 <http://wis.pol.lublin.pl/kongres3/tom3/6.pdf>

[57] Kotowicz J. *Układy gazowo-parowe zintegrowane ze zgazowaniem węgla*. *Rynek Energii*, nr 3, 2008.

[58] Kowgier H. *Energetyka jądrowa we współczesnym świecie – szanse rozwoju i zagrożenia*. *Studia i prace wydziału nauk ekonomicznych i zarządzania*, nr 36. s. 79-87.

[59] Kozakiewicz M. *Turbinowe silniki odrzutowe jedno- i dwuprzepływowe w samolotach bojowych*. *Biuletyn Wat*, vol. LIX, nr 3, 2010.

- [60] Krńka B. *Turbiny parowe ekol dla zastosowania przy kombinowanej produkcji energii elektrycznej i ciepła*.  
<http://www.powerelectric.com.pl/wp-content/uploads/2012/06/kogeneracja.pdf>
- [61] Kruczyński W., Radkowski, S., Struś M., Szewczyk K., *Wieloaspektowa analiza stosowania paliw alternatywnych w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem biopaliw*. 2006.  
<http://cms.transport.gov.pl/files/0/1791040/Wieloaspektowaanalizastosowaniapaliwalternatywnych.pdf>
- [62] Krzemień Z. *Wykorzystanie energii fal morskich do produkcji energii elektrycznej*. Prace Instytutu Elektrotechniki, z. 262, s. 119-131, 2013.
- [63] Lei, J., Shen, L., Bi, Y., Chen, H., *A novel emulsifier for ethanol–diesel blends and its effect on performance and emissions of diesel engine*. Fuel, 93, s. 305–311, 2012.
- [64] Leśniak A., Bieniecki M. *Produkcja energii w wybranych zintegrowanych układach gazowo-parowych IGCC zasilanych gazem z procesów zgazowania węgla*. Chemik, 68, 12, 1074–1085 2014.
- [65] Lewandowski W. M. *Biopaliwa. Proekologiczne odnawialne źródła energii*. Wydawnictwo WNT, Warszawa 2013.
- [66] Lik J. *Porównanie hydroenergetyki we Włoszech i w Polsce, z uwzględnieniem przyjaznych środowisku rozwiązań technologicznych i możliwości ich aplikacji w województwie łódzkim*, s. 123-134.  
[http://www.proakademia.eu/gfx/baza\\_wiedzy/212/porownanie\\_hydroenergetyki.pdf](http://www.proakademia.eu/gfx/baza_wiedzy/212/porownanie_hydroenergetyki.pdf)
- [67] Loftness R.L. *Energy Handbook*, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1983.
- [68] Lorenz U. *Skutki spalania węgla kamiennego dla środowiska przyrodniczego i możliwości ich ograniczania*. Mat. Szkoły Eksploatacji Podziemnej. Sympozja i Konferencje, Wyd. Instytutu GSMiE PAN, Kraków, nr 64. s. 97-112.
- [69] Lotko, W., *Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami węglowodorowymi i roślinnymi*. WNT. Warszawa, 1997.
- [70] Luft S. *Podstawy budowy silników*. Warszawa, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, s. 132-167, 2011.
- [71] Macuda J. *Środowiskowe aspekty produkcji gazu ziemnego z niekonwencjonalnych złóż*. Przegląd Geologiczny, vol. 58, nr 3, s. 266-270, 2010.
- [72] Magiera J., Głuszek A. *Możliwości konwersji energii słonecznej do energii cieplnej w warunkach polskich*. Czysta energia — Czyste środowisko, 2008.  
<http://kolektory.war.to/wp-content/uploads/2011/08/Konwersja-energii-s%C5%82onecznej-do-energii-cieplnej.pdf>
- [73] Matuszczyk P., Popławski T., Flaszka J. *Potencjał i możliwości energii promieniowania elektromagnetycznego Słońca*. Przegląd elektrotechniczny, r. 91, nr 1, s. 183-187, 2015.
- [74] Menezes, F. W., Silva, R., Catalana, R., Ortega, R.J .C., *Effect of ethers and ether/ethanol additives on the physicochemical properties of diesel fuel and on engine tests*. Fuel. 85, s. 815-822, 2006.
- [75] Merkisz J. *Ekologiczne problemy silników spalinowych*. Wyd. Politechniki poznańskiej. t. 2 Poznań 1999.
- [76] Merkisz, J., Kozak, M., *Wpływ składu mieszanek biopaliw z paliwami konwencjonalnymi na emisję toksycznych składników spalin*. Eksploatacja i Niezawodność, 3, 2003.
- [77] Michalak P. *Ocena zasobów energii wiatru na potrzeby małej energetyki wiatrowej*. Elektrotechnika i elektronika, t. 28, z. 1-2, s. 14-19, 2009.

- [78] Mokrzycki E. *Perspektywy wykorzystania węgla kamiennego*. Górnictwo i Geoinżynieria, r. 30, z. 3/1, 2006.
- [79] Mokrzycki E., Ney R., Siemek J. *Światowe zasoby surowców energetycznych - wnioski dla Polski*. Rynek Energii, nr 6, 2008.
- [80] Nalepa K., Miąskowski W., Pietkiewicz P., Piechocki J., Bogacz P. *Poradnik małej energetyki wiatrowej*, Olsztyn, maj 2011.
- [81] Ney R. *Zasoby ropy naftowej*. Polityka energetyczna, t. 9. Zeszyt specjalny, 2006.
- [82] Nowak W., Stach A. *Kolektory słoneczne i panele fotowoltaiczne jako źródło energii w małych instalacjach ciepłych i elektroenergetycznych*. Automatyka - Elektryka – Zakłócenia, 4, s. 55-64.
- [83] Olkusiński T. *Zasoby węgla kamiennego – najpewniejsze źródło energii*. Przegląd górniczy, 2011.
- [84] Olszowiec P. *Elektrownie pływowe nabierają mocy. Gigawaty z... arktycznych mórz*. Energia Gigawat, grudzień 2008.
- [85] Olszowiec P. *Słoneczne elektrownie ciepłe. Ujarzmianie Słońca*. Energia Gigawat, czerwiec 2004.
- [86] Orear J. *Fizyka*. Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, t. 1, Warszawa 1990, 1998.
- [87] Paska J., Sałek M., Surma T. *Wywarzanie energii elektrycznej z wykorzystaniem odnawialnych zasobów energii*. Energetyka, marzec 2005.
- [88] Peng, Ch. Y., Yang, H.H., Lan, Ch. H., Chien, S., *Effects of the biodiesel blend fuel on aldehyde emissions from diesel engine exhaust*. Atmospheric Environment, 42, s. 906–915, 2008.
- [89] Piątkowska B. *Francuska energia pływów*. Urządzenia dla Energetyki, nr 7, 2008.
- [90] Pícol, L., Lecointe, B., Starck, L., Jeuland, N., *Ethanol–biodiesel–Diesel fuel blends: Performances and emissions in conventional Diesel and advanced Low Temperature Combustions*. Fuel, 93, s. 329–338, 2012.
- [91] Piechocki J. *Wykorzystanie energii geotermalnej*. [http://www.paze.pl/pliki/wykorzystanie\\_energii\\_geotermalnej.pdf](http://www.paze.pl/pliki/wykorzystanie_energii_geotermalnej.pdf)
- [92] Piekarski W., Szyszlak J., Zajac G. *Odnawialne źródła energii jako alternatywa paliw konwencjonalnych w pojazdach samochodowych*. Inżynieria Rolnicza, 4, 2006.
- [93] Piekarski, W., Szyszlak, J., Zajac, G., *Odnawialne źródła energii jako alternatywa paliw konwencjonalnych w pojazdach samochodowych*. Inżynieria Rolnicza, 4, 2006.
- [94] Pluta Z. *Słoneczne instalacje energetyczne*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2002.
- [95] Probiez K. *Petrologia węgla w rozpoznawaniu węgla koksowych rejonu Jastrzębia*. Górnictwo i geologia. t. 7, z. 3, s. 87-117, 2012.
- [96] Przybyłka A. *Węgiel kamienny a bezpieczeństwo energetyczne*. Polski Zarządzanie i Finanse Journal of Management and Finance, Vol. 12, No. 3/1, 2014.
- [97] Roszkowski A. *Biomasa i bioenergia – bariery technologiczne i energetyczne*. Problemy Inżynierii Rolniczej, (VII-IX), z. 3(77), s. 79-100, PIR 2012.
- [98] Roszkowski A. *Perspektywy wykorzystania biomasy jako źródła paliw silnikowych*. Motrol. Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa, T. 5, s. 143-151, 2003.
- [99] Sadowski T., Świdorski G., Lewandowski W., *Wykorzystanie odnawialnych i nieodnawialnych źródeł energii w Polsce i w krajach UE*. Energetyka i ekologia, 4, s. 289-295, 2008.

- [100] Saran E. *Odnawialne źródła energii w Polsce*. Technika Poszukiwań Geologicznych Geotermia, Zrównoważony Rozwój nr 2, s. 17-28, 2013.
- [101] Smolec W. *Fototermiczna konwersja energii słonecznej*. PWN, Warszawa, 2000.
- [102] Stankiewicz D. *Możliwości wykorzystania surowców rolniczych do produkcji energii w Polsce* Studia BAS, nr 1(21), s. 237–266, 2010.
- [103] Szczypiński-Sala W. *Niektóre własności mieszanin olejów roślinnych i paliw do silników o zapłonie samoczynnym*. Mechanika. Czasopismo Techniczne, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 3M-2012.
- [104] Tajduś A., Czaja P., Kasztelewicz Z. *Rola węgla w energetyce i strategia polskiego górnictwa węgla brunatnego w i połowie XXI wieku*. Górnictwo i Geoinżynieria, r. 3, z. 3, s. 247-265, 2011.
- [105] Tajduś A., Czaja P., Kasztelewicz Z. *Stan obecny i strategia rozwoju branży węgla brunatnego w i połowie XXI wieku w Polsce*. Górnictwo i Geologia, t. 5, z. 3, 2010.
- [106] Taubmann J. *Węgiel i alternatywne źródła energii*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2011.
- [107] Trehciński R. *Odnawialne źródła energii a energetyka jądrowa: konkurencyjność czy komplementarność?* Energetyka i Ekologia, s. 725-727, 2005.
- [108] Wajand J. A., Wajand J. T. *Tłokowe silniki spalinowe średnio- i szybkoobrotowe*. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2005, s. 89-123. ISBN 8320430542.
- [109] Wasilewski A. *Światowy kryzys ekonomiczny i gaz ziemny*. Rynek Energii, nr 3, 2010.
- [110] Weber de Menezes, E., da Silva, R., Catalun, A. R., Ortega, R.J. C., *Effect of ethers and ether/ethanol additives on the physicochemical properties of diesel fuel and on engine tests*. Fuel, 85, s. 815–822, 2006.
- [111] Węgrzyk J. *Elektrownie geotermalne – alternatywa w produkcji energii elektrycznej* <http://www.plan-rozwoju.pcz.pl/dokumenty/konferencja/artykuly/35.pdf>
- [112] Węgrzyn, A., Zajac, G., *Analiza zmian parametrów pracy silnika O ZS zasilanego mieszaniną oleju napędowego i estrów etylowych oleju napędowego*. Eksploatacja i Niezawodność, 2, 2008.
- [113] Wiśniewski g., Michałowska-Knap K., Koć S. *Energetyka wiatrowa – stan aktualny i perspektywy rozwoju w Polsce*, Warszawa, sierpień 2012.
- [114] Zajac P. *Silniki pojazdów samochodowych*. Warszawa, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, s. 224-228, 2009.
- [115] Zaporowski B. *Przyszłościowe technologie wytwarzania energii elektrycznej w Polsce*. Przegląd elektrotechniczny, r. 91, nr 5, 2015.
- [116] *BP Statistical Review of World Energy*. June, s. 23, 2015.
- [117] *IEA Statistics Key coal trends. Excerpt from: Coal information*, 2015.
- [118] *Energia ze źródeł odnawialnych w 2013 r.* GUS, Warszawa, 2014.
- [119] *Wszystko o rynku ropy naftowej*, EFIX Dom Maklerski 2010.
- [120] <http://cieploziemi.pl/Odnawialne%C5%BAr%C3%B3%C5%82aenergii/Energiageotermalna.aspx?CategoryId=12>
- [121] [http://cp.gig.katowice.pl/pdf/energetyka\\_j.pdf](http://cp.gig.katowice.pl/pdf/energetyka_j.pdf)
- [122] <http://teresin.hekko.pl/Technik/Elektrownie/wytwarzanie.html>
- [123] <http://www.mae.com.pl/baza-wiedzy-odnawialne-zrodla-energii.html>
- [124] [http://mechatronika.am.szczecin.pl/download/mat\\_dyd/sem\\_V\\_tlokowe-silniki-spalinowe-i-ich-systemy-sterowania.pdf](http://mechatronika.am.szczecin.pl/download/mat_dyd/sem_V_tlokowe-silniki-spalinowe-i-ich-systemy-sterowania.pdf)
- [125] [www.energiaodnawialna.net](http://www.energiaodnawialna.net)



## 7 Spis wzorów

(1) Energia kinetyczna:

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2$$

gdzie:

m- masy ciała,

v - prędkość ciała,

(2) Zmiana energii kinetycznej ciała  $\Delta E_k$

$$\Delta E_k = E_{k \text{ końc.}} - E_{k \text{ pocz.}} = W$$

Zależność można również przedstawić następująco:

$$E_{k \text{ końc.}} = E_{k \text{ pocz.}} + W$$

(3) Zmiana grawitacyjnej energii potencjalnej:

$$\Delta E_p = - W$$

(4) Jeżeli energia kinetyczna układu zmienia się o wartość  $\Delta E_k$ , to znaczy następuje zmiana stanu układu, to energia potencjalna układu musi się zmienić o wartość równą, co do wartości bezwzględnej, lecz przeciwną co do znaku, tak że suma tych dwóch zmian jest równa zero, zgodnie z zależnością:

$$\begin{aligned} \Delta E_k + \Delta E_p &= 0 \\ E_k + E_p &= \text{const} \end{aligned}$$

(5) W wykonuje pracę nad jednym z ciał układu, zachodzi zamiana energii kinetycznej  $E_k$  ciała na energię potencjalną  $E_p$  układu. Zmiana energii kinetycznej jest wtedy równa:

$$\Delta E_k = W$$

a energii potencjalnej jest równa:

$$\Delta E_p = - W$$

Z połączenia równań otrzymuje się zależność:

$$\Delta E_k = - \Delta E_p$$

Oznacza to, że wzrost jednego z tych rodzajów energii jest dokładnie równy ubytkowi jednego z nich. Równanie można też zapisać w postaci:

$$E_{k2} - E_{k1} = - (E_{p2} - E_{p1})$$

Wskaźniki 1 i 2 odnoszą się do dwóch różnych chwil, czyli do dwóch różnych konfiguracji i składników układu. Przekształcając równanie przybiera ono postać:

$$E_{k2} + E_{p2} = E_{k1} + E_{p1}$$

(6) Zasada zachowania energii:

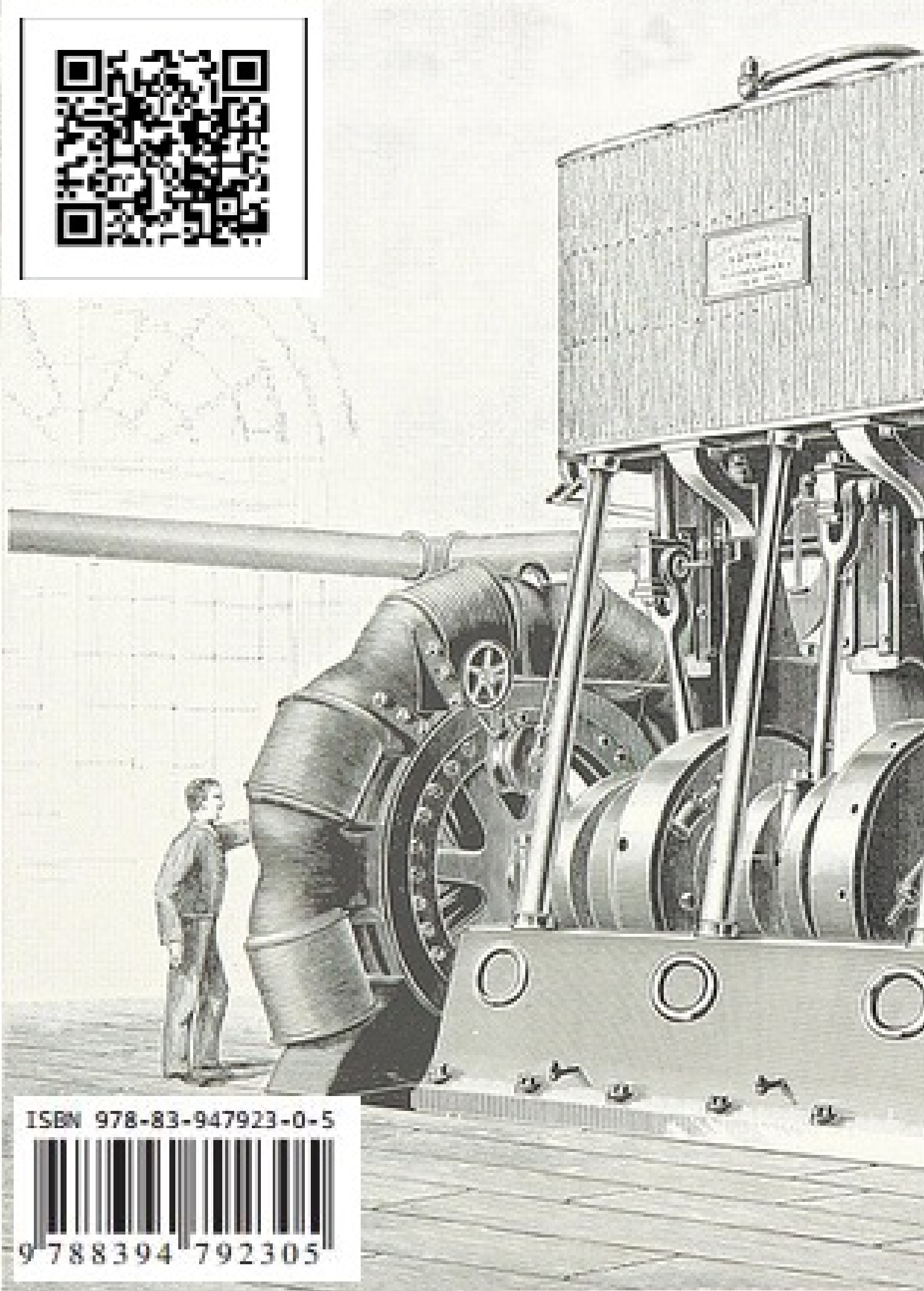
$$\Delta E_{\text{mech.}} = \Delta E_k + \Delta E_p = 0$$

(7) Stopień sprężania:

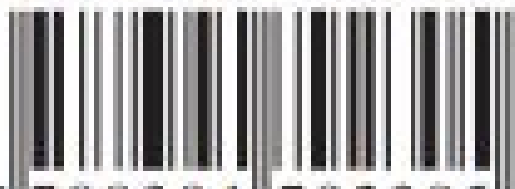
$$E = \frac{V_c}{V_k}$$

$V_c$  - objętość ponad tłokiem po ssaniu

$V_k$  - objętość ponad tłokiem po sprężaniu



ISBN 978-83-947923-0-5



9 788394 792305