

Broszura edukacyjna dla młodzieży szkolnej

# ENERGIA I ŚRODOWISKO



Instytut Zrównoważonej Energetyki



Broszura edukacyjna dla młodzieży szkolnej

# Energia i Środowisko



Instytut Zrównoważonej Energetyki

## Redakcja:

Redaktor naczelny:	Krzysztof Sornek
Redaktorzy wydania:	Kamila Rzepka, Krzysztof Sornek
Teksty i współpraca:	Katarzyna Szramowiat, Barbara Szramowiat, Monika Peplowska, Tomasz Mirowski, Łukasz Uruski
Skład i łamanie:	Redakcja
Korekta:	Redakcja
Projekt okładki:	Redakcja

Publikacja przygotowana została w ramach projektu „EKO-START: edukacja ekologiczna młodzieży szkolnej województwa małopolskiego”, realizowanego przez Instytut Zrównoważonej Energetyki we współpracy z Katedrą Zrównoważonego Rozwoju Energetycznego (Wydział Energetyki i Paliw, AGH w Krakowie), Instytutem Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią (Polska Akademia Nauk w Krakowie) oraz Studenckim Kołem Naukowym Eko-Energia.



Zadanie finansowane ze środków Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Krakowie.

Ilustracja z okładki: Betelgejze, stock.adobe.com



Wydawnictwo Instytutu Zrównoważonej Energetyki  
ul. E.W. Radzikowskiego 100B/43, 31-315 Kraków  
tel. 736 909 490, e-mail: [wydawnictwo@ize.org.pl](mailto:wydawnictwo@ize.org.pl)  
[www.ize.org.pl/wydawnictwo](http://www.ize.org.pl/wydawnictwo)

Nakład: 1 500 egzemplarzy

ISBN: 978-83-944254-3-2

Wydanie 1  
Kraków, 2017

# Spis treści

Przedmowa .....	7
Energia konwencjonalna	
Paliwa kopalne .....	8
Wytwarzania energii .....	12
Odnawialne źródła energii	
Energia promieniowania słonecznego .....	22
Energia wiatru .....	28
Energia biomasy .....	34
Energia wody .....	40
Energia geotermalna .....	46
Pompy ciepła .....	50
Energia jądrowa .....	52
Efektywność energetyczna .....	56
Środowisko	
Powietrze, gleba, woda .....	60
Jak chronić środowisko? .....	68



# Przedmowa

Drodzy Czytelnicy!

Oddajemy w Wasze ręce broszurę edukacyjną pt. „Energia i Środowisko”. Jest to małe kompendium wiedzy, które w prosty i przystępny sposób przybliży Wam zagadnienia związane z tzw. paliwami kopalnymi (węgiel kamienny, węgiel brunatny, ropa naftowa, gaz ziemny), wytwarzaniem energii w systemach energetyki konwencjonalnej, odnawialnymi i alternatywnymi źródłami energii (energia promieniowania słonecznego, energia wiatru, energia biomasy, energia wody, energia geotermalna i otoczenia, energia jądrowa), efektywnością energetyczną, a także oddziaływaniem człowieka na środowisko przyrodnicze. Mamy nadzieję, że zawarty w książce materiał nie tylko wzbogaci Waszą wiedzę, ale również stanie się przyczynkiem do podejmowania aktywnych działań na rzecz efektywnego użytkowania energii i ochrony środowiska.

Broszura „Energia i Środowisko” jest jednym z elementów projektu „EKO-START: edukacja ekologiczna młodzieży szkolnej województwa małopolskiego”, który był realizowany na terenie województwa małopolskiego w 2017 r. Pierwsza edycja projektu, poza wydaniem niniejszej broszury, obejmowała także warsztaty edukacyjne dla uczniów szkół podstawowych oraz konkursy na zbiórkę makulatury i zużytych baterii. Relacja z realizacji projektu, a także elektroniczna wersja niniejszej broszury, dostępna jest na stronie internetowej Instytutu Zrównoważonej Energetyki: [www.ize.org.pl](http://www.ize.org.pl).

Zapraszamy do lektury!

Redakcja

# Paliwa kopalne

Paliwa kopalne to jedno z najważniejszych surowców na ziemi. Uzależniona jest od nich cała światowa gospodarka. Każdy kraj wykorzystuje je na bardzo szeroką skalę: w energetyce, transporcie lądowym, morskim, w przemyśle i wreszcie w codziennym życiu. Samochody jeżdżą na benzynę czy ropę, nie wyobrażamy sobie zimy w mieście bez ogrzewania gazem czy prądem.

Paliwa kopalne to substancje powstałe ze związków organicznych w wyniku zalegania przez kilkadziesiąt lub kilkaset milionów lat pod ziemią, gdzie poddawane były wysokiemu ciśnieniu bez dostępu powietrza i uległy rozkładowi na węgiel kamienny, węgiel brunatny, ropę naftową, gaz ziemny, torf oraz klatraty metanu.

## WĘGIEL KAMIENNY

Węgiel kamienny, tak jak i pozostałe paliwa kopalne, jest pochodzenia organicznego - powstawał ze szczątków drzew i roślin. Oczywiście musiał zadziałać tutaj szereg specyficznych czynników, takich jak wysoka temperatura i ciśnienie. Pierwiastkowy węgiel otacza człowieka wszędzie - znajduje się w powietrzu, roślinach czy też w kościach. Najwięcej węgla w czystej postaci znajduje się w antracycie (97%), co czyni go najdroższą skalą na świecie.

Wartość opałowa węgla kamiennego waha się od 16,7 do 29,3 MJ/kg i silnie zależy od jego składu (zawartości popiołu, siarki, wilgotności). Zastosowanie węgla kamiennego jest bardzo szerokie. Stosuje się go głównie jako paliwo w elektrowniach, elektrociepłowniach i domowych urządzeniach grzewczych, ale ma on również zastosowanie w medycynie oraz przemyśle farmaceutycznym i chemicznym. Koks, czyli węgiel poddany procesowi koksowania (pozbawiony różnych domieszek) o bardzo wysokiej wartości energetycznej, stosuje się głównie w hutach żelaza. Smołę węglową będącą jednym z produktów koksowania



Węgiel kamienny

zużywa przemysł chemiczny - jest substancją bogatą w związki organiczne. Węgiel kamienny można również przetworzyć w procesie zgazowania - należy wtedy poddać go działaniu wysokiej temperatury i pary wodnej.

Węgiel kamienny z jednej strony jest bardzo potrzebny i szeroko wykorzystywany w obecnym świecie, z drugiej - może wyrządzić szkody w środowisku naturalnym. Podczas jego spalania wydzielają się pyły oraz trujące gazy (dwutlenki siarki i azotu, dwutlenek węgla). Dwa pierwsze związki są przyczyną powstawania tzw. kwaśnych deszczy. Niszczycielskie opady powodują zaś dewastację lasów, zabytków i metalowych części np. karoserii samochodów.



Węgiel kamienny



## WARTOŚĆ OPALOWA PALIWA

Wartość opałowa to jeden z najważniejszych parametrów paliwa. Pod tym pojęciem kryje się ilość ciepła, jaka powstaje przy spalaniu jednostki masy (1 kg) lub jednostki objętości (1 m<sup>3</sup>) danego paliwa. Wartość opałową wyraża się najczęściej w dżulach [J] lub watogodzinach [Wh]. Dla łatwiejszego posługiwania się dużymi liczbami, stosowane są przedrostki: „kilo” (k) = 1 000, „mega” (M) = 1 000 000, „giga” (G) = 1 000 000 000 itd. Przykładowo: 1 MJ = 1 000 kJ = 1 000 000 J.



## WĘGIEL BRUNATNY



Węgiel brunatny

kość na jakiej się znajduje. Oba te czynniki mają wpływ m.in. na zawartość węgla pierwiastkowego i wilgotność paliwa, a co za tym idzie - jego wartość opałową (która waha się od 7,5 do 21 MJ/kg). Zawartość węgla pierwiastkowego w przypadku węgla brunatnego jest niższa niż dla węgla kamiennego i wynosi ok. 60%-70% (resztę stanowią domieszki innych minerałów, np. piasek).

Wszystkie te właściwości wpływają na jego cenę i co za tym idzie opłacalność, dlatego też węgiel brunatny wykorzystywany jest lokalnie. Elektrownie budowane są zazwyczaj w pobliżu kopalni, a materiał dostarczany jest do nich taśmociągami lub ciężarówkami. Zdarza się, że węgiel dostarczany jest dodatkową linią kolejową. Materiał musi w krótkim czasie dotrzeć do elektrowni ponieważ jest podatny na wpływ czynników pogodowych, takich jak deszcze lub mrozy, które znacznie obniżają jego wartość opałową.

Mogłoby się wydawać, że z tego względu jest on wykorzystywany jedynie w elektrowniach i elektrociepłowniach. Tymczasem znalazł on również zastosowanie w domowych instalacjach centralnego ogrzewania. W takim przypadku węgiel brunatny musi być wcześniej podsuszony i przechowywany w odpowiednich warunkach.

Węgiel brunatny jest istotnym surowcem energetycznym między innymi dla Polski, Niemiec, Turcji czy Grecji. Podobnie jak węgiel kamienny jest pochodzenia organicznego, powstawał na terenach dawnych torfowisk, w których zalegały obumarłe rośliny. Takie torfowiska zostały przykryte kolejnymi warstwami osadów, a działające ciśnienie spowodowało przejście torfów w zbitą skałę - czyli węgiel brunatny. Węgłe te zalegają bliżej powierzchni ziemi i wydobywa się je metodami odkrywkowymi.

Węgiel brunatny od kamiennego odróżnia przede wszystkim czas powstawania i głębo-



Kopalnia węgla brunatnego, w tle elektrownia

## ROPA NAFTOWA

Ropa naftowa to ciekła kopalina, która składa się z mieszaniny naturalnych węglowodorów gazowych, ciekłych i stałych oraz domieszek związków azotowych, siarkowych i zanieczyszczeń nieorganicznych. Jest koloru ciemnobrunatnego lub czarnego (rzadziej żółtobrunatnego, czerwonego i zielonkawego), ma specyficzny ostry zapach i właściwości palne. Stanowi jeden z najważniejszych surowców energetycznych, ponadto ma też znaczenie w przemyśle chemicznym.

Proces powstawania ropy naftowej nie jest do końca wyjaśniony. Istnieją dwie teorie powstawania ropy:

- **teoria organicznego powstawania ropy naftowej** - mówi o tym, że ropa powstawała przez przeobrażenie szczątków roślinnych i zwierzęcych nagromadzonych z drobnymi okruchami mineralnymi w osadach morskich;
- **teoria nieorganicznego powstawania ropy naftowej** - opiera się ona na próbach otrzymania substancji w warunkach laboratoryjnych węglowodorów takich jak metan, etan oraz benzen.



Ropa naftowa



Rafineria

Ropa naftowa wydobywana jest z głębi ziemi z wykorzystaniem wykonywanych specjalnie w tym celu odwiertów, które mogą osiągać głębokość nawet 1 km. Do niedawna poszukiwania ropy naftowej i jej wydobycie były prowadzone głównie na lądzie. Obecnie spora część wydobycia tego surowca występuje na obszarach szelfów oceanów oraz mórz.

Co istotne, złoża ropy naftowej łączą się ze złożami gazu ziemnego. Występują one najczęściej w antyklinach, gdzie ułożenie poszczególnych warstw jest następujące: na dnie znajduje się złożo solanki, nad nim występuje ropa naftowa, a na szczycie - gaz ziemny.

Światowe zasoby ropy naftowej szacowane były na 230 mld ton. Ropę naftową wydobywa się głównie w rejonie Zatoki Perskiej, w basenie Morza Kaspijskiego, na Syberii oraz na dnie Morza Północnego. Szacuje się, że zasoby ropy naftowej występujące w basenie Zatoki Perskiej stanowią ok. 67% wszystkich rezerw tego surowca.

Ropa naftowa nie może być wykorzystana jako techniczne paliwo zaraz po wydobyciu. Dlatego też przetwarza się ją w rafineriach, gdzie surowa ropa jest poddawana procesom umożliwiającym powstanie m.in. benzyny, olei, parafiny czy asfaltu.



Szyb naftowy



Morska platforma wiertnicza

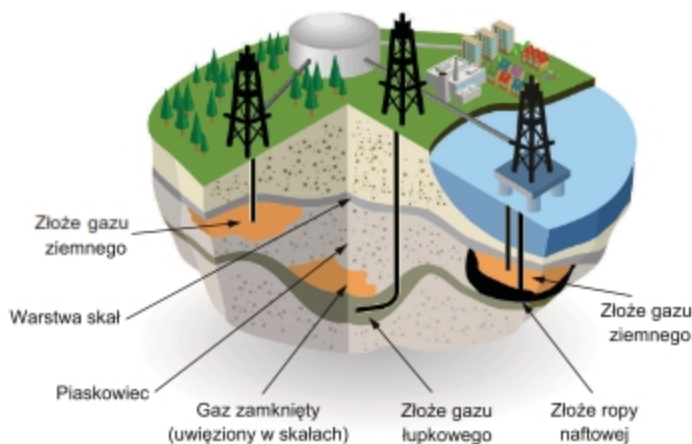


Gaz ziemny

Gaz ziemny jest surowcem mineralnym powstałym z beztlenowego rozkładu substancji organicznej zgromadzonej głęboko pod ziemią. Głównym jego składnikiem jest zawsze metan, którego obecność powoduje, iż w procesie spalania nie tworzą się pyły i nie powstają stałe odpady. Poza metanem mogą występować niewielkie ilości etanu, propanu, butanu i innych związków organicznych oraz mineralnych (skład gazu różni się w zależności od miejsca wydobycia). Wartość opałowa gazu ziemnego wysokometanowego jest nie mniejsza niż  $31 \text{ MJ/m}^3$ . Z uwagi na kolor płomienia powstającego w wyniku spalania gazu ziemnego, nazywany jest on „błękitnym paliwem”.

Zgodnie z najbardziej ogólnym kryterium podziału występowania nagromadzeń gazu ziemnego w przyrodzie, można wyróżnić gaz zawarty w skałach o dobrych parametrach porowatości i przepuszczalności oraz gaz w skałach, których wartość tych parametrów jest bardzo niska. Rozmieszczenie zasobów gazu ziemnego jest zbieżne z występowaniem ropy naftowej. Udokumentowane światowe zasoby gazu ziemnego wynoszą ok.  $150 \text{ bln m}^3$  (największe występują w rejonie Bliskiego Wschodu i w Rosji), co przy obecnym poziomie wydobycia wystarczy na ponad 65 lat. W światowym rankingu wydobycia gazu ziemnego przodują Rosja, Stany Zjednoczone oraz Kanada. W Europie największym producentem gazu jest Norwegia.

Gaz ziemny znajduje zastosowanie w różnych obszarach: zaczynając od dużych obiektów przemysłowych, a na gospodarstwach domowych kończąc. Jest on spalany pod kątem wytwarzania ciepła i energii elektrycznej. W postaci gazu ciekłego lub sprężonego, gaz ziemny wykorzystywany jest także w transporcie (jako paliwo samochodowe).



Występowanie złóż gazu ziemnego

### Gaz typu LNG, LPG, CNG

#### - co je różni?

Wszystkie powyższe skróty oznaczają gaz ziemny, różnią się jednak kalorycznością i zastosowaniem.

- LNG (Liquefied Natural Gas) - jest to gaz skroplony, składający się w 95% z metanu, który w temperaturze poniżej  $-162^\circ\text{C}$  przechodzi ze stanu lotnego w ciekły. Ze względu na swoje właściwości fizyczne oraz bezpieczeństwo podczas transportu, jest to najwygodniejsza forma handlu surowcem w oparciu o dostawy drogą morską.
- LPG (Liquefied Petroleum Gas) - jest to gaz propan-butan, stosowany jako paliwo silnikowe (znany też jako auto gaz), a także dostępny w butlach dedykowanych np. do kuchenek gazowych. Uzyskuje się go w początkowych fazach eksploatacji złóż gazu ziemnego oraz w procesie rafinacji ropy naftowej. Przejście z fazy lotnej do ciekłej odbywa się wraz ze wzrostem ciśnienia.
- CNG (Compressed Natural Gas), sprężony gaz ziemny - jest to tradycyjny sieciowy gaz ziemny, który po oczyszczeniu z wody zostaje sprężony w celu redukcji objętości. Coraz częściej znajduje zastosowanie jako paliwo do silników zarówno z zapłonem iskrowym jak i samoczynnym.

# Wytwarzania energii

Dzisiejszy świat działa na energię elektryczną. Otaczają nas urządzenia, które bez prądu funkcjonować nie mogą. To on powoduje, że w kranie płynnie woda, grzejniki pracują, a my możemy wypłacić pieniądze z bankomatu, wjechać windą czy oglądać telewizję. Energia elektryczna wytwarzana jest w specjalnych zakładach - elektrowniach i elektrociepłowniach.

Energia elektryczna, z której korzystamy każdego dnia do zasilenia szeregu różnych urządzeń w domach, miejscach pracy, czy też zakładach przemysłowych, wytwarzana jest w różnego typu elektrowniach i elektrociepłowniach. W dużym uproszczeniu można przyjąć, że elektrownia jest „fabryką”, w której energia elektryczna jest produkowana poprzez przetworzenie różnych nośników energii (np. węgla kamiennego, gazu ziemnego i ropy naftowej, ale też energii jądrowej, biomasy i innych rodzajów OZE). Wytworzona energia elektryczna przekazywana jest następnie do systemu elektroenergetycznego, a z niego pobierana jest przez odbiorców. Ze względu na zmienne obciążenie systemu elektroenergetycznego w czasie, wyróżnia się pewne charakterystyczne okresy zapotrzebowania na energię:

- obciążenie szczytowe - występuje w godzinach pracy zakładów przemysłowych,
- wieczorne obciążenie szczytowe - pracują zakłady zmianowe, a w domach i w przestrzeni publicznej włączone jest oświetlenie,
- dolina obciążenia - następuje w godzinach nocnych, kiedy moc pobierana z systemu jest najmniejsza.

Zmienne obciążenie systemu elektroenergetycznego, z uwagi na trudności z magazynowaniem energii, jest jednym z wyzwań dla energetyki zawodowej. Ilość produkowanej energii musi w każdej chwili pokrywać zapotrzebowanie, dlatego też łączna moc elektrowni powinna być większa niż maksymalne obciążenie systemu w okresach szczytowych.

## TYPY ELEKTROWNI

Elektrownie możemy sklasyfikować w pewne grupy:

- **elektrownie podstawowe** - elektrownie, w których wytwarzanie energii elektrycznej jest najtańsze, szczególnie, gdy ich moc jest wykorzystywana w pełni. Do tej grupy zalicza się nowoczesne elektrownie węglowe oraz elektrownie jądrowe.
- **elektrownie podszczytowe** - elektrownie pracujące w okresach, gdy zapotrzebowanie na energię elektryczną jest większe niż to, które są w stanie pokryć elektrownie podstawowe. Często są to starsze elektrownie węglowe o niskiej sprawności.
- **elektrownie szczytowe** - elektrownie, które włączane są do pracy w systemie elektroenergetycznym, wyłącznie w czasie trwania szczytów obciążenia. Elektrownie te to przede wszystkim elektrownie wodne zbiornikowe i szczytowo-pompowe. Główną ich cechą jest stosunkowo prosty i często zautomatyzowany rozruch oraz zatrzymanie.



Elektrownia konwencjonalna - chłodnie kominowe

## PIERWSZA ELEKTROWNIA NA ŚWIECIE



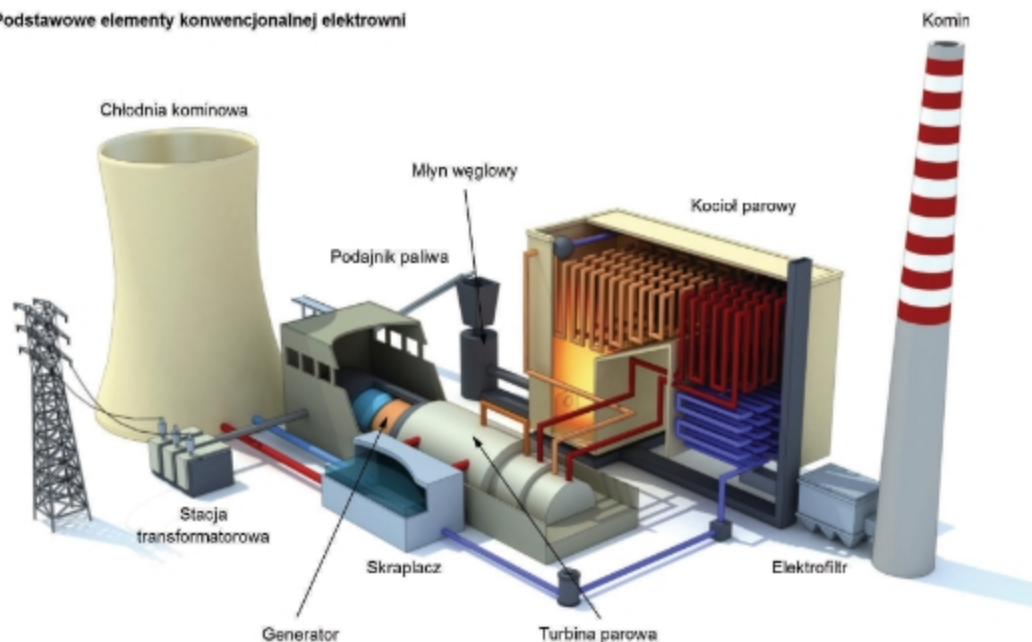
Pierwsza na świecie elektrownia opracowana została przez Thomasa A. Edisona i uruchomiona 4 września 1882 r. przy Pearl Street 257 w Nowym Jorku. Posiadała ona sześć generatorów prądu stałego, z których każdy był napędzany silnikiem parowym o mocy ok. 90 kW (125 KM). Elektrownia dostarczała odbiorcom energię elektryczną do celów oświetleniowych: pod koniec 1882 r. zaopatrywała 193 budynki, w których zainstalowanych było łącznie ponad 4000 żarówek.

## ELEKTROWNIE KONWENCJONALNE

W elektrowniach konwencjonalnych energia chemiczna zawarta w paliwie (węgiel kamienny, węgiel brunatny, olej opałowy, gaz ziemny) przetwarzana jest na energię elektryczną. Paliwo spalane jest w specjalnie do tego przystosowanych kotłach, które umożliwiają wytwarzanie pary wodnej o wysokim ciśnieniu i temperaturze. Na tym etapie energia chemiczna zostaje przekształcona w ciepło. Para wodna trafia do turbiny, gdzie wykonuje pracę mechaniczną i rozpręża się. Otrzymana w ten sposób energia mechaniczna (w postaci energii ruchu obrotowego) przetwarzana jest w generatorze (prądnicy) na energię elektryczną. Na każdym z tych etapów występują straty energii.

Do głównych sekcji wchodzących w skład elektrowni zalicza się instalację kotłową (w tym m.in. kocioł parowy, układ odprowadzania spalin, przegrzewacz), obieg wodno-parowy (turbina, skraplacz itp.) oraz elementy instalacji elektrycznej (generator, transformator, przyłącze do sieci elektroenergetycznej).

Podstawowe elementy konwencjonalnej elektrowni



Budowa typowej elektrowni konwencjonalnej

Pierwszym etapem procesu przetwarzania energii jest spalanie paliwa. Znaczną część miejsca w elektrowni zajmują kotły parowe, które współpracują z urządzeniami dostarczającymi paliwo oraz urządzeniami obiegu wodno-parowego. Kocioł parowy jest naczyniem zamkniętym, służącym do wytwarzania pary pod ciśnieniem wyższym od atmosferycznego. Wyróżnia się różne typy kotłów w zależności od typu konstrukcji i rodzaju paliwa. Kotły parowe większej mocy budowane są w dwóch zasadniczych typach konstrukcyjnych: jako **kotły opłomkowe** i **kotły płomienicowo-płomieniówkowe** (inaczej nazywane walczakowymi). W kotłach pierwszego typu woda znajduje się w rurach, opływanych przez spaliny, w drugim przypadku - spaliny przepływają przez rury (płomienice i płomieniówki) otoczone wodą. Kotły walczakowe, pomimo iż zapewniają niższe ciśnienie uzyskiwanej pary w stosunku do kotłów opłomkowych, mogą bezpiecznie i ekonomicznie spełniać większość wymagań stawianych wytwarzaniu pary w procesach przemysłowych.

### Zespoły składowe instalacji kotłowej

Instalacja kotłowa, oprócz samego kotła parowego, armatury zabezpieczającej, regulacyjnej, wskazującej i odcinającej, zawiera także dodatkowe zespoły, niezbędne dla jego pracy. Główne składniki instalacji kotłowej:

- **kocioł parowy** - źródło ciepła, służące do wytwarzania pary wodnej, zasilane węglem kamiennym, węglem brunatnym, olejem opałowym lub gazem ziemnym.
- **ekonomizer** - podgrzewacz wody zasilającej w postaci zintegrowanego lub wolnostojącego zespołu. W ekonomizerze następuje podgrzanie wody zasilającej przez spaliny i dodatkowe schłodzenie spalin.
- **zasilanie paliwem** - w przypadku kotłów węglowych paliwo jest transportowane z wykorzystaniem systemu przenośników taśmowych do zasobników węglowych. Następnie materiał jest osuszany i mielony do postaci pyłu węglowego, który za pomocą palników dostaje się do kotła wraz ze strumieniem powietrza. Powstała w ten sposób mieszanka pyłowo-powietrzna ulega spaleniom. W przypadku oleju opałowego układ zasilania paliwem obejmuje zbiorniki magazynowe oleju, instalacje napełniające, zbiorniki rozchodowe, pompy transportowe oleju, przewody oleju z armaturą i zabezpieczającą armaturą odcinającą. W przypadku opalania gazem instalacja zasilająca obejmuje główny zawór szybkooddcinający, przewody gazowe w kotłowni, przewody wentylacyjne i armaturę przedpalnikową.
- **układ odprowadzania spalin** - przewody spalin między kotłem a kominem, tłumik hałasu przepływu i komin. Spaliny, przed ujęciem do komina przechodzą przez system odpylaczy, których zadaniem jest wyłapywanie cząstek pyłów zawartych w spalinach. Najprostszym rozwiązaniem są odpylacze cyklonowe, w których cząstki pyłu pod wpływem siły odśrodkowej zatrzymują się na ściankach cylindra i dzięki grawitacji opadają w dół. Znacznie efektywniejszym rozwiązaniem jest zastosowanie elektrofiltrów - w urządzeniach tych na cząstki pyłów działa silne pole elektrostatyczne, pod którego wpływem cząstki naładowują się i są przyciągane przed elektrody, a następnie zrzucane są na dno odpylacza. Obecnie stosowane urządzenia charakteryzują się wysoką sprawnością, ale mimo to duże ilości pyłów i szkodliwych substancji wciąż dostają się do atmosfery. Dlatego też kominy elektrowni są bardzo wysokie, tak aby umożliwić rozproszenie się zanieczyszczeń na maksymalnie dużym terenie.
- **chemiczne i termiczne uzdatnianie wody** - niezbędne dla usunięcia z wody zasilającej rozpuszczonych w niej, szkodliwych dla ruchu kotła gazów, jak tlenu i dwutlenku węgla.
- **przegrzewacze** - urządzenia służące do przegrzania pary ponad temperaturę pary nasyconej, dla uzyskania tzw. pary przegrzanej (tj. pary suchej zapewniającej wysoką sprawności konwersji energii).



Kocioł gazowy

Obieg wodno-parowy w elektrowniach jest obiegiem zamkniętym. Komora spalania otoczona jest zbiornikiem wypełnionym wodą (tzw. płaszcz wodny). Ciepło powstające w wyniku spalania paliwa w kotle powoduje odparowanie wody. Powstała w ten sposób tzw. para wodna nasycona nie nadaje się do wprowadzenia do turbiny, ponieważ ulegając skropleniu negatywnie wpływałaby na trwałość łopatek. Dlatego też nasycona para wodna jest kierowana do podgrzewacza pary, gdzie zostaje silnie podgrzana przez spaliny. Wskutek silnego wzrostu temperatury bez wzrostu ciśnienia powstaje para wodna przegrzana. Para w tej postaci kierowana jest do turbiny, gdzie następuje jej rozprężenie w kanałach rozprężnych. Energia rozprężającej się pary zostaje przetworzona w energię kinetyczną, która następnie w kanałach między łopatkami wirnika przekształca się w pracę mechaniczną powodującą obracanie się wału. Wielkość łopatek turbiny dobrana jest w taki sposób, aby odebrać od pary możliwie najwięcej energii. Turbina jest połączona poprzez sztywny wał z generatorem energii elektrycznej.

W obiegach wodno-parowych elektrowni spotyka się różnego rodzaju turbiny. Jako turbiny dużej mocy często wykorzystywane są turbiny wielokadłubowe, które zawierają części o różnych poziomach ciśnienia np. wysokoprężną, średnioprężną i niskoprężną. Para wodna przechodzi przez kolejne komory turbiny, a jej całkowite rozprężenie następuje dopiero po przejściu przez wszystkie części. W tego typu obiegu mamy do czynienia z kilkukrotnym podgrzewaniem wody (przeprzewaniem pary) we wtórnym przegrzewaczu.



Turbina parowa



Turbina parowa w elektrowni ciepłej

Para wodna, która opuści turbinę trafia do skraplacza - wymiennika ciepła, w którym zostaje skroplona do postaci wody. W komorze skraplacza znajduje się duża liczba rur o małej średnicy, którymi przepływa woda chłodząca. Im niższa temperatura wody chłodzącej tym niższe ciśnienie uzyskuje się w skraplaczu, co ma wpływ na ogólną sprawność elektrowni. Jako woda chłodząca może zostać użyta woda pobierana z rzeki lub zbiorników naturalnych. W przypadku braku obfitych źródeł wody stosuje się zamknięty układ chłodzenia, gdzie woda chłodząca obniża swoją temperaturę w tzw. chłodni kominowej.

Chłodnia kominowa jest specjalnym wymiennikiem ciepła. Woda chłodząca skraplacz doprowadzana jest do chłodni kominowej, gdzie jest rozdzielana i rozdrabniana na krople za pomocą dysz



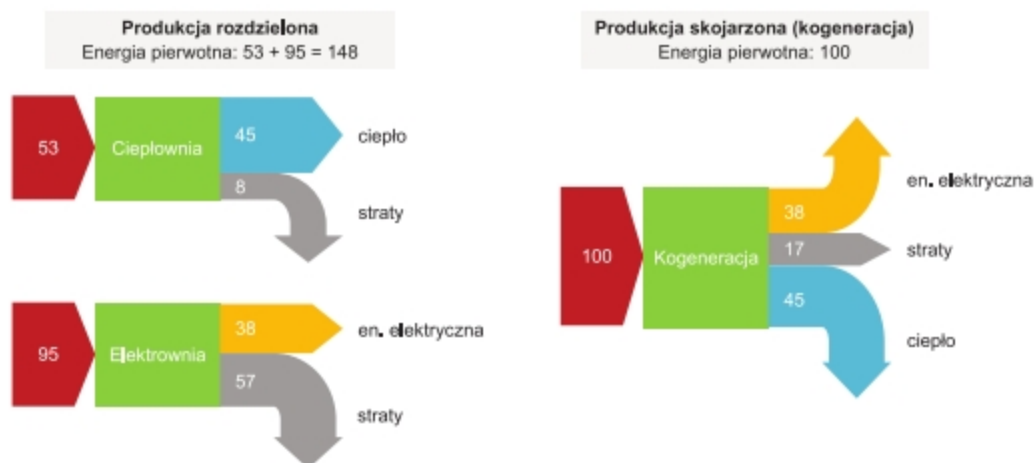
Chłodnia kominowa od wewnątrz

rozpryskowych. Wytworzony deszcz wodny spada na zraszalnik i stykając się z przepływającym powietrzem atmosferycznym oddaje mu swoje ciepło. Przepływ powietrza jest wywołany naturalnym ciągiem komina. Małe frakcje wody chłodzącej odparowują i w postaci pary wodnej unoszą się ponad chłodnię kominową. Powoduje to konieczność doprowadzania dodatkowej wody pokrywającej ubytki (np. z rzeki, jeziora lub innego zbiornika wodnego).

Para wodna wydostająca się z chłodni kominowej często mylona jest z dymem i ukazywana jako źródło skażenia środowiska.

## KOGENERACJA, TRIGENERACJA

Wytwarzanie energii elektrycznej w elektrowniach ciepłych powoduje uwalnianie do atmosfery dużych ilości ciepła. Ciepło to może być wykorzystane na potrzeby grzewcze w systemach skojarzonej produkcji ciepła i energii elektrycznej (z ang. CHP - Combined Heat and Power). Zakłady, w których realizowana jest jednoczesna produkcja ciepła i energii elektrycznej, nazywane są elektrociepłowniami. W elektrociepłowniach para wodna przegrzana po przejściu przez turbiny parowe trafia do specjalnych wymienników, w których oddaje ciepło do wody sieciowej. Woda ta jest następnie transportowana siecią ciepłowniczą (tj. specjalnymi rurociągami) do odbiorców, gdzie jest w węzłach ciepłych ogrzewa wodę krążącą w instalacjach centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej. Rozwiązanie takie pozwala znacząco zwiększyć sprawność produkcji ciepła i energii elektrycznej (ograniczenie ilości spalanego paliwa prawie o 50%).



Porównanie sprawności wytwarzania ciepła i energii elektrycznej w przypadku produkcji rozdzielonej i skojarzonej

Podstawowymi urządzeniami układów kogeneracyjnych w skali energetyki zawodowej (duże elektrociepłownie zasilające kilkanaście tysięcy odbiorców) są przede wszystkim turbiny parowe przeciwprężne lub upustowo-kondensacyjne oraz turbiny gazowe. Spotyka się także układy kombinowane, dwupaliwowe.

Skojarzone wytwarzanie ciepła i energii elektrycznej jest dużo efektywniejsze niż produkcja rozdzielona, jednak dość wysoki koszt budowy sieci ciepłowniczej ogranicza stosowanie ogrzewania scentralizowanego do obszarów gęsto zaludnionych. Dlatego też kogeneracja znajduje szczególne zastosowanie w małych jednostkach wytwórczych energetyki rozproszonej. Energia wyprodukowana w jednostkach mikro- i małej skali jest w pierwszej kolejności użytkowana na użytek własny gospodarstw, budynków przedsiębiorstw, obiektów administracji i użyteczności publicznej, a w przypadku, gdy występują jej nadwyżki, może przekazana do rozdzielczych sieci elektroenergetycznych. Wśród urządzeń stosowanych w układach kogeneracyjnych w małej energetyce rozproszonej są m.in. agregaty prądotwórcze z silnikami spalinowymi. Obecnie trwają prace nad układami wyposażonymi w silniki Stirlinga (urządzenia, które przetwarzają ciepło na energię mechaniczną bez wybuchowego procesu spalania) czy ogniwa paliwowe. Technologie te są bardzo obiecujące i w przyszłości mogą zyskać dużą popularność.

Ponadto stosuje się również układy trójgeneracyjne umożliwiające jednoczesne wytwarzanie energii elektrycznej, ciepła i chłodu. Chłód jest w takim przypadku wytwarzany np. z wykorzystaniem chłodziarek absorpcyjnych, w których „siłą napędową” jest gorący czynnik opuszczający turbinę. Rozwiązanie takie pozwala uniknąć stosowania dodatkowych klimatyzatorów do zapewnienia komfortu termicznego budynków w okresie letnim. Z drugiej strony, tzw. woda lodowa (woda ochłodzona w chłodziarce) może być wykorzystywana także na inne cele - wszędzie tam, gdzie konieczne jest zapewnienie niskiej temperatury.



W dzisiejszych czasach dostęp do energii elektrycznej w wielu miejscach świata, w tym w Polsce, jest powszechny i właściwie nieograniczony. Sytuacja taka wymaga korzystania ze sprawnego i rozbudowanego układu urządzeń, które składają się na Krajowy System Elektroenergetyczny. Podmioty te stanowią odrębne jednostki podlegające oddzielnym instytucjom i regulacjom. Podsystemy te tworzą:

- podsystem wytwórczy - wszystkie źródła wytwórcze na terenie kraju,
- sieć przesyłowa - składa się z linii najwyższych napięć (NN) o napięciu 200kV i 400kV oraz stacji energetycznych najwyższych napięć,
- sieć dystrybucyjna - dostarcza energię elektryczną od odbiorców za pomocą linii energetycznych o napięciu 110 kV i niższym oraz stacji energetycznych wysokiego i średniego napięcia.

Energia dostarczana do naszych gniazdek wytwarzana jest w elektrowniach i elektrociepłowniach. W Polsce są to głównie zakłady ciepłe opalane węglem kamiennym lub brunatnym. Przesył energii z elektrowni do odbiorców możliwy jest dzięki sieci linii i stacji elektroenergetycznych. Wiąże się to jednak ze stratami, które ograniczane są poprzez podwyższanie napięcia przesyłanego za pomocą linii elektroenergetycznych. W zależności od tego, na jakie odległości energia elektryczna jest przesyłana, stosowane są różne wartości napięć:

- od 220 do 400 kV (tzw. sieć najwyższych napięć) - napięcie to stosowane jest w przypadku przesyłania energii elektrycznej na duże odległości,
- 110 kV (tzw. sieć wysokich napięć) - napięcie to stosowane jest w przypadku przesyłania do kilkudziesięciu kilometrów,
- do 10 do 30 kV (tzw. sieć średnich napięć) - napięcie to stosowane jest w lokalnych liniach rozdzielczych.

Podnoszenie napięcia dla celów przesyłowych, a następnie obniżanie go do poziomu przystosowanego do zasilania urządzeń elektrycznych powszechnego użytku (tj. 230 V), wymaga korzystania ze stacji elektroenergetycznych najwyższych napięć, stacji rozdzielczych wysokiego napięcia oraz systemu stacji transformatorowych, zmieniających średnie napięcie (rozdzielcze) na napięcie stosowane w instalacjach odbiorczych. Wszystkie te składniki (linie i stacje elektroenergetyczne) składają się na system elektroenergetyczny.

Ze względu na brak możliwości zmagazynowania dużych ilości energii elektrycznej, ilość energii wytwarzanej w elektrowniach musi być bliska energii zużywanej przez odbiorców, a sam system elektroenergetyczny musi być zdolny do zmiany ilości i kierunków przesyłanej energii. Jest to możliwe dzięki licznym połączeniom pomiędzy elektrowniami, stacjami elektroenergetycznymi oraz grupami odbiorców energii. Połączenia takie zapewnia sieć linii elektroenergetycznych, które pracują na różnych poziomach napięć.



Sieć przesyłowa

## WPLYW ELEKTROWNI NA ŚRODOWISKO

Elektrownie konwencjonalne do produkcji energii elektrycznej wykorzystują trzy rodzaje paliw: paliwa stałe (węgiel kamienny, węgiel brunatny, torf), ciekłe (ropa naftowa, lekki olej opałowy, olej Diesla, benzyna), gazowe (gaz ziemny).

Paliwa kopalne odgrywały i nadal odgrywają dominującą rolę w bilansie energetycznym Polski i świata. Przetwarzanie paliw kopalnych na energię elektryczną ma zarówno pozytywne jak i negatywne aspekty.

Elektrownie oddziałują na powietrze atmosferyczne, glebę, wodę, a w konsekwencji - na rośliny, zwierzęta i ludzi. Do produkcji energii elektrycznej ze środowiska pobierane są paliwa, powietrze i woda, natomiast do środowiska oddawane są: ciepło, energia elektryczna, spaliny, hałas, zapylenie, ścieki i para wodna.

### Wpływ elektrowni na powietrze atmosferyczne

Podczas procesu spalania paliw kopalnych do atmosfery przedostają się spaliny, których skład zależy od temperatury, sposobu prowadzenia procesu spalania, ilości powietrza w stosunku do ilości paliwa oraz jakości surowca.

- **dwutlenek węgla** - pomimo, iż dwutlenek węgla jest niezbędny w wielu procesach np. w fotosyntezie, potęguje jednocześnie efekt cieplarniany.
- **tlenek węgla** - potocznie nazywany czadem, jest to gaz silnie toksyczny, powstający przy niedobrze tleny podczas procesu spalania. Zbyt wysokie jego stężenie może doprowadzić do zatrucia i śmierci.
- **tlenki siarki** - ilość tlenków siarki w spalinach jest proporcjonalna do ilości siarki w paliwie. Dwutlenek siarki ( $\text{SO}_2$ ) to gaz o charakterystycznym duszącym zapachu. Przekroczenie dopuszczalnych norm może powodować podrażnienie dróg oddechowych u ludzi i obumieranie liści u roślin. Trójtlenek siarki ( $\text{SO}_3$ ) wraz z ozonem tworzy związek chemiczny, który przyczynia się do powstawania kwaśnych deszczy.
- **tlenki azotu** - podczas spalania paliw kopalnych powstają trzy rodzaje tlenków azotu w trzech różnych mechanizmach: tlenki termiczne, tlenki paliwowe, tlenki szybkie. Tlenki azotu mają działanie drażniące na układ oddechowy, przyczyniają się do powstawania smogu oraz ograniczają widoczność.
- **pyły** - podczas procesu spalania powstają duże ilości pyłów. Pyły zawierają oprócz sadzy także metale ciężkie, które mają rakotwórcze działanie na organizm człowieka. Wysoka zawartość pyłów w powietrzu przyczynia się do powstawania smogu.
- **związki organiczne** - w wyniku spalania powstają dwa rodzaje węglowodorów:
  - \* alifatyczne - obojętne dla środowiska i człowieka,
  - \* aromatyczne - o negatywnym wpływie na zdrowie człowieka, mogą podrażniać błony śluzowe oraz prowadzić do uczuleń.

### Oddziaływanie elektrowni na wodę

Elektrownia oddziałuje na pobliskie wody poprzez:

- zmniejszenie zasobów wodnych regionu,
- zmiany we właściwościach fizykochemicznych wód,
- zwiększenie zanieczyszczenia wód powierzchniowych poprzez odprowadzenie ścieków z elektrowni.

### Oddziaływanie elektrowni na glebę

Obecność w powietrzu zanieczyszczeń nierozdzielnie wpływa na proces degradacji gleb - zakwaszenie oraz akumulację substancji trujących dla roślin.



Aby ograniczyć negatywny wpływ procesu spalania paliw kopalnych na środowisko naturalne należy uwzględnić cały ciąg procesów zachodzących w elektrowniach i elektrociepłowniach, zaczynając od doboru paliwa odpowiedniej jakości a kończąc na metodach kontroli emisji spalin.

Czyste technologie węglowe to ogólna nazwa procesów i sposobów wykorzystania węgla mających na celu minimalizację negatywnego wpływu produktów spalania na środowisko. Wyróżnia się cztery główne obszary:

- wydobycie węgla i mechaniczna przeróbka węgla,
- transport i składowanie,
- wykorzystanie i przetwarzanie węgla,
- zagospodarowanie i wykorzystanie odpadów.

### Wydobycie węgla i mechaniczna przeróbka węgla

Pod hasłem „wydobycia i mechanicznej przeróbki węgla” kryje się szereg działań mających na celu zwiększenie czystości eksploatacji węgla. Przeróbka węgla wraz z procesami wzbogacania służy uzyskaniu wysokiej jakości paliw, pozbawionych zanieczyszczeń naturalnych. Najskuteczniejszymi metodami wzbogacania i demineralizacji węgla są tzn. metody „głębokie”, które bazują na dużym rozdrobieniu oczyszczonego surowca. Wyróżniamy tutaj następujące procesy: flotację, aglomerację olejową czy elektroseparator. Szacuje się, że oczyszczenie węgla w procesie produkcji może dać 3% poprawę sprawności konwersji energii chemicznej paliwa na energię elektryczną i ciepło.

### Transport i składowanie

Czyste technologie węgle w zakresie składowania wiążą się z eliminacją zjawiska pylenia, które oprócz aspektu ekologicznego wiąże się również z aspektem ekonomicznym - stratami w paliwie. Rozwiązaniem tego problemu jest zastosowanie preparatów, które powodują utrwalanie powierzchni węgla w środku transportu, co znacznie ogranicza jego pylenie. Ze względu na koszty transportu uzasadniona jest produkcja węgla o wysokiej kaloryczności, pozbawionego niepalnych zanieczyszczeń mineralnych oraz wilgotności. Koszty transportu są wówczas najmniejsze.

### Wykorzystanie i przetwarzanie węgla

Obecnie największy rozwój obserwujemy w obszarze przetwarzania węgla, zwłaszcza w odniesieniu do redukcji emisji. Rozwiązania w tym obszarze można podzielić na:

- technologie oczyszczania spalin, w tym odsiarczanie przy użyciu sorbentów, selektywną redukcję katalityczną, usuwanie CO<sub>2</sub> metodami chemicznymi i fizycznymi oraz sekwestrację CO<sub>2</sub> w złożach geologicznych.
- spalanie w nadkrytycznych i ultra-nadkrytycznych siłowniach z kotłami pyłowymi oraz w siłowniach z atmosferycznymi, cyrkulacyjnymi kotłami fluidalnymi, w tym kotłami na parametry nadkrytyczne.
- zgazowanie w wysokosprawnych układach zgazowania węgla, biomasy i odpadów oraz zgazowanie podziemne.

### Zagospodarowanie odpadów z produkcji węgla i energetyki

Pozostałościami z produkcji węgla są głównie odpady z przeróbki mechanicznej i odpady z robót przygotowawczych. Odpady górnicze można zagospodarować poprzez gospodarcze wykorzystanie istniejących hald pod kątem odzysku zawartego w nich węgla do produkcji kruszyw oraz wykorzystanie odpadów do rekultywacji oraz prac inżyniersko-technicznych.



Elektrownia węglowa wraz z jej otoczeniem

## ELEKTROWNIE KONWENCJONALNE NA ŚWIECIE

Więcej niż połowa produkcji energii elektrycznej na świecie pochodzi z elektrowni ciepłych przetwarzających przede wszystkim kamienny i brunatny, ropę naftową i gaz ziemny. Wśród największych elektrowni węglowych przeważają siłownie zlokalizowane w Azji, w tym przede wszystkim w Chinach. Największa jednostka działa jednak na Tajwanie - jest to elektrownia Taichung Power Plant.



Taichung Power Plant

### Taichung Power Plant, Tajwan

Elektrownia w Taichung składa się łącznie z 14 bloków, z których dziesięć opalanych jest węglem kamiennym (każdy z tych bloków posiada moc 550 MW), a cztery - gazem ziemnym (każdy z tych bloków posiada moc 70 MW). Na liście największych światowych elektrowni bez względu na rodzaj paliwa, elektrownia Taichung Power Plant zajmuje 15 miejsce. Sprawność wytwarzania energii elektrycznej wynosi ok. 44% i jest wyższa w porównaniu do tradycyjnych siłowni węglowych. Roczna produkcja energii elektrycznej na poziomie ok. 40 TWh pozwala na zaspokojenie potrzeb energetycznych Tajlandii w 20%.

W pierwszej dziesiątce największych elektrowni węglowych na świecie dominują obiekty chińskie. Poza nimi, na dziewiątym miejscu, znalazła się Mundra Thermal Power Station z Indii (o mocy zainstalowanej równej 4620 MW), a brązowy medal zdobyła polska elektrownia w Bełchatowie, która posiada moc znamionową na poziomie 5354 MW. Bełchatów to równocześnie największa elektrownia na świecie wykorzystująca węgiel brunatny.

### Elektrownie Al Qurayyah i Al-Shuaibah, Arabia Saudyjska

Wśród 20. największych elektrowni na świecie znajdują się dwie elektrownie z Arabii Saudyjskiej: Al Qurayyah o mocy zainstalowanej 5646 MW oraz Al-Shuaibah o mocy zainstalowanej 5600 MW. Oba obiekty jako paliwo wykorzystują ropę naftową. Arabia Saudyjska jest jednym z dwóch największych producentów ropy naftowej na świecie, dlatego też zaopatrzenie w ten surowiec nie jest problemem.

Ciekawym obiektem jest szczególnie elektrownia Al-Shuaibah, która położona jest w sąsiedztwie Dżuddy - liczącego 3,4 mln mieszkańców miasta, będącego głównym portem przyjmującym statki z pielgrzymami udającymi się do Mekki. Większość energii zużywana jest w bezpośrednim sąsiedztwie elektrowni. Elektrownia powstała aby produkować energię wykorzystywaną do procesów odsalania wody morskich.



Elektrownia Surgut

### Elektrownia Surgut-2, Rosja

Elektrownia Surgut-2 to największa na świecie elektrownia gazowa, której moc zainstalowana wynosi 5590 MW. Obiekt rozpoczął swoją działalność w 1972 r. i wyposażony był w sześć bloków spalających LPG. W 2011 r. obiekt został rozbudowany o dwa nowe bloki opalane gazem ziemnym i charakteryzujące się sprawnością na poziomie 56%.

Pierwsze siłownie parowe w Polsce powstały w XIX w. Dostarczały one energię elektryczną głównie dla obiektów przemysłowych - zakładów włókienniczych, hut i kopalni. Pierwsza elektrownia miejska powstała w Radomiu w 1900 r., następna - w 1902 r. w Warszawie. Gwałtowny rozwój elektroenergetyki nastąpił dopiero po II wojnie światowej i oparty był na wykorzystaniu krajowych zasobów węgla kamiennego i brunatnego.

Aktualnie w Polsce działa 55 ciepłych elektrowni zawodowych, które wytwarzają 90% energii w naszym kraju. Elektrownie opalane węglem brunatnym (w tym elektrownia Bełchatów, Zespół Elektrowni Pątnów-Adamów-Konin, elektrownia Turów) zlokalizowane są w pobliżu kopalni odkrywkowych, natomiast elektrownie opalane węglem kamiennym (w tym elektrownia Połaniec, Dolna Odra, Kozienice) znajdują się w pobliżu dużych rzek.

### Elektrownia Bełchatów

Elektrownia Bełchatów jest największą na świecie elektrownią opalaną węglem brunatnym, a jednocześnie największym emitentem dwutlenku węgla w Polsce. W elektrowni Bełchatów eksploatowanych jest 13 bloków energetycznych zlokalizowanych w dwóch budynkach kotłowni i maszynowni. Moc zainstalowana elektrowni wynosi 5472 MW, a roczna produkcja energii elektrycznej jest równa ok. 27-28 TWh. Wartość ta stanowi ok. 20% całkowitej produkcji energii elektrycznej w Polsce.

W 2011 r. uruchomiony został nowy blok energetyczny nr 14, którego moc znamionowa wynosi 858 MW. Blok wyróżnia się brakiem kominów - spaliny kierowane są po oczyszczeniu w instalacji odsiarczania do chłodni kominowej.

W 2015 r. Elektrownia Bełchatów była obiektem budowlanym emitującym najwięcej w Unii Europejskiej dwutlenku węgla (37 mln ton).



Elektrownia Bełchatów

### Elektrownia Kozienice

Elektrownia Kozienice jest drugą co do wielkości elektrownią węglową w Polsce oraz największą wśród elektrowni opalanych węglem kamiennym. Jest to zawodowa elektrownia systemowa, blokowa, kondensacyjna z otwartym układem chłodzenia skraplaczy z wykorzystaniem wód Wisły. Moc elektryczna elektrowni wynosi 2905 MW, a moc cieplna - 266 MW.



Elektrownia Kozienice

### Elektrownia Połaniec

Elektrownia Połaniec posiada moc elektryczną 1882 MW. Składa się z siedmiu bloków energetycznych opalanych węglem kamiennym przy współspalaniu biomasy oraz „Zielonego Bloku” o mocy 225 MW, opalanego w 100% biomasą. Produkuje rocznie około 8,4 TWh energii elektrycznej. Jest jednocześnie jednym z największych polskich producentów energii odnawialnej (tzw. „zielonej” energii), dzięki instalacji współspalania biomasy z węglem kamiennym.



Elektrownia Połaniec

# Energia promieniowania słonecznego

Energia promieniowania słonecznego jest podstawowym źródłem energii na Ziemi. Ilość energii, jaka w skali roku dociera do powierzchni naszej planety, jest 5000 razy większa niż roczne potrzeby energetyczne ludzkości całego świata. Dlatego też energia słoneczna jest coraz bardziej popularnym źródłem alternatywnym dla energii konwencjonalnej.

Energia promieniowania słonecznego jest wykorzystywana przez człowieka bezpośrednio do produkcji ciepła i energii elektrycznej. Jednak rola, jaką odgrywa promieniowanie słoneczne docierające do powierzchni Ziemi, jest znacznie większa. Jest ono wykorzystywane do produkcji tlenu przez rośliny (w procesie fotosyntezy), które następnie tworzą rezerwy biomasy. Sięgając myślą miliony lat wstecz można stwierdzić, że również energia paliw kopalnych, stanowiących obecnie główny surowiec energetyczny, pochodzi od Słońca - została ona uwięziona w biomasie, a następnie uległa przekształceniu w procesach biochemicznych i fizykochemicznych w węgiel, ropę naftową i gaz ziemny. Energia wiatru i fal morskich także powstaje dzięki promieniowaniu słonecznemu.

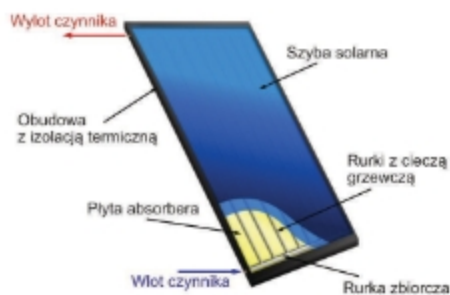
## HISTORIA WYKORZYSTANIA ENERGII SŁOŃCA

Ludzie właściwie od zawsze wykorzystywali energię promieniowania słonecznego. Jej pierwotne zastosowanie to suszenie ubrań i produktów żywnościowych oraz rozniecanie ognia. Starożytni Grecy wykorzystywali do tego ostatniego celu wypełnione wodą szklane kule, skupiające promienie słoneczne (pierwotny wzór znanych dzisiaj soczewek skupiających). Z czasem energię Słońca rozpoczęto wykorzystywać do produkcji ciepła. Prototyp kolektora słonecznego używanego do podgrzewania wody powstał już w 1896 roku. Jego twórcą był Clarence Kemp z Baltimore. Zaprojektował on urządzenie złożone z drewnianej skrzyni, w której znajdował się pomalowany na czarno zbiornik. Już rok później w miejscowości Pasadena niedaleko Los Angeles z wykorzystaniem energii promieniowania słonecznego ogrzewano 30% domów. Znacznie później zaczęto wykorzystywać energię promieniowania słonecznego do produkcji energii elektrycznej. Choć efekt fotowoltaiczny, umożliwiający produkcję prądu bezpośrednio z promieniowania słonecznego został zaobserwowany już w XIX w., na szeroką skalę wykorzystano go dopiero w połowie XX w., w amerykańskich satelitach i statkach kosmicznych.

## KOLEKTORY SŁONECZNE

Kolektor słoneczny jest urządzeniem, w którym energia promieniowania słonecznego jest przekształcana bezpośrednio w ciepło - proces ten nazywamy **konwersją fototermiczną**.

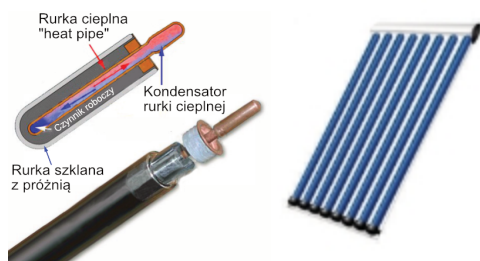
Najbardziej popularnie stosowane są obecnie cieczowe **kolektory płaskie**. Promienie słoneczne przenikają przez szybę solarną i ogrzewają powierzchnię absorbera. Następnie ciepło przekazywane jest do przepływającej przez rurki miedziane cieczy solarnej (w warunkach polskich jest to roztwór wodny glikolu, który - w przeciwieństwie do wody - nie zamarza w okresie zimowym).



Budowa płaskiego kolektora słonecznego

## CO TO JEST PROMIENIOWANIE SŁONECZNE?

Promieniowanie słoneczne to równomierny strumień energii wysyłany przez Słońce. Do zewnętrznej atmosfery Ziemi dociera promieniowanie o mocy  $1,39 \text{ kW/m}^2$ . Wielkość tę określa się mianem stałej słonecznej. W atmosferze promieniowanie słoneczne zostaje osłabione w wyniku rozproszenia, odbicia i absorpcji na cząsteczkach pyłów i gazów. W efekcie rozkłada się ono na promieniowanie bezpośrednie i rozproszone. To właśnie te dwa rodzaje promieniowania słonecznego mogą zostać wykorzystane na potrzeby produkcji ciepła i energii elektrycznej.



Budowa rurowo-próżniowego kolektora słonecznego

Innym popularnym typem kolektorów słonecznych są kolektory rurowo-próżniowe, które charakteryzują się budową segmentową. Każdy z segmentów składa się z dwóch koncentrycznych rur (rura w rurze) pomiędzy którymi występuje próżnia. Rurka wewnętrzna pokryta jest warstwą silnie absorbującą energię słoneczną. Wyróżniamy kolektory z bezpośrednim przepływem cieczy solarnej (w przypadku których roztwór wodny glikolu ogrzewa się przepływając bezpośrednio przez rurki absorbera) oraz kolektory z rurką ciepłą typu heat pipe (w przypadku których w zamkniętej szczelnie rurce

wewnętrznej znajduje się czynnik niskowrzący odparowujący pod wpływem dostarczonego ciepła i skraplający się w kontakcie z roztworem wodnym glikolu).

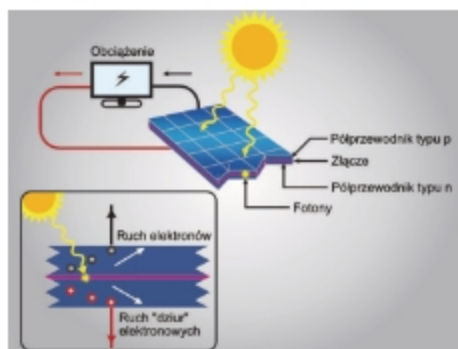
Kolektory słoneczne najczęściej montowane są na dachach, ale mogą być instalowane również na ścianach lub na specjalnych stelażach obok budynków. Stosowane są m.in. do podgrzewania wody w domach, gospodarstwach rolnych i innych obiektach, a także do ogrzewania wody w basenach. W niektórych przypadkach znajdują zastosowanie również do wspomaganie ogrzewania pomieszczeń. Optymalny sposób usytuowania kolektorów to skierowanie ich na południe i nachylenie pod kątem  $30\text{--}45^\circ$  względem poziomu.

## MODUŁY FOTOWOLTAICZNE

W modułach fotowoltaicznych następuje bezpośrednia zamiana energii promieniowania słonecznego na energię elektryczną (jest to tzw. konwersja fotowoltaiczna).

Do produkcji ogniw fotowoltaicznych najczęściej stosowany jest krzem monokrystaliczny lub polikrystaliczny (są to tzw. ogniwa I generacji). Zbudowane są one ze złącza półprzewodnikowego powstałego poprzez połączenie dwóch rodzajów półprzewodników typu n i p. Gdy na połączenie dwóch takich półprzewodników pada promieniowanie słoneczne to fotony o odpowiednio dużej energii powodują przejście elektronów z obszaru typu p do obszaru typu n wskutek czego powstaje różnica potencjałów (energia elektryczna). Sprawność tego typu ogniw wynosi  $14\text{--}22\%$ .

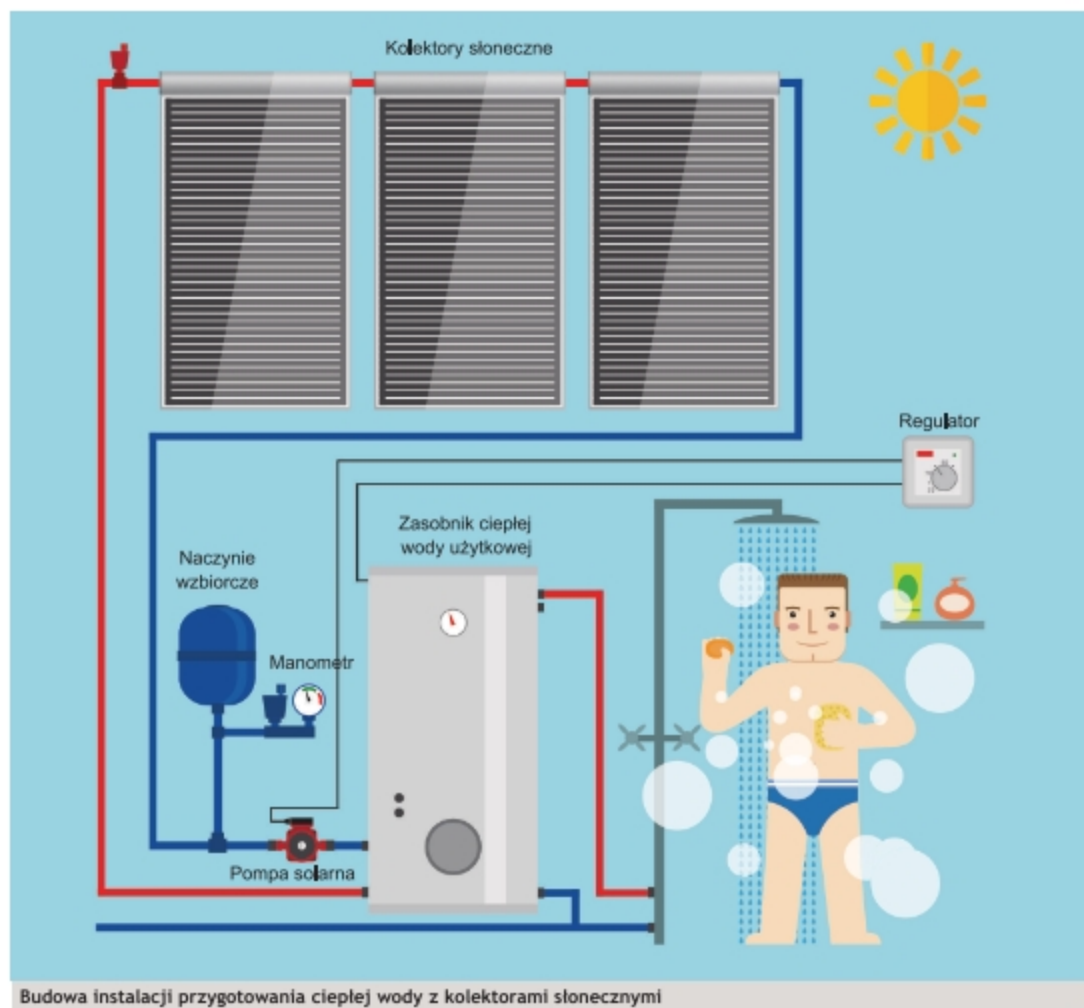
Ogniwa nowszych generacji wykonywane są z krzemu amorficznego i innych materiałów półprzewodnikowych, a także polimerów. Charakteryzują się one mniejszą sprawnością, jednak są tańsze w produkcji od typowych ogniw krzemowych.



Zasada działania modułu fotowoltaicznego

## INSTALACJA SŁONECZNA Z KOLEKTORAMI SŁONECZNYMI

Typowa instalacja słoneczna, służąca do przygotowania ciepłej wody użytkowej, składa się z kolektorów słonecznych płaskich lub próżniowych, zasobnika ciepłej wody użytkowej (wyposażonego w jedną lub dwie wężownice grzewcze), pompy obiegowej wymuszającej przepływ roztworu wodnego glikolu, regulatora sterującego pracą pompy, zespołu bezpieczeństwa zabezpieczającego przez wzrostem objętości cieczy wskutek jej nagrzania, armatury, rur oraz innych niezbędnych elementów (zawory, urządzenia pomiarowe itp.). Ilość kolektorów dobierana jest w zależności od ilości osób, lokalnego nasłonecznienia, usytuowania instalacji i innych czynników wpływających na wielkość zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową. Ogrzany w kolektorach słonecznych roztwór wodny glikolu przepływa przez wężownicę zasobnika ciepłej wody użytkowej i oddaje ciepło do wody, która jest następnie użytkowana w kuchni, łazience itp. Ze względu na ograniczony dostęp energii promieniowania słonecznego w czasie złej pogody oraz w okresie przejściowym i zimowym, jako dodatkowe źródło ciepła stosuje się grzałkę elektryczną (umieszczoną bezpośrednio w zasobniku) lub kocioł gazowy kondensacyjny (gorąca woda z kotła gazowego przepływa w takim przypadku przez drugą z wężownic grzewczych). W warunkach polskich typowa instalacja słoneczna z kolektorami słonecznymi może zapewnić 40-70% rocznego zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową. Może także wspomagać pracę instalacji centralnego ogrzewania, jednak w naszym klimacie tego typu rozwiązania są stosowane zdecydowanie rzadziej.

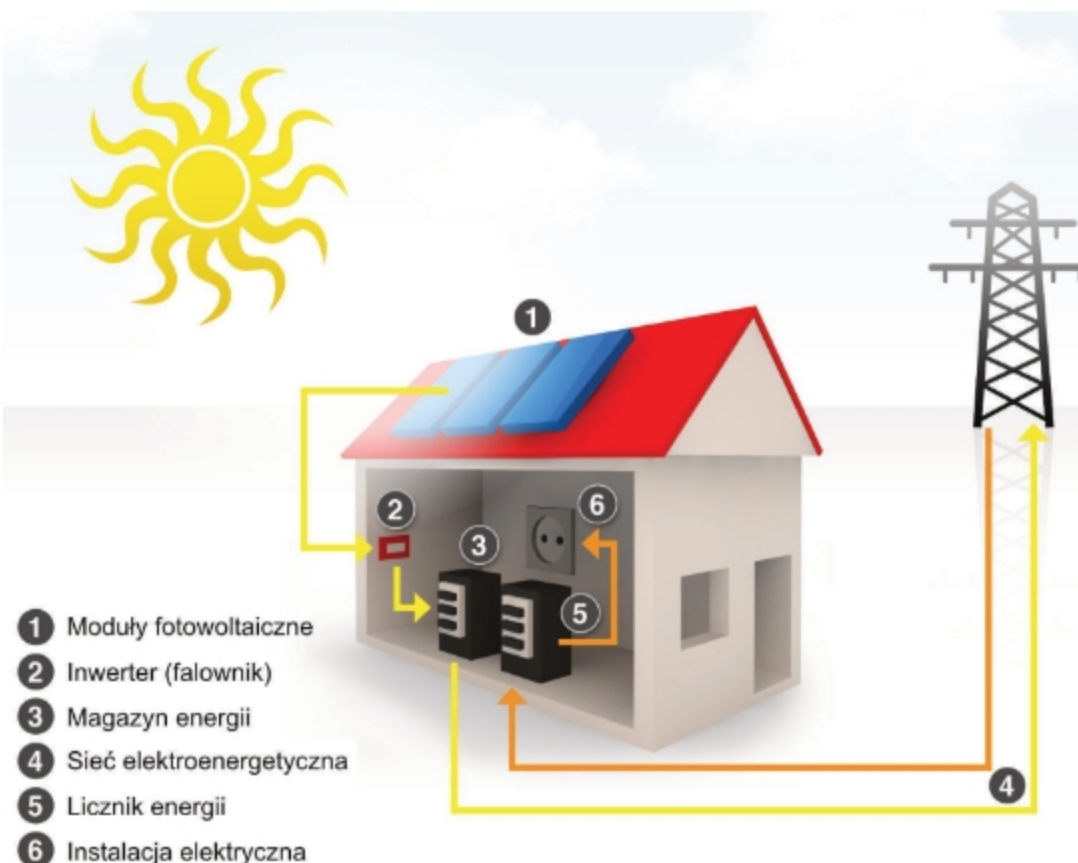


Budowa instalacji przygotowania ciepłej wody z kolektorami słonecznymi



## INSTALACJA SŁONECZNA Z MODUŁAMI FOTOWOLTAICZNYMI

Podstawowymi elementami instalacji fotowoltaicznej są **moduły fotowoltaiczne**, **inwerter** (popularnie nazywany falownikiem), **akumulatory** magazynujące energię elektryczną, **regulator ładowania**, przewody oraz inne akcesoria. W przypadku modułów fotowoltaicznych mamy do czynienia z napięciem i prądem stałym (ich wartość zależy od chwilowej wartości natężenia promieniowania słonecznego i sprawności modułu). Dla uzyskania odpowiednich wartości prądu i napięcia, moduły fotowoltaiczne łączy się ze sobą szeregowo i równoległe. Aby móc wykorzystać energię wytworzoną przez moduły fotowoltaiczne w urządzeniach domowych konieczny jest inwerter, który zamienia prąd stały na przemienny. Przetwarzanie prądu stałego na zmienny to tylko jedno z zadań falownika. W swej budowie zawiera on również układ śledzenia mocy maksymalnej - urządzenie elektroniczne, które w zależności od następczenia zmienia prąd oraz napięcie modułów tak, aby uzyskać jak najwyższą moc w danych warunkach. W przypadku nadmiaru produkowanej energii magazynuje się ją w specjalnych akumulatorach (wyposażonych w regulator zapewniający odpowiednie parametry ładowania) lub oddaje do sieci elektroenergetycznej (w przypadku systemów typu on-grid, tj. instalacji posiadających przyłączenie do sieci). Innym typem systemów fotowoltaicznych są instalacje nie posiadające połączenia z siecią elektroenergetyczną (systemy typu off-grid) - w zależności od wielkości mogą one zasilać np. budynki lub ich części, oświetlenie znaków drogowych, jak również inne obiekty.



## ELEKTROWNIE SŁONECZNE

Poza małymi instalacjami stosowanymi w budynkach mieszkalnych, istnieją także duże systemy słoneczne, które zapewniają wytwarzanie ciepła lub energii elektrycznej na większą skalę. W tym drugim przypadku, działanie elektrowni słonecznych opiera się na jednej z dwóch metod:

- **metoda helioelektryczna** - polega na zastosowaniu dużej ilości modułów fotowoltaicznych, w których następuje bezpośrednia konwersja energii promieniowania słonecznego na energię elektryczną,
- **metoda heliologiczna** - polega na przemianie energii promieniowania słonecznego w ciepło, które doprowadzane jest do specjalnej turbiny napędzającej generator energii elektrycznej. W systemach heliologicznych stosowane są różne technologie, wśród których wyróżnić możemy koncentratory wieżowe (tzw. wieże słoneczne), koncentratory paraboliczne i koncentratory liniowe Fresnela.

### Elektrownie słoneczne z koncentratorami wieżowymi

Elektrownie słoneczne tego typu zbudowane są z centralnie wykonanej wieży z umieszczonym na szczycie absorberem, na którym za pomocą układu zwierciadeł nadążnych (heliostatów) ogniskowane są promienie słoneczne. Wewnątrz absorbera przepływa czynnik roboczy (np. sól, lit lub azotan potasu), który pod wpływem skoncentrowanego promieniowania słonecznego nagrzewa się do temperatury przekraczającej nawet  $550^{\circ}\text{C}$  (np. w przypadku układów wykorzystujących sól). Podgrzana do takiej temperatury sól ulega roztopieniu i przekazywana jest rurami do zasobnika stopionej soli, a stamtąd kolejno do przegrzewacza pary, wyparki i wstępnego podgrzewacza wody obieguowej. Po oddaniu ciepła sphywa do zasobnika i ponownie kierowana jest do wieży. W drugim obiegu znajduje się woda, która po wstępnym ogrzaniu w wymienniku ciepła trafia do wyparki, gdzie zmienia się w parę nasyconą. Następnie para nasycona ulega przegrzaniu w przegrzewaczu pary i kierowana jest na układ turbin wysokiego i niskiego ciśnienia (w systemach tego typu stosowane są co najmniej dwie turbiny). Po opuszczeniu turbiny niskiego ciśnienia para chłodzona jest w chłodni wentylatorowej i w postaci ciekłej wraca do obiegu.



### Elektrownie słoneczne z koncentratorami parabolicznymi

Elektrownie tego typu wyposażone są w układ podłużnych lusterek parabolicznych, które skupiają promienie słoneczne na rurowym wymienniku ciepła umieszczonym w ognisku koncentratorka (miejscu skupienia promieni słonecznych). Przez rurę przepływa czynnik roboczy (np. olej termalny), który ogrzewa się do wysokiej temperatury (nie przekraczającej  $400^{\circ}\text{C}$ ), a następnie trafia do parownika, gdzie oddaje ciepło do krążącej w odrębnym obiegu wody. Woda ulega odparowaniu i w postaci pary przegrzanej trafia najpierw na turbinę parową a następnie jest skraplana w skraplaczu i w postaci ciekłej ponownie trafia do parownika (rozpoczynając od nowa kolejny cykl pracy). Wprawiona w ruch turbina napędza generator energii elektrycznej. Dla lepszej efektywności pracy, koncentratorki paraboliczne posiadają system nadążny pozwalający śledzić kąt padania promieni słonecznych.



### Farma fotowoltaiczna Kamuthi w Indiach

Największa na świecie farma fotowoltaiczna znajduje się w mieście Kamuthi w Indiach. Na powierzchni 10 km<sup>2</sup> zainstalowanych zostało 2,5 mln modułów fotowoltaicznych o łącznej mocy 648 MW. W skład instalacji weszło ponadto 576 inwerterów, 154 transformatory oraz okablowanie o łącznej długości 6000 km. Budowa największej na świecie farmy fotowoltaicznej trwała 8 miesięcy, a przy jej realizacji zatrudnionych było 8,5 tys. pracowników. Koszt budowy farmy wyniósł niespełna 680 mln dolarów.



Farma fotowoltaiczna - przykład

### Elektrownia Noor Concentrated Solar Power

Elektrownia słoneczna Noor Concentrated Solar Power powstaje na pustyni niedaleko marokańskiego miasta Ouarzazate. W 2016 r. oddano do użytku pierwszą część kompleksu (o nazwie Noor 1), która posiada moc 160 MW i jest zlokalizowana na powierzchni 2,5 tysiąca hektarów. Składa się ona z 500 tysięcy wygiętych eliptycznie lusterek wyposażonych w układ nadążny względem ruchu Słońca. Po wybudowaniu dwóch pozostałych części kompleksu (do 2020 r.), elektrownia będzie generować 580 MW energii, co pozwoli zasilić milion domów przy jednoczesnym zmniejszeniu emisji dwutlenku węgla o 760 tysięcy ton rocznie.



Koncentratory rynnowe - przykład

### Pływające elektrownie słoneczne

Pływające elektrownie stają się coraz popularniejsze na całym świecie. Największa z elektrowni tego typu posiada moc 40 MW i zlokalizowana jest w Chinach, w mieście Huainan, które niegdyś było węglowym zagłębiem w prowincji Anhui.

Budowa pływającej elektrowni z Huainan, to jeden z wielu projektów w Chinach dotyczących pozyskiwania energii ze Słońca. W 2016 r., w tym samym regionie, otwarto pływającą elektrownię słoneczną o mocy 20 MW. Popularność tego typu obiektów wynika z braku konieczności wygospodarowywania dla nich gruntu.



Pływające moduły fotowoltaiczne - przykład

### Elektrownia słoneczna w Czernikowie

Największa w Polsce farma fotowoltaiczna zlokalizowana jest w gminie Czernikowo koło Torunia i posiada moc niespełna 4 MW. Roczna produkcja energii elektrycznej jest szacowana na poziomie 3,5 GWh, co odpowiada zapotrzebowaniu ok. 1600 gospodarstw domowych. Instalacja składa się z niespełna 16 tysięcy modułów fotowoltaicznych - każdy o mocy 240 W. Powierzchnia zajmowana przez moduły wynosi ponad 24 tysiące m<sup>2</sup>. Przy tej wielkości rocznej produkcji elektrownia konwencjonalna wyemitowałaby ok. 3 tys. ton dwutlenku węgla.

Na dalszych miejscach, jeśli chodzi o elektrownie słoneczne w Polsce, znajdują się elektrownie słoneczne w Ostrzeszowie (2 MW, otrzymane z wykorzystaniem 8 tys. modułów o mocy 250 W i łącznej powierzchni 11 115 m<sup>2</sup>), w Kolnie (1,84 MW), w Przejazdowie (1,64 MW) oraz w Gubinie (1,5 MW).

# Energia wiatru

Energia wiatru jest to energia kinetyczna poruszających się mas powietrza, która może być przetwarzana na energię elektryczną w specjalnie do tego celu przystosowanych urządzeniach (turbinach wiatrowych). Szacuje się, że globalny potencjał energii wiatru jest równy obecnemu zapotrzebowaniu na energię elektryczną na świecie.

Wiatr jest to ruch powietrza spowodowany różnicą temperatury i ciśnienia, a także działaniem siły Coriolisa (siła związana z obrotowym ruchem Ziemi). Różnica temperatury powstająca w efekcie nierównomiernego ogrzewania powierzchni Ziemi przez Słońce powoduje, że okolice równika nagrzewają się o wiele bardziej niż strefy okołobiegunowe. Gdy lekkie, gorące powietrze z rejonu równika unosi się ku górze, na jego miejsce napływają fale chłodnego powietrza z biegunów. Gdyby nie zakrzywiająca tor wiatru siła Coriolisa, powietrze przemieszczałoby się w linii prostej, wędrując od obszarów wysokiego ciśnienia ku terenom o ciśnieniu niskim.

## HISTORIA WYKORZYSTANIA ENERGII WIATRU

Już 4000 lat temu energia wiatru była wykorzystywana przez Egipcjan do napędu łodzi. 1600 lat później powstał pierwszy opis zastosowania wiatraku do transportowania wody, a 200 lat p.n.e. w Chinach zastosowano wiatraki do nawadniania pól uprawnych. Na początku naszej ery wiatraki pojawiły się w Chinach oraz w krajach basenu Morza Śródziemnego. Od VI w. n.e. młyny wiatrowe były używane przez Persów do mielenia ziaren. Powstanie pierwszego czteroskrzydłowego wiatraka, zbudowanego przez holenderskiego konstruktora dla usprawnienia procesu mielenia zboża, datuje się na 1390 r. Dopiero jednak XVII w. przyniósł upowszechnienie się w Europie tzw. holendrów, która posiadały sztywną konstrukcję i obracalną bryłę dachu o podstawie kołowej (dzięki czemu skrzydła ustawiały się w kierunku prostopadłym do kierunku wiatru). W 1850 r. młyny napędzane energią wiatru pracowały z ogólną mocą około 1 TW. Pod koniec XIX w. rozwój maszyn parowych spowodował wyparcie napędu wiatrowego z wielu dziedzin życia gospodarczego.

Pierwsza samoczynnie działająca siłownia wiatrowa o mocy 12 kW powstała w 1888 r. w Stanach Zjednoczonych. Siłownia miała 17 m średnicy i posiadała 144 drewniane łopaty. Opracował ją Charles F. Brush. Kilka lat później, w 1891 r., Poul la Cour odkrył, że znacznie wydajniejsze dla generatorów elektrycznych są wirniki o kilku łopatach. Energię elektryczną uzyskaną z siłowni wiatrowych wykorzystywał on na potrzeby procesu elektrolizy, z którego otrzymywał wodór służący mu do oświetlania szkoły. W 1950 r., Johannes Juul jako pierwszy skonstruował siłownię wiatrową z generatorem prądu przemiennego. Jego kolejne rozwiązania konstrukcyjne, które zostały wykorzystane w zbudowanej w 1957 r. na wybrzeżu Gedser w Danii elektrowni wiatrowej o mocy 200 kW, są stosowane do dnia dzisiejszego.

W 1960 r. na świecie pracowało już ponad milion siłowni wiatrowych. Ponowny wzrost zainteresowania wykorzystaniem energii wiatru do celów energetycznych nastąpił po kryzysie energetycznym w latach 70. W latach 80 XX wieku nastąpił rozwój przemysłowej energetyki wiatrowej.



Wiatraki do mielenia zboża

## JAKIE SĄ RODZAJE WIATRU?

Najniższe ciśnienie panuje nad równikiem. Powietrze, które stamtąd odpycha opada następnie na ziemię w okolicach zwrotników, a stamtąd rozprzestrzenia się na północ i na południe w postaci stałych wiatrów zachodnich i wschodnich (tzw. pasatów). To jednak nie globalne ruchy powietrza, ale wiatry lokalne mają największy wpływ na warunki pogodowe na danym terenie. Polskim wiatrem lokalnym jest wiatr halny (górski wiatr występujący w Sudetach i Karpatach), który powstaje w wyniku nierównomiernego nagrzewania się stoków górskich i dolin.



## RODZAJE TURBIN WIATROWYCH

### Turbiny wiatrowe o poziomej osi obrotu

Turbiny wiatrowe o poziomej osi obrotu to najpowszechniejszy rodzaj turbin wiatrowych. Ogólna budowa takich urządzeń obejmuje wysoką wieżę zakończoną przypominającym śmigło wirnikiem, wyposażonym zwykle w trzy łopaty. Zdecydowanie rzadziej spotykane są inne rozwiązania - tj. takie, w których wirnik posiada mniej łopat (jedną lub dwie) lub więcej. Praktyczne zastosowanie wirników trójłopatowych wynika z faktu, że najefektywniej wykorzystują one energię przepływającego powietrza. By osiągnąć maksymalną efektywność, turbiny wiatrowe o poziomej osi obrotu muszą być zwrócone dokładnie w kierunku wiatru.

Turbiny o poziomej osi obrotu znajdują zastosowanie (stanowiąc część farm wiatrowych), jak i w systemach przydomowych, do podświetlania tablic informacyjnych itp.



Turbina wiatrowa o poziomej osi obrotu

zarówno w energetyce zawodowej

### Turbiny wiatrowe o pionowej osi obrotu

Turbiny wiatrowe o pionowej osi obrotu stanowią niewielki procent wszystkich istniejących turbin wiatrowych. Wśród tego typu konstrukcji wyróżniamy m.in. turbinę Savoniusa (przypominającą kształtem literę S) i turbinę Darrieusa (przypominającą wyglądem trzepaczkę do ubijania piany). Turbina Savoniusa została wynaleziona w Finlandii. Może być ona stosowana w miejscach charakteryzujących się bardzo dobrymi warunkami wietrznymi. Najlepiej nadaje się do innych zadań niż produkcja energii elektrycznej (np. pompowanie wody, mielenie ziarna, itp.). Turbina Darrieusa powstała w latach 30. minionego wieku. Odznacza się bardzo prostą budową - łopaty wirnika są proste i umieszczone pionowo. Obecnie wirniki tego typu mogą generować moc dochodzącą do 300 kW. Rozwiązanie to nie przyjęło się powszechnie, gdyż łopaty wirnika wraz z ruchem obrotowym zmieniają kąt natarcia w stosunku do wiejącego wiatru (co znacząco obniża sprawność turbiny).

W ogólności można stwierdzić, że turbiny wiatrowe o pionowej osi obrotu są mniej wydajne od turbin o poziomej osi obrotu. Zaletą tego typu konstrukcji jest z kolei brak konieczności stosowania układu naprowadzania na kierunek wiatru.



Turbina wiatrowa o pionowej osi obrotu

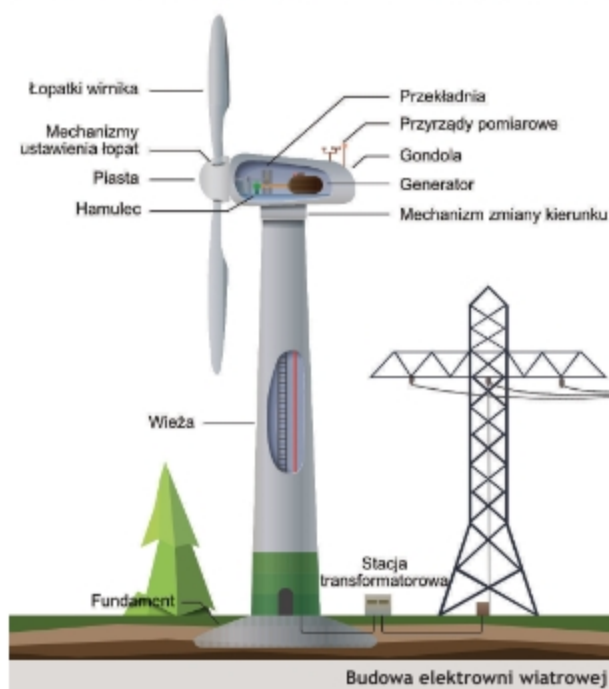


Turbina Darrieusa

## BUDOWA ELEKTROWNI WIATROWEJ

Elektrownie wiatrowe (inaczej nazywane siłowniami wiatrowymi) są obiektami wytwarzającymi energię elektryczną z wykorzystaniem turbin wiatrowych napędzanych siłą wiatru. Podstawowym elementem każdej siłowni wiatrowej jest wirnik, który przekształca energię wiatru w energię mechaniczną, z kolei energia mechaniczna jest następnie przetwarzana w generatorze prądotwórczym na energię elektryczną. W energetyce zawodowej najczęściej stosuje się rozwiązanie z trójłopatkowym wirnikiem wykonanym ze wzmocnionego poliestru włókna szklanego, który osadzony jest na wale zamontowanym w gondoli. Wirnik obraca się najczęściej z prędkością od 15 do 30 obrotów na minutę. Prędkość ta jest zbyt mała, aby zapewnić efektywną pracę generatora prądotwórczego, dlatego stosuje się specjalne przekładnie, które połączone są z wałem szybkoobrotowym i pozwalają zwiększyć prędkość obrotową do 1500 obrotów na minutę.

Generator, wał wolnoobrotowy, przekładnia, wał szybkoobrotowy, hamulec, układ smarowania, układ chłodzenia, przyrządy pomiarowe, system sterowania i inne elementy siłowni umieszczone są w gondoli, zamocowanej wraz z wirnikiem na stalowej wieży o wysokości od 30 do 100 m. W piąście wirnika umieszczony jest serwomechanizm pozwalający na ustawienie kąta nachylenia łopatek w zależności od siły wiatru. Gondola wyposażona jest w silnik i przekładnię zębatą, dzięki czemu istnieje możliwość obracania jej o 360° i ustawianie pod wiatr. W elektrowniach małej mocy, ustawienie pod wiatr zapewnia ster kierunkowy zintegrowany z gondolą.



## ETAPY ROZWOJU SIŁOWNI WIATROWYCH NA ŚWIECIE

1955 - 1985	1986 - 1990	1990 - 1994	1994 - 2004	2004 -
Występują małe przydomowe siłownie wiatrowe o średnicy wirnika do 15 m. Brak jest międzynarodowych standardów.	Średnica wirnika osiąga ok. 30 m. Produkowane są pierwsze seryjne siłownie wiatrowe. Zapoczątkowane jest tworzenie standardów przemysłowych.	Średnica wirników siłowni wiatrowych osiąga od 30 do 50 m. Występuje produkcja masowa siłowni o mocy 600 kW.	Średnica wirnika wynosi ponad 50 m. Następuje przyspieszenie rozwoju technologicznego. Powstają siłownie wiatrowe o mocy 850 kW, 1 MW, 1,5 MW, 2 MW i więcej.	Średnica wirnika przekracza 150 m. Moc siłowni wiatrowych osiąga 6 MW.

Pojedyncze turbiny wiatrowe posiadają moc elektryczną do 6 MW. Na terenach charakteryzujących się korzystnymi warunkami wietrznymi (wiatrem silnym i stabilnym w ciągu roku) buduje się farmy wiatrowe, czyli zespoły składające się z wielu turbin. Skupienie turbin w jednym obszarze pozwala na ograniczenie kosztów budowy i utrzymania oraz uproszczenie sieci elektrycznej. Przykładem naturalnych rejonów częstego występowania silnych wiatrów są lądowe i morskie tereny przybrzeżne. W zależności od miejsca usytuowania farm wiatrowych wyróżniamy farmy lądowe i morskie.

W 2015 r. łączna moc elektrowni wiatrowych na świecie wyniosła 434 GW. Dostarczyły one 841 TWh energii elektrycznej, tj. 3,5% światowego zapotrzebowania na energię elektryczną. W czołowej trójce krajów produkujących energię z elektrowni wiatrowych w 2015 r. były Stany Zjednoczone (192 TWh), Chiny (185 TWh) i Niemcy (88 TWh). Krajem, w którym energetyka wiatrowa dostarczała największy procent energii elektrycznej były Dania (49,7%).



Lądowa farma wiatrowa

### Lądowe farmy wiatrowe

Lądowe farmy wiatrowe z uwagi na zmienną siłę wiatru przez większość czasu nie pracują z pełną mocą. Moc generowana przez turbiny ulega zmianom godzinowym, dobowym i rocznym. Stosunek wytwarzanej energii do teoretycznie możliwej do wytworzenia przez daną turbinę wynosi zwykle 20-40%.

Farmy wiatrowe stanowią przedsięwzięcia, które oddziałują na wiele elementów środowiska naturalnego. Oddziaływania lądowych farm wiatrowych obejmują w szczególności: oddziaływanie na ptaki, nietoperze, siedliska roślin i zwierząt,

oddziaływanie na krajobraz, emisję hałasu oraz emisję pola elektromagnetycznego. Dlatego ich lokalizacja powinna być odpowiednio oddalona od zabudowy mieszkaniowej w celu zachowania dopuszczalnych norm hałasu oraz jak największego ograniczenia efektu „migającego cienia”.

Pierwsza na świecie lądowa farma wiatrowa, wyposażona w 20 turbin o mocy 30 kW każda, powstała w 1980 r. na zboczach Crotched Mountain w południowym New Hampshire (Stany Zjednoczone).

### Morskie farmy wiatrowe

Lokalizacja farm wiatrowych na morzu posiada kilka zalet w porównaniu do ich lokalizacji na lądzie: większa przestrzeń dla lokalizacji farm wiatrowych, większa dobowa i roczna stabilność wiatru, większa siła wiatru na niższych wysokościach, rosnąca siła wiatru wraz z odległością od brzegu (zalecane jest sytuowanie farm wiatrowych minimum 2 km od brzegu). Do wad tego typu obiektów zalicza się znacznie większe koszty budowy elektrowni i połączenia ich z siecią przesyłową energii elektrycznej, większe trudności w dostępności do obiektu w czasie jego remontu lub konserwacji, droższą konserwację i obsługę obiektów elektroenergetycznych.



Morska farma wiatrowa

Pierwsza tego rodzaju inwestycja o mocy 5 MW powstała u brzegów Danii w 1991 r. Obecnie europejskie morskie elektrownie wiatrowe posiadają moc przekraczającą 11 GW mocy (stan na 2015 r.), z czego ponad 90% z nich wybudowano w północnej części Europy, na morzach: Północnym, Bałtyckim, Irlandzkim i kanale La Manche. Przewiduje się, że moc zainstalowanych morskich elektrowni wiatrowych w Europie w 2020 r. wzrośnie do ponad 35 GW.

## ELEKTROWNIE WIATROWE NA ŚWIECIE

### Gansu Wind Farm, Chiny

Najbardziej imponującą pod względem wielkości elektrownią wiatrową na świecie jest lądowa farma Gansu Wind Farm, która znajduje się na obszarach pustynnych w pobliżu miasta Jiuquan w Chinach. Jej całkowita zainstalowana moc wynosi ponad 6 000 MW. Budowa farmy wiatrowej rozpoczęła się w drugiej połowie 2009 r. i została podzielona na kilka etapów. Aktualnie rozbudowa trwa nadal, a docelowa moc elektrowni ma osiągnąć nawet 20 000 MW.



Niewielki fragment farmy wiatrowej Gansu Wind Farm

### Alta Wind Energy, Stany Zjednoczone

Drugą farmą wiatrową na świecie pod względem zainstalowanej mocy jest amerykański projekt Alta (Oak Creek-Mojave) Wind Energy. Jest to największa farma wiatrowa w Stanach Zjednoczonych, o łącznej mocy zainstalowanej 1 547 MW. Projekt zmniejsza emisję dwutlenku węgla o ponad 5,2 mln ton. Dalsze plany rozwojowe elektrowni uwzględniają jej rozbudowę do osiągnięcia mocy na poziomie 3000 MW.



Morska farma wiatrowa u wybrzeży Wielkiej Brytanii

### London Array, Anglia

Wśród morskich farm wiatrowych największym obiektem jest elektrownia London Array, która powstała u wybrzeży Wielkiej Brytanii w kwietniu 2013 r. Elektrownia zlokalizowana jest 20 km od wybrzeża hrabstwa Kent. W jej skład wchodzi 175 turbin wiatrowych o łącznej mocy zainstalowanej 630 MW. Szacuje się, że ilość energii elektrycznej produkowana przez farmę jest w stanie zapewnić zasilanie dla 500 tysięcy brytyjskich domów.

### Gwynt y Môr (Sea Wind), Północna Walia

Duga co do wielkości morska farma wiatrowa również znajduje się u wybrzeży Wielkiej Brytanii. Jest nią farma Gwynt y Môr (Sea Wind), która zlokalizowana została przy wybrzeżu Północnej Walii. Elektrownia posiada moc zainstalowaną na poziomie 576 MW i jest wyposażona w 160 turbin wiatrowych. Uruchomiona została w 2015 r.

### Hywind, Szkocja

Ciekawym rozwiązaniem, umożliwiającym wykorzystanie energii wiatru na wodach zbyt głębokich dla konwencjonalnych morskich turbin wiatrowych, jest budowa pływających elektrowni wiatrowych. W takim przypadku, turbiny pozostają w miejscu dzięki specjalnym kotwicom, których założenie jest szybsze i mniej inwazyjne dla środowiska niż budowa pełnego fundamentu na dnie morza.

Największa obecnie pływająca farma wiatrowa została uruchomiona w 2017 r. przy północno-wschodnim wybrzeżu Szkocji. Składa się ona z pięciu turbin o wysokości 253 m, z czego jedynie 78 m wystaje ponad lustro wody. Łączna moc zainstalowana turbin wynosi 30 MW, co przekłada się na dostarczenie energii do 20 tysięcy domostw. Turbiny są rozlokowane na powierzchni ok. 4 km<sup>2</sup>. Skrzydła turbin mierzą 75 m i dzięki odpowiedniemu nachyleniu są w stanie tłumić podmuchy wiatru, utrzymując całość konstrukcji w pionie.



Energetyka wiatrowa w Polsce rozwija się od początku lat 90. minionego wieku. Pierwsza turbina wiatrowa została postawiona w 1991 r. przy wcześniej już istniejącej Elektrowni Wodnej w Żarnowcu. Obecnie pracuje w Polsce niemal tysiąc elektrowni wiatrowych o łącznej mocy 5005 MW. W 2015 r. turbiny wiatrowe wyprodukowały ponad 10 000 GWh energii elektrycznej, a udział energii pozyskanej z wiatru w ogólnym rynku energii elektrycznej w Polsce przekroczył 3,66%.

#### Elektrownia wiatrowa Margonin

Elektrownia Wiatrowa Margonin jest największą elektrownią wiatrową w Polsce, a dodatkowo mieści się w pierwszej dziesiątce największych elektrowni wiatrowych w Europie. Moc zainstalowana elektrowni wynosi 120 MW. Elektrownia liczy 60 turbin wiatrowych, które umieszczone są na masztach o wysokości 100 m zlokalizowanych na obszarze prawie 100 km<sup>2</sup>.

#### Elektrownia wiatrowa Karścino-Mołtowo

Farma wiatrowa położona jest w województwie zachodniopomorskim pomiędzy miejscowościami Karścino i Mołtowo. Moc zainstalowana elektrowni wynosi 90 MW. Składa się ona z 60 turbin wiatrowych posadowionych na słupach o wysokości 90 m.



Elektrownia wiatrowa Karścino-Mołtowo

#### Elektrownia wiatrowa Lotnisko

Elektrownia wiatrowa Lotnisko zlokalizowana jest na terenie byłego lotniska wojskowego niedaleko miejscowości Kopaniewo w województwie pomorskim. Moc zainstalowana elektrowni jest równa 90 MW, a w jej skład wchodzi 30 turbin wiatrowych zainstalowanych na stalowych wieżach o wysokości 90 m.

#### Elektrownia Wiatrowa Kiselice

Farma wiatrowa w gminie Kiselice w woj. warmińsko-mazurskim posiada moc zainstalowaną 76,5 MW. Powstawała ona w trzech etapach: najpierw oddanych zostało do użytku 27 turbin wiatrowych o mocy 1,5 MW każda (2007 r.), następnie 10 turbin o mocy 2,5 MW każda (2011 r.), a finalnie - 6 turbin o mocy 2 MW każda (2015 r.).

#### Elektrownia Wiatrowa Korsze

Farma wiatrowa w gminie Korsze położona jest między miejscowościami Błogoszewo, Chmielnik, Gudniki, Kraskowo, Łankiejmy, Olszynka, Podlechy, Trzeciaki, Wandajny i Dubliny. Moc zainstalowana elektrowni wynosi 70 MW, a w jej skład wchodzi 35 turbin wiatrowych zamontowanych na słupach o różnej wysokości.

W najbliższym czasie planowana jest budowa morskiej farmy wiatrowej, która ma powstać 23 km na północ od linii brzegowej, na wysokości gminy Smołdzino w województwie pomorskim. W skład farmy wejdzie 120 siłowni wiatrowych o łącznej mocy 600 MW. Moc pojedynczej turbiny będzie wynosić do 5 MW, a ich wysokość osiągnie 275 m. To oznacza, że konstrukcja będzie wyższa o 44 m od Pałacu Kultury i Nauki w Warszawie, który wraz z iglicą liczy 231 m.



Przykładowa farma morska zlokalizowana na Bałtyku

Planowana farma wiatrowa będzie największą, jaką dotychczas wybudowano w Polsce. Dalsze plany dolożenie kolejnych 600 MW. W efekcie moc morskich turbin wiatrowych ma być 3-krotnie wyższa od mocy farm wiatrowych zlokalizowanych na lądzie.

# Energia biomasy

Biomasa to cała istniejąca na Ziemi materia organiczna, wszystkie substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego ulegające biodegradacji. Biomasa są resztki z produkcji rolnej, pozostałości z leśnictwa, odpady przemysłowe i komunalne. Obecnie biomasa stanowi trzecie co do wielkości naturalne źródło energii na świecie.

Biopaliwa pochodzą z różnych źródeł. W szczególności są to uprawy i odpady rolne, odpady przemysłowe, specjalne uprawy energetyczne, odpady komunalne, odpady zwierzęce i ścieki. Biopaliwa mogą występować w formie stałej, ciekłej i gazowej. Każda forma charakteryzuje się unikalnymi właściwościami, określoną przydatnością energetyczną oraz sposobami pozyskiwania, uszlachetniania i przetwarzania. Wśród biopaliw stałych wyróżniamy m.in. drewno kawałkowe, odpady drzewne, zrębki, słomę, brykiety i pelety, wśród biopaliw płynnych - bioolej, biodiesel i bioalkohole, a wśród biopaliw gazowych - biogaz i gaz drzewny.



## HISTORIA WYKORZYSTANIA BIOMASY NA CELE ENERGETYCZNE

Biomasa wykorzystywana była od najdawniejszych czasów do ogrzewania - spalanie drewna przez długi czas stanowiło jedyne źródło ciepła dla człowieka pierwotnego. W czasach starożytnego Rzymu drewno było tym, czym obecnie dla naszej cywilizacji jest węgiel kamienny, gaz i ropa naftowa. Rzymianie używali olbrzymie ilości drewna do budowania, ogrzewania oraz jako paliwo dla przemysłu. Drewno było najważniejszym źródłem energii aż do XVIII w., kiedy to nastąpiła rewolucja przemysłowa i na masową skalę zaczęto wykorzystywać paliwa kopalne. Na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat, w związku z malejącymi zasobami surowców kopalnych oraz zanieczyszczeniami emitowanymi przy ich spalaniu, wykorzystanie biomasy staje się ponownie coraz bardziej popularne.

Podstawowym zastosowaniem biomasy jest wytwarzanie ciepła, ale wykorzystuje się ją również do produkcji energii elektrycznej (spalanie lub współspalanie biomasy w elektrociepłowniach) czy też bezpośrednio jako paliwo lub surowiec dla przemysłu i transportu. Trzeba jednak pamiętać, że ze względu na swoje właściwości, biomasa najbardziej efektywnie może być wykorzystywana na potrzeby wytwarzania ciepła lub ciepła i energii elektrycznej w małych układach występujących w skali lokalnej.

W przypadku spalania paliw stałych, ważną kwestią są aspekty środowiskowe. W procesie spalania biomasy bilans emisji dwutlenku węgla przyjmuje się jako zerowy, ponieważ do atmosfery emitowana jest taka sama ilość CO<sub>2</sub>, jaka jest pochłaniana przez rośliny w procesie fotosyntezy. Poddając biomase obróbce termicznej uzyskujemy tzw. karbonizat, czyli węgloną biomase o obniżonej zawartości części lotnych i wyższej wartości opałowej około 30 MJ/kg.

## Z CZEGO SKŁADA SIĘ DREWNO?



W skład drewna wchodzi: materiał palny (w którym 50-52% stanowi węgiel, 40-44% tlen, 6-6,5% wodór, ok. 0,2% azot i ok. 0,1% siarka), woda (20-60%) oraz popiół (0,5%, w tym wapń, magnez i potas). Zawartość wody w świeżym drewnie zależy głównie od gatunku drzewa i jest wyższa w przypadku drewna o mniejszym ciężarze właściwym.

Paliwa drewnopochodne charakteryzują się wysoką zawartością składników lotnych. Zaledwie 20% ich masy stanowią nietlne związki węgla.

## RODZAJE I WŁAŚCIWOŚCI BIOMASY

Poszczególne rodzaje biomasy charakteryzują się różnymi właściwościami energetycznymi, które wpływają na możliwości ich wykorzystania. Z energetycznego punktu widzenia do najważniejszych parametrów biomasy zalicza się wartość opałową (określaną jako ilość energii uzyskiwaną z 1 kg paliwa), zawartość wilgoci w paliwie, gęstość usypową oraz zawartość popiołu.

### Drewno i odpady drzewne

Drewno kawałkowe to pozostałości drewna konstrukcyjnego, odpad z przemysłu drzewnego (np. z produkcji przycinanych na wymiar półwyrobów), odpad leśny oraz odpad z innych gałęzi przemysłu (kopalnie, budownictwo itp.). Drewno kawałkowe zawiera minimalne ilości kory. Wartość opałowa drewna kawałkowego, sezonowanego przez okres 1-2 lat (tj. aż do uzyskania wilgotności na poziomie 15-20%) wynosi do 18 MJ/kg. W Polsce pozyskuje się rocznie ok. 22 mln m<sup>3</sup> drewna, z czego odpady stanowią ok. 10%.



Drewno kawałkowe



Trocin

### Trocin

Trocin stanowią ok. 10% drewna przerabianego w tartakach, jak również produkt uboczny skrawania i frezowania w zakładach obróbki drewna. Jest to cenne paliwo i może być spalane w kotłach z automatycznym rusztem. Poziom wilgotności trocin jest zróżnicowany i waha się od 6 do 65% (dla trocin z niedawno ściętego drzewa). Do wad trocin zalicza się trudności związane z ich magazynowaniem, podatność na zawilgocenie oraz skłonność do zaparzenia się.

### Zrębki drzewne

Zrębki drzewne to rozdrobnione drewno w postaci długich na 5-50 mm ścinków o nieregularnych kształtach. Powstają w czasie pierwszego trzebieńia drzewostanów, wierzchołków i innych pozostałości po wyrębach, obrabiania kłód w tartakach oraz z odpadów drzewnych w zakładach przetwarzających drewno. Wartość opałowa zrębków wynosi 6-16 MJ/kg, a ich wilgotność sięga 20-60%. Zrębki są wykorzystywane jako paliwo dla kotłów, jak również znajdują zastosowanie do produkcji płyt wiórowych czy jako topnik w hutnictwie. Wadą tego paliwa jest wrażliwość na zmiany wilgotności powietrza i podatność na choroby grzybowe.



Zrębki drzewne

## RODZAJE I WŁAŚCIWOŚCI BIOMASY



Słoma

### Słoma

Słoma to łodygi i liście dojrzałych roślin uprawnych po omlocie. W energetyce wykorzystywane są nadwyżki słomy różnych rodzajów zbóż, a także rzepak i gryki. Dzięki wykorzystaniu nadwyżek słomy do celów energetycznych, unika się szkodliwego dla środowiska naturalnego spalania ich bezpośrednio na polach. Słoma może być spalana w kotłach w postaci suchej siewki, granulatu lub pyłu. Wilgotność słomy wynosi 10- 20%, zaś wartość opałowa 14,3 MJ/kg dla słomy żółtej (świeżo ściętej) oraz 15,2 MJ/kg dla słomy szarej (sezonowanej).

### Brykiet drzewny

Brykiet drzewny powstaje w wyniku sprasowania pod wysokim ciśnieniem, bez dodatku substancji klejących, suchego rozdrobnionego drewna - trocin, wiórów czy zrębków. Występuje najczęściej w postaci walców lub kostek. Duże zagęszczenie materiału w stosunku do objętości sprawia, że proces spalania brykietu zachodzi stopniowo. Wartość energetyczna brykietu wynosi 19-21 MJ/kg, a jego wilgotność jest równa 6-8%.



Brykiet



Pelety

### Pelety

Pelety to produkowane z biomasy drzewnej lub pochodzenia rolniczego granulki o długości kilku cm i średnicy z zakresu 6-25 mm. Wytłacza się je pod dużym ciśnieniem w prasie rotacyjnej, bez dodatku substancji klejącej. Są one paliwem łatwym do transportowania, praktycznym w magazynowaniu i wygodnym w eksploatacji. Wartość energetyczna peletów wynosi 16,5-17,5 MJ/kg, a ich wilgotność 7-12%. Charakteryzują się też niską zawartością popiołu.

### Rośliny pochodzące z upraw energetycznych

Do roślin uprawianych na cele energetyczne zaliczamy m.in. wierzbę wiciową, ślazuca pensylwańskiego, miskanta, topinambur, różę wielokwiatową, rzepak, słonecznik, len, trzcinę cukrową i inne. Uprawy energetyczne umożliwiają zagospodarowanie nisko produktywnych bądź zdegradowanych terenów rolniczych. W Polsce jedną z najczęściej uprawianych roślin energetycznych jest wierzba wiciowa (zwana też energetyczną).



Wierzba energetyczna

Objętość wybranych paliw biomasowych odpowiadająca 1 tonie węgla kamiennego, wyrażona w metrach przestrzennych (mp).

Metr przestrzenny (mp) - miara objętości, uwzględniająca przestrzenie powietrzne pomiędzy fragmentami paliwa. Przykładowo, w 1 mp drewna znajduje się ok. 0,65 m<sup>3</sup> tego surowca (pozostała część to przestrzenie powietrzne).



Porównanie ilości wybranych paliw biomasowych odpowiadających w przybliżeniu 1 tonie węgla kamiennego

### Kotły centralnego ogrzewania

Kocioł centralnego ogrzewania jest urządzeniem przeznaczonym do spalania paliwa (np. drewna lub peletów w przypadku kotłowni na biomasę) na potrzeby ogrzania wody w instalacji grzewczej. W części przypadków ogrzewana jest również woda użytkowa (tj. woda czerpana z kranów



Kocioł na pelety (po lewej) i kocioł do spalania drewna (po prawej)

w celu spożycia lub mycia). Każdy kocioł posiada odpowiednio skonstruowaną komorę spalania oraz płaszcz wodny (przestrzeń otaczającą komorę, w której ciepło powstające w procesie spalania przekazywane jest do wody). Kotły centralnego ogrzewania przeznaczone do spalania peletów, wyposażone są w specjalny palnik retortowy, rynnowy lub tłokowy, podajnik paliwa oraz zasobnik na paliwo. W przypadku kotłowni dedykowanych do spalania drewna kawałkowego, w komorze spalania

miast palnika znajduje się ruszt, na którym układane są kolejne porcje paliwa. Nowoczesne kotły wyposażone są także w wentylator nadmuchowy, wentylator wyciągowy oraz regulator sterujący pracą kotła. Sprawność nowoczesnych kotłowni na paliwo stale jest wysoka i wynosi 80-95%.

### Piece kaflowe, kominki i kozy

Innym typem urządzeń grzewczych opalanych biomasą (drewnem, brykietem, a nawet peletami) są piece kaflowe, kominki i tzw. kozy. Urządzenia te w większości nie posiadają płaszcza wodnego i pozwalają na ogrzewanie wyłącznie pomieszczeń, w których są zainstalowane (przez bezpośrednie promieniowanie ciepła). Aktualnie jednak, coraz częściej kominki i piece wyposaża się w płaszcze wodne lub wymienniki ciepła, które pozwalają odbierać ciepło od gorących spalin. Ciepło odebrane od gorących spalin zwiększa sprawność pracy urządzeń i może być wykorzystane do ogrzania wody (pod kątem wspomaganego działania instalacji przygotowania ciepłej wody użytkowej bądź instalacji centralnego ogrzewania) lub powietrza (pod kątem ogrzewania powietrznego całych budynków lub ich części).

**Piec kaflowy** jest rodzajem pieca akumulacyjnego. W tradycyjnej postaci jest budowany z cegły szamotowej i ma postać słupa obłożonego z zewnątrz kaflami. Najważniejszym miejscem jest palenisko, w którym spalane jest paliwo. Odbiór ciepła ze spalin realizowany jest w tzw. kanałach dymowych - rozgrzana cegła szamotowa akumuluje ciepło i oddaje do pomieszczenia na długo po zakończeniu spalania paliwa.

**Kominek** oryginalnie występował w postaci otwartego paleniska (wnęki) umieszczonego w ścianie oraz obramowania, na którym opierał się okap odprowadzający spalinę do przewodu dymowego. Zaletą takiej budowy był piękny wygląd, wadą - m.in. niska sprawność i możliwość generowania przeciągów. Obecnie stosuje się **wkłady kominkowe** - żeliwne lub stalowe konstrukcje zamknięte, tj. takie, które posiadają szybę oddzielającą pomieszczenie od paleniska. Nowoczesne wkłady posiadają przyłącze świeżego powietrza oraz regulator sterujący jego dopływem do paleniska. Dodatkowo, mogą być wyposażone w płaszcz wodny oraz montowany na wylocie spalin ceramiczny wymiennik akumulacyjny, który pozwala magazynować ciepło i oddawać je do pomieszczenia po zakończeniu spalania.

**Koza** jest małym, wolnostojącym piecem wykonanym najczęściej ze stali lub żeliwa. Stanowi alternatywę dla kominka - jej instalacja jest o wiele tańsza, ale nie nadaje się ona do ogrzewania całego budynku. Najczęściej ogrzewane za pomocą kóz są pojedyncze pomieszczenia (salony, warsztaty itp.)



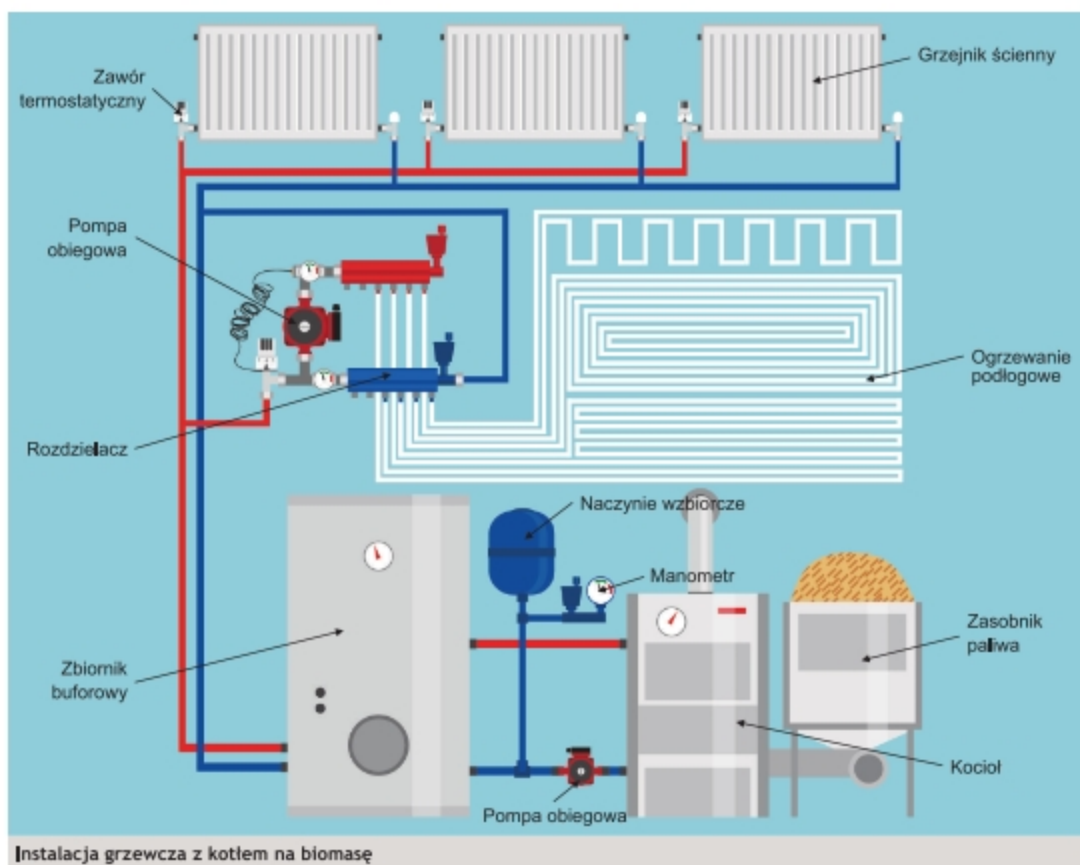
Zamknięty wkład kominkowy z obudową

## INSTALACJA GRZEWcza Z KOTŁEM NA BIOMASĘ

Podstawowym elementem instalacji centralnego ogrzewania jest kocioł grzewczy. Aby ciepło wytworzone w kotle mogło zostać przekazane do ogrzewanych pomieszczeń, instalacja centralnego ogrzewania wyposażona jest w grzejniki, rury (transportujące wodę), pompę obiegową (wymuszającą przepływ wody), zawory, elementy zabezpieczające i inne niezbędne akcesoria. Praca instalacji grzewczej sterowana jest za pomocą regulatora kotła, który może współpracować ze stacją pogodową (w takim przypadku działanie kotła jest ściśle związane z aktualną pogodą).

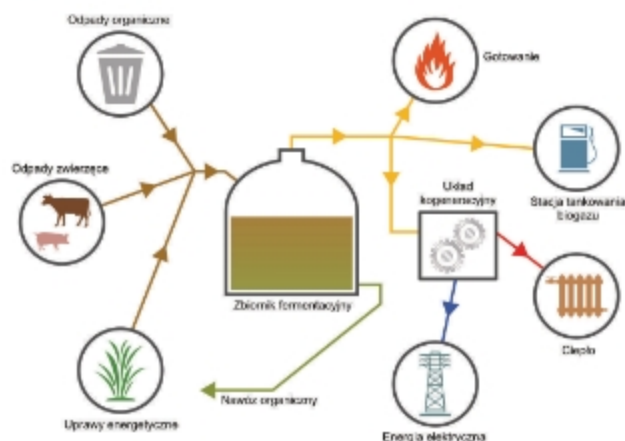
Gorąca woda, po wylocie z kotła, jest transportowana do poszczególnych pomieszczeń, gdzie trafia do grzejników - specjalnych wymienników ciepła przekazujących ciepło od gorącej wody do ogrzewanego powietrza. Wyróżniamy m.in. grzejniki ściennie (prostokątne elementy zawieszane najczęściej pod oknami) oraz grzejniki płaszczyznowe (rozłożone równomiernie rurki grzewcze, które mogą być zalane w wylewce betonowej tworzącej podłogę). Rurki wchodzące w skład grzejnika płaszczyznowego mogą być ułożone w formie „ślimaka” lub meandra. Grzejniki wyposażone są najczęściej w zawory termostaticzne - elementy, które pod wpływem temperatury powietrza w pomieszczeniach otwierają się i zamykają, regulując przepływ wody pod kątem zapewnienia odpowiedniej mocy grzewczej grzejników. Ruch wody w instalacji centralnego ogrzewania wymuszony jest za pomocą pompy obiegowej.

W celu zabezpieczenia instalacji grzewczej przed skutkami niespodziewanych awarii, stosuje się dodatkowe elementy zabezpieczające: naczynie wyrównawcze (tj. otwarty zbiornik wodny, umieszczony w najwyższym punkcie instalacji) lub - w tzw. instalacjach zamkniętych, gdzie woda krążąca w rurkach nie ma bezpośredniego kontaktu z powietrzem atmosferycznym - naczynie przeponowe i zawór bezpieczeństwa. Do kontroli podstawowych parametrów pracy stosuje się termometry i manometry.



Biogaz wykorzystywany do celów energetycznych powstaje w procesie beztlenowej fermentacji odpadów organicznych na składowiskach odpadów, odpadów rolniczych i zwierzęcych w gospodarstwach rolnych oraz osadów ściekowych w oczyszczalniach ścieków. Biogaz składa się przede wszystkim z metanu (40-70%) i dwutlenku węgla (40-50%), ale zawiera również m.in. azot, siarkowodór, tlenek węgla, amoniak i tlen. Szybkość produkcji biogazu zależy od szeregu czynników. Na przebieg procesu fermentacji korzystnie wpływa utrzymanie stałej, wysokiej temperatury, wilgotności większej niż 50%, pH na poziomie wyższym niż 6,8 oraz ograniczenie dostępu powietrza.

Biogaz może być wykorzystywany na różne sposoby, w tym do produkcji ciepła w specjalnie przystosowanych kotłach, energii elektrycznej w silnikach iskrowych lub turbinach oraz do skojarzonej produkcji energii elektrycznej i ciepła. **Gaz wysypiskowy** może być z kolei dostarczany do sieci gazowej, wykorzystywany jako paliwo do pojazdów lub w procesach technologicznych.



Ideowy schemat powstawania i wykorzystania biogazu

## BIOPALIWA PŁYNNE

Biopaliwa płynne są to paliwa powstałe w wyniku przetworzenia produktów pochodzenia organicznego (biomasy). Najczęściej na potrzeby wytwarzania biopaliw wykorzystuje się buraki cukrowe, trzcinę cukrową, ziemniaki lub zboże (np. kukurydzę). Z roślin tych powstaje albo bioetanol (w wyniku fermentacji alkoholowej) albo biodiesel (w wyniku estryfikacji olejów roślinnych). W takim przypadku mówimy o **biopaliwach pierwszej generacji**. Pod pojęciem **biopaliw drugiej generacji** rozumiemy natomiast wszelkiego rodzaju biopaliwa otrzymywane z materiałów nie będących konkurencją dla żywności (materiały pochodzenia drzewnego, słoma i inne odpady z produkcji rolnej). Do biopaliw drugiej generacji zaliczamy m.in. metanol z biomasy, biodiesel czy syntetyczne biopaliwa otrzymywane z biomasy za pomocą zgazowania.

Źródła biopaliw płynnych i możliwości ich zastosowania pokazane zostały w poniższej tabeli.

Biopaliwo	Roślina	Proces konwersji	Zastosowanie
Bioetanol	Zboża, ziemniaki, topinambur itp.	Hydroliza i fermentacja	Substytut i/lub dodatek do benzyny
Bioetanol	Buraki cukrowe itp.	Fermentacja	
Bioetanol	Uprawy energetyczne, słoma itp.	Obróbka wstępna, hydroliza i fermentacja	
Biometaanol	Uprawy energetyczne	Gazyfikacja lub synteza metanolu	Ogniwa paliwowe
Olej roślinny	Rzepak, słonecznik itp.	-	Substytut i/lub dodatek do oleju napędowego
Biodiesel	Rzepak, słonecznik itp.	Estryfikacja	
Bioolej	Uprawy energetyczne	Piroliza	

# Energia wody

Pod pojęciem energia wody (hydroenergia) kryje się zarówno energia mórz i oceanów (występująca w postaci fal, pływów morskich, prądów i różnicy temperatury wód powierzchniowych i głębinowych), jak również energia wód śródlądowych zmagazynowana w zbiornikach wodnych i ciekach płynących. Energia wód przetwarzana jest na energię mechaniczną i energię elektryczną.

Historia wykorzystania energii wody sięga III w. p.n.e. Pierwszą maszyną, opisaną przez Filona z Bizancjum, było koło wodne o poziomej osi i pionowej płaszczyźnie obrotu, używane do podnoszenia wody w celu napędu zabawek mechanicznych (przy czym już w tamtych czasach koła wodne stosowane były również do nawadniania pól i osuszania kopalń). Nieco później, bo w I w. p.n.e., koła wodne znalazły zastosowanie do napędzania żaren w młynach. Wynalazek młynów szybko rozprzecznił się na terenach Cesarstwa Rzymskiego i - w nowocześniejszej przekładniach formie - przetrwał niemal bez zmian do XVIII w.

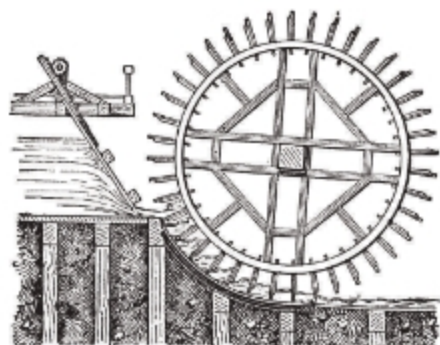
Wykorzystanie energii wody do wytwarzania energii elektrycznej stało się możliwe w XIX w. po wynalezieniu turbiny wodnej. W 1881 r. za pomocą dynama podłączonego do znajdującej się w młynie zbożowym turbiny oświetlono ulicę amerykańskiego miasta Niagara Falls, a rok później uruchomiono pierwszą na świecie elektrownię wodną - instalację na rzece Fox River w Appleton (stan Wisconsin).

## KOŁA WODNE - PODSTAWOWY ELEMENT MŁYNÓW WODNYCH

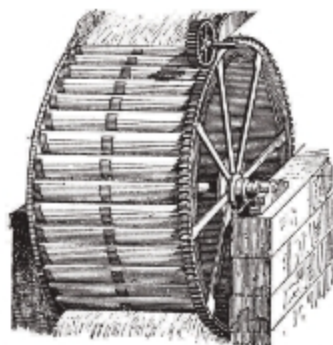
Konstrukcja koła wodnego była każdorazowo dostosowana do rzeki, nad którą stawiano młyn. Zazwyczaj na terenie płaskim umieszczane było koło podsiębierne (łopatkowe), a w przypadku występowania spiętrzeń wodnych stosowane były napędzane od góry koła nasiębierne (korytkowe). Rzadziej stosowane były koła śródsiębierne, które do połowy zanurzano w nurcie rzeki, zwiększając powierzchnię nacisku.

Koła podsiębierne poruszane były przez prąd rzeki. Strumień wody naciskał na dolne łopatki koła wprawiając je w ruch. W młynach energia uzyskana z obrotu koła przekazywana była przez przekładnię zębatą kamieniom młyńskim. Koła podsiębierne miały prostą budowę, lecz były mało efektywne - ich sprawność wynosiła 20-30%.

Koła nasiębierne wprawiane były w ruch przez wodę spadającą na ich zakrzywione łopatki. Charakteryzowały się większą efektywnością od kół podsiębiernych (ich sprawność sięgała 70%) i były niezależne od poziomu wody w zbiorniku.



Koło wodne podsiębierne



Koło wodne nasiębierne



## WYSTĘPOWANIE WODY NA ŚWIECIE

Na świecie istnieje około 1,4 mld km<sup>3</sup> wody, która występuje w różnych postaciach: wchodzi w skład organizmów roślinnych i zwierzęcych (do 50%), znajduje się pod ziemią (ponad 20%) oraz występuje w postaci wód gruntowych (ponad 20%). Jest ona niezbędna do życia. Ludzie wykorzystują ją na co dzień w gospodarstwach domowych, w rolnictwie, w przemyśle, do celów sanitarnych, do transportu, do rekreacji i nie tylko. Światowe zasoby wody to także wielki magazyn energii, z którego pochodzi około 20% wytwarzanej na świecie energii elektrycznej.



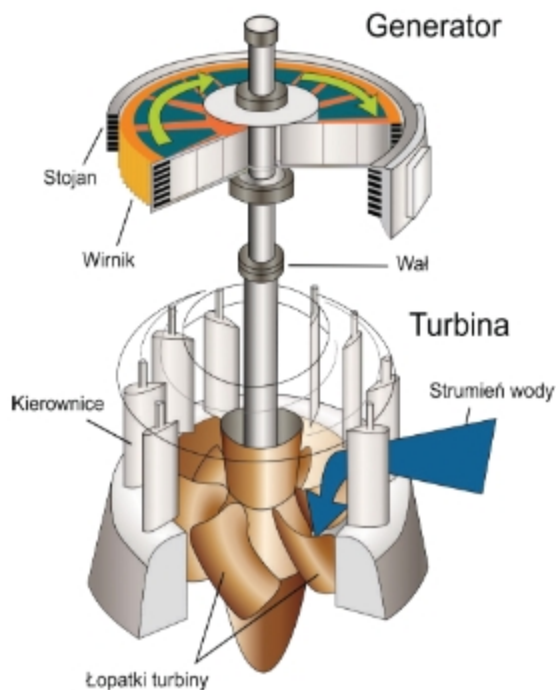
## TURBINY WODNE

W XIX w. koła wodne zostały zastąpione przez turbiny wodne - wyposażone w wirniki i łopatki urządzenia, które połączone z prądnicami służą do wytwarzania energii elektrycznej. Pierwszą turbinę wodną skonstruował w 1827 r. Benoît Fourneyron, jednak dopiero późniejsze udoskonalenia pozwoliły na jej przemysłowe wykorzystanie. W 1849 r. powstała turbina Francisa, w 1880 r. turbina Peltona, a w 1912 r. turbina Kaplana. Każda z tych konstrukcji dostosowana jest do innych warunków pracy: turbina Francisa stosowana jest przy średnich spadkach, turbina Peltona - przy dużych spadkach, turbina Kaplana (śmigłowa) - przy małych spadkach. W Polsce pierwszą turbinę wodną zainstalowano w 1828 r. (była to konstrukcja Filipa de Girarda), a pierwsza elektrownia wodna została uruchomiona na rzece Słupi w 1896 r.

W turbinach wodnych wykorzystuje się energię ciśnienia i energię prędkości. W zależności od tego, w jakiej postaci energia jest doprowadzona do wirnika, turbiny dzieli się na dwa rodzaje:

- **turbiny akcyjne** - turbiny, w których woda jest doprowadzana do wirnika pod ciśnieniem atmosferycznym. W turbinach tego typu zostaje wykorzystana energia kinetyczna. Do tej grupy zalicza się turbina Peltona.
- **turbiny reakcyjne** - turbiny, w których woda jest doprowadzana do wirnika pod ciśnieniem wyższym niż ciśnienie atmosferyczne. Turbiny reakcyjne wykorzystują energię ciśnienia wody oraz energię kinetyczną. Do tej grupy zalicza się turbina Francisa i Kaplana.

Podstawowym elementem każdej turbiny jest wirnik, który tworzy osadzona na wale tarcza lub bęben z wieńcem łopatkowym (czyli układem łopatek przymocowanych na obwodzie tarczy/bębna). Wirnik turbiny obraca się w wyniku przepływu wody. W części rozwiązań stosuje się dodatkowo nieruchomy wieńiec kierowniczy, który ma za zadanie odpowiednio ukierunkować przepływ wody na łopatki wirnika. Na drugim końcu wału znajduje się napędzany przez turbinę wodną generator prądotwórczy.



Przykładowa konstrukcja turbiny wodnej

## TYPY ELEKTROWNI WODNYCH

Elektrownia wodna (hydroelektrownia) to zakład, w którym energia wody zamieniana jest na energię elektryczną. Wyróżniamy kilka podstawowych typów elektrowni wodnych:

- **Elektrownie przepływowe** zlokalizowane są w korycie rzeki i wykorzystują energię przepływających wód przy małym spadku (kilkanaście metrów). Nie mają możliwości magazynowania wody i regulacji wytwarzanej mocy elektrycznej.
- **Elektrownie zbiornikowe (regulacyjne)**, dzięki znajdującemu się przed nimi zbiornikowi wodnemu mogą wytwarzać energię elektryczną z większą mocą, niż moc odpowiadająca chwilowemu dopływowi wody. Mogą także reagować na zmieniające się zapotrzebowanie na energię elektryczną i dostosowywać się do sezonowych wahań ilości przepływającej wody.
- **Elektrownie szczytowo-pompowe** posiadają dwa zbiorniki wodne: górny (jest to zbiornik sztuczny lub np. jezioro) oraz dolny (jezioro, spiętrzona dolina rzeki lub zbiornik sztuczny). W okresie małego zapotrzebowania na energię elektryczną, czyli np. w nocy, elektrownia przepompowuje wodę ze zbiornika dolnego do górnego, gromadząc energię potencjalną (ten tryb pracy określa się mianem pracy pompowej). Z kolei, gdy zapotrzebowanie na energię elektryczną wzrasta, woda jest uwalniana ze zbiornika górnego i spływając do dolnego zbiornika napędza turbinę (ten tryb pracy określa się mianem pracy generatorowej). Taki tryb pracy sprawia, że elektrownie szczytowo-pompowe stanowią magazyny energii elektrycznej.



Elektrownia zbiornikowa (regulacyjna)

- **Elektrownie pływowe** wykorzystują do produkcji energii elektrycznej przyplwy i odpływy morza lub oceanu, spowodowane przyciąganiem grawitacyjnym Księżyca i Słońca oraz ruchem obrotowym Ziemi. Aby możliwe było wykorzystanie energii pływów, ujścia rzek przegradzane są zaporami. Zapory wyposażone są w turbiny, które napędza woda wpływająca w czasie przyplwu do zbiornika oraz wypływająca z niego podczas odpływu. Energię pływów można wykorzystywać tylko w ok. 20 rejonach świata. Duże zasoby posiada np. Wielka Brytania, która wykorzystując energię pływów mogłaby pokryć około 20% swoich potrzeb energetycznych.



Elektrownia pływowa

- **Elektrownie maremotoryczne**, zwane inaczej falowo-wodnymi, produkują energię elektryczną wykorzystując energię fal lub prądów morskich (oceanicznych). Elektrownie tego typu mogą być zlokalizowane w pobliżu brzegu na głębokości 10-20 m (elektrownie nadbrzeżne i przybrzeżne) lub w dalszej odległości od brzegu na głębokości ponad 40 m (elektrownie morskie). W elektrowniach maremotorycznych stosowane są turbiny wodne (są one napędzane wodą, która wpływa do zbiornika zwięzającą się sztolnią, a następnie przelewa się przez upust zbiornika) lub turbiny powietrzne (które wprawiane są w ruch powietrzem, sprężonym w górnej części zbiornika przez zalewające dno zbiornika fale). Przykłady elektrowni maremotorycznych można znaleźć na norweskiej wyspie Toftestallen koło Bergen oraz na wyspie Islay w Szkocji.



Elektrownia maremotoryczna

- **Elektrownie maretermiczne**, nazywane również oceanotermicznymi, wytwarzają energię elektryczną wykorzystując ciepło, którego źródłem jest różnica temperatury pomiędzy ciepłymi warstwami powierzchniowymi a zimnymi warstwami głębinowymi morza. Elektrownie maretermiczne wykorzystują jako czynnik roboczy amoniak, freon lub propan, które parują w temperaturze wody powierzchniowej (wynoszącej ok. 30°C), następnie są skraplane w temperaturze wody czerpanej z głębokości 300-500 m (wynoszącej ok. 7°C). Elektrownie tego typu pracują na Hawajach, w Japonii, na Bali i Tahiti.

### Zapora wodna

Zapory wodne występują w większości elektrowni wodnych, chociaż nie zawsze są wymagane. Budowle te służą spiętrzeniu wody i mogą zostać wzniesione także na potrzeby utworzenia zbiorników rekreacyjnych, stawów hodowlanych czy zbiorników przeciwpowodziowych. Najbardziej rozpowszechnione w Polsce są zapory betonowe, choć występują również budowle ziemne i kamienne. Część zapory stanowią przelewy (regulujące przepływ wody), śluzy (umożliwiające żeglugę) i przepławki (przepusty, dzięki którym ryby mogą wędrować w górę rzeki).

### Turbina wodna

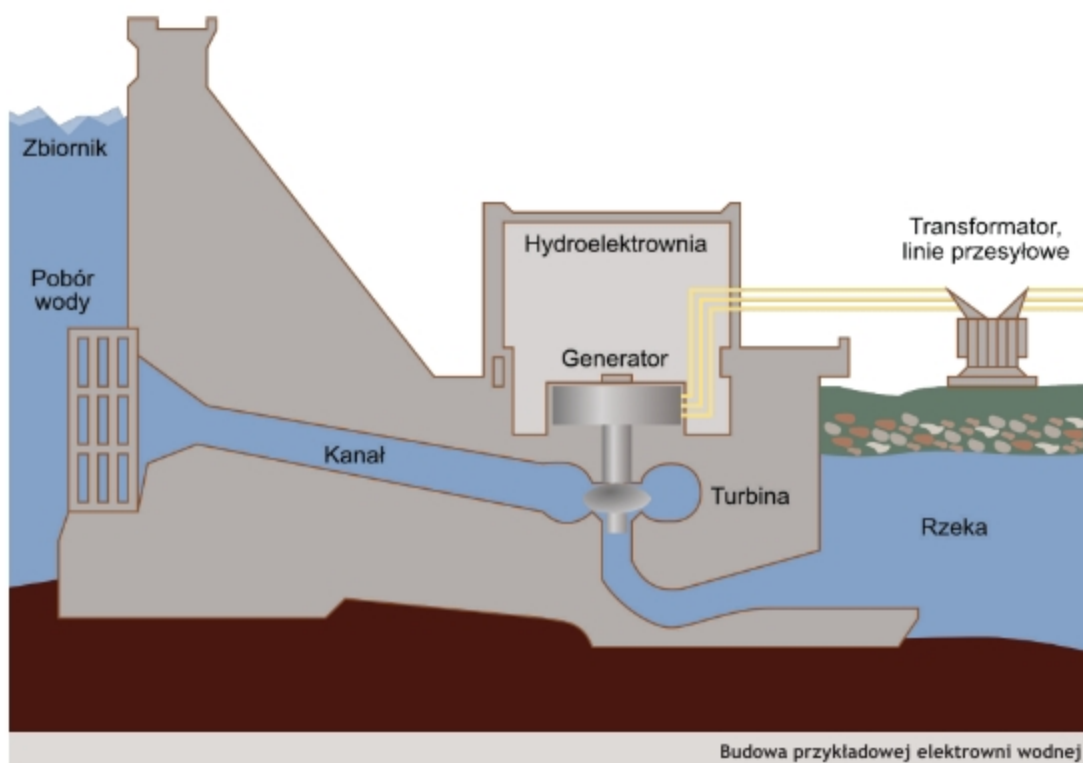
Podstawowy element każdej elektrowni wodnej, przetwarzający mechaniczną energię przepływającej wody na użyteczną pracę mechaniczną. Ogólna charakterystyka turbin zawarta została wcześniej.

### Generator energii elektrycznej

Turbina wodna zamienia energię kinetyczną na mechaniczną, zaś połączony z turbiną generator z energii mechanicznej wytwarza energię elektryczną. Praca generatora opiera się na prawie indukcji elektromagnetycznej odkrytym przez Michaela Faradaya w 1831 r.

### Linie przesyłowe

Energia elektryczna, wytworzona w elektrowni wodnej, transmitowana jest do odbiorców za pomocą linii przesyłowych. By zminimalizować straty przesyłowe w sieci elektroenergetycznej (wynikające z konwersji części energii elektrycznej w ciepło), wytworzoną energię kieruje się najpierw do stacji transformatorów, które zwiększają napięcie do wartości np. 220 lub 400 kilowoltów. Następnie, aby możliwe było wykorzystanie energii w domach i innych obiektach, napięcie jest z powrotem obniżane w lokalnych stacjach przekąźnikowych.



## NAJWIĘKSZE ELEKTROWNIE WODNE NA ŚWIECIE

### Zapora Trzech Przełomów

Zapora Trzech Przełomów jest największą tamą oraz hydroelektrownią na świecie. Znajduje się na rzece Jangcy w centralnej prowincji Chin - Hubei. Zapora ma długość równą 2335 m, wysokość wynoszącą 181 m oraz grubość od 40 do 115 m. W skład elektrowni wchodzi 32 generatory o mocy 700 MW każdy oraz dwa generatory o mocy 50 MW. Łączna moc elektrowni wynosi 22,5 GW, a ilość produkowanej rocznie energii elektrycznej dochodzi do 100 TWh.

Budowa Zapory Trzech Przełomów trwała od 1993 do 2010 r. Na potrzeby budowy przesiedlonych zostało ponad 1,26 mln osób - całkowitemu zatopieniu uległ obszar 17 dużych miast, 140 miasteczek i ponad 3000 wsi. Przemieszczenie 40 mld ton wody spowodowało ponadto zmianę prędkości obrotowej Ziemi o 0,06 sekundy i przesunięcia osi planety o 2 cm. Z drugiej strony, budowa Zapory przyczyniła się do ograniczenia zużycia węgla w tradycyjnych elektrociepłowniach o 31 mln ton rocznie, znacząco zmniejszając emisję zanieczyszczeń do atmosfery.



Zapora Trzech Przełomów



Zapora Trzech Przełomów



Zapora i hydroelektrownia Itaipu



Zapora i hydroelektrownia Itaipu

### Zapora i hydroelektrownia Itaipu

Zapora wodna na rzece Parana w Ameryce Południowej jest drugą co do wielkości elektrownią wodną na świecie. Zapora ma długość równą 7900 m oraz wysokość 196 m. W elektrowni zainstalowano 20 generatorów o mocy 700 MW każdy (łącznie daje to moc 14 GW). Rocznie produkuje do 95 TWh, co pokrywa zapotrzebowanie na prąd Paragwaju w 95% i ok. 20% zapotrzebowania Brazylii.

Zapora została zbudowana w latach 1975-1984 jako wspólne przedsięwzięcie Brazylii i Paragwaju. Jest położona na granicznym odcinku rzeki, w miejscu wodospadu Guairá i w pobliżu wodospadów Iguaçu.

Konsekwencją powstania kompleksu Itaipu stało się wysiedlenie z miejsca dotychczasowego zamieszkania niemal 60 tysięcy osób.

### Zapora i hydroelektrownia Xiluodu

Trzecia co wielkości elektrownia wodna znajduje się w pobliżu miasta Xiluodo w Chinach. Zapora spełnia dwa zadania: po pierwsze umożliwia wytwarzanie energii elektrycznej, po drugie - ochronę pobliskich terenów przed powodzią. Zapora ma długość przekraczającą 700 metrów oraz wysokości ponad 285 metrów. W ciągu sekundy przepływa przez nią ponad 32 tysiące m<sup>3</sup> wody, co pozwala napędzić zespół 18 turbin o mocy 770 MW każda. Łączna moc elektrowni wynosi niespełna 13,9 GW, a roczna produkcja energii elektrycznej kształtuje się na poziomie 57 TWh.

### Stopień wodny z elektrownią we Włocławku

Stopień wodny we Włocławku został zbudowany w latach 1962-1970. Składa się z zapory czolowej, jazu, elektrowni, śluzy żeglugowej, przepławki dla ryb oraz zbiornika zaporowego po stronie górnej Wisły. Wchodząca w skład stopnia wodnego hydroelektrownia jest największą elektrownią przepływową w Polsce - pracuje w niej 6 hydrozespołów z turbinami Kaplana o mocy znamionowej 26,7 MW każdy. Moc zainstalowana elektrowni wynosi 160,2 MW, a roczna produkcja energii elektrycznej jest na poziomie 700 GWh. Sprawia to, że w elektrowni wodnej we Włocławku wytwarzane jest ponad 20% energii elektrycznej powstającej w krajowych hydroelektrowniach.



Elektrownia wodna przepływowa we Włocławku



Elektrownia szczytowo-pompowa Żarnowiec

### Elektrownia szczytowo-pompowa Żarnowiec

Elektrownia Żarnowiec jest największą elektrownią szczytowo-pompową w Polsce. Została uruchomiona w maju 1983 r. nad Jeziorem Żarnowieckim w Czymanowie w województwie pomorskim. Na początku zakładano, że będzie to akumulator energii dla powstałej w przyszłości w Kartoszyńcu Elektrowni Jądrowej Żarnowiec. Jednak budowa elektrowni jądrowej została wstrzymana i obecnie Elektrownia Żarnowiec pełni rolę elektrowni szczytowo-pompowej. Łączna moc elektrowni wynosi 716 MW. Działanie elektrowni jest w pełni zautomatyzowane, nadzorowane przez Krajową Dyspozycję Mocy w Warszawie (uruchamianie i wyłączenie poszczególnych hydrozespołów realizowane jest zdalnie).

### Elektrownia szczytowo-pompowa Porąbka-Żar

Elektrownia wodna Porąbka-Żar jest drugą co do wielkości elektrownią szczytowo-pompową w Polsce i jedyną w kraju elektrownią podziemną. Obiekt mieści się w Międzybrodziu Bialskim, w obrębie kaskady rzeki Soły. Pierwszy hydrozespół zsynchronizowano z siecią na początku 1979 r., a ostateczny odbiór elektrowni nastąpił w grudniu 1979 r. Elektrownia wyposażona jest w cztery turbozespoły odwracalne posiadające turbiny Francisca. Moc generatorowa każdego turbozespołu wynosi 125 MW, a moc pompowa 135,5 MW.

### Zespół Elektrowni Wodnych Solina - Myczkowce

Zespół Elektrowni Wodnych Solina - Myczkowce zlokalizowany jest na rzece San. Elektrownia wodna Solina zalicza się do największych elektrowni szczytowo-pompowych na dopływie naturalnym zapory betonowej. Górny zbiornik elektrowni tworzy największe w Polsce sztuczne jezioro - Jezioro Solińskie. Elektrownia składa się z 4 hydrozespołów, a jej moc zainstalowana wynosi 200 MW. Dolny zbiornik stanowi Jezioro Myczkowskie, na którym zainstalowana jest elektrownia wodna Myczkowice - elektrownia przepływowo-wyrównawcza z 2 turbozespołami z turbinami Kaplana o łącznej mocy zainstalowanej 8,3 MW.



Elektrownia szczytowo-pompowa Porąbka-Żar

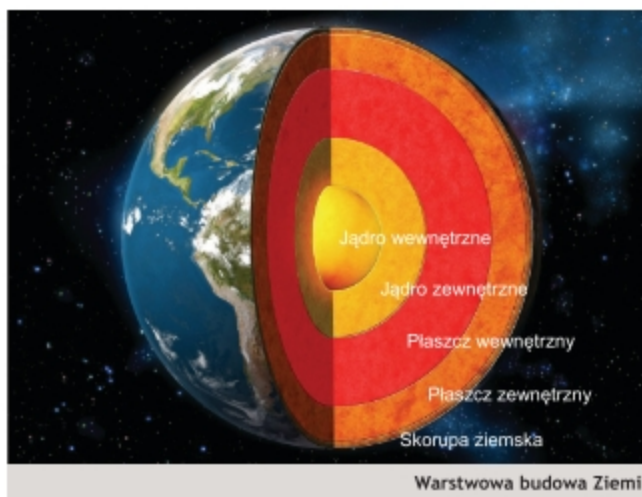
# Energia geotermalna

Energia geotermalna jest wewnętrznym ciepłem Ziemi, występującym w postaci gorącej wody, pary lub suchych gorących skał (energia geotermiczna). Jako energia odnawialna jest praktycznie niewyczerpana, jednak nie wszędzie może być ona dostępna. W celu jej wydobycia wykonuje się odwierty produkcyjne (do wydobywania wody) i chłonne (do zatłaczania jej z powrotem pod ziemię).

Ziemia ma budowę warstwową - składa się m.in. ze skorupy, płaszcza oraz jądra (zewnątrznego i wewnętrznego). Temperatura Ziemi wzrasta wraz z głębokością i w obszarze jądra osiąga ok. 6000°C. Przyrost temperatury wraz głębokością określany jest za pomocą dwóch parametrów: gradientu termicznego oraz stopnia geotermicznego:

- gradient geotermiczny to liczba stopni Celsjusza, o jakie wzrasta temperatura z każdym kilometrem w głąb Ziemi. Średni gradient termiczny pod powierzchnią kuli ziemskiej to  $-30^{\circ}\text{C}/\text{km}$ .
- stopień geotermiczny to wielkość, która mówi o ile metrów w głąb ziemi należy się przesunąć, aby temperatura wzrosła o  $1^{\circ}\text{C}$ . Średnia wartość stopnia geotermicznego to ok.  $33\text{ m}/^{\circ}\text{C}$ .

Energia z wnętrza Ziemi może być pozyskiwana na dwa sposoby: z zasobów hydrogeotermalnych (nośnikiem ciepła są w tym przypadku wody podziemne eksploatowane przez otwory wiertnicze) oraz petrogeotermalnych (tj. suchych gorących skał zwanych Hot Dry Rocks, w przypadku których ciepło pozyskuje się przez wprowadzenie wody otworami wiertniczymi do nagranych formacji skalnych).



## HISTORIA WYKORZYSTANIA ENERGII GEOTERMALNEJ

Energia geotermalna wykorzystywana była już w czasach starożytnych - rdzenni mieszkańcy obu Ameryk używali jej do gotowania, kąpeli oraz celów leczniczych już ponad 10 000 lat temu. Ok. 1500 roku p.n.e. na sycylijskiej wyspie Lipari powstała pierwsza murowana łaźnia wykorzystująca ciepło ze źródeł termalnych. Z kolei starożytni Grecy wykorzystywali gorące źródła w Pamukale, a starożytni Rzymianie w Abano Terme, w Baden i w Pompejach (także do ogrzewania domów). Na skalę przemysłową energię geotermalną zaczęto stosować dopiero w XIX i XX w. W 1904 r. otwarta została pierwsza na świecie elektrownia geotermalna - miało to miejsce w Larderello we Włoszech. Kolejne zakłady geotermalne zostały uruchomione dopiero po kilkudziesięciu latach w Islandii, w Nowej Zelandii, w Japonii, na Filipinach, w Stanach Zjednoczonych i w Rosji. Również w Polsce już ponad 1000 lat temu wykorzystywano dostępne zasoby geotermalne (Cieplice oraz Łądek - Zdrój w Sudetach). Obecnie krajem, który w największym stopniu wykorzystuje energię geotermalną, jest Islandia - w ten sposób ogrzewanych jest prawie 87% budynków znajdujących się na wyspie.



## ZASOBY GEOTERMALNE NA ŚWIECIE I W POLSCE

Energia geotermalna wykorzystywana jest w 78 krajach, w tym w 24 do produkcji energii elektrycznej. Większość zasobów wód geotermalnych posiada temperaturę niższą niż 100°C. Do tej grupy zaliczają się zasoby występujące w Polsce. Na terenie naszego kraju występują naturalne baseny sedymentacyjno-strukturalne, wypełnione gorącymi wodami podziemnymi. Temperatura tych wód w większości przypadków wynosi od kilkudziesięciu do ponad 90°C.

## PRZYKŁADOWE ZASTOSOWANIA WÓD GEOTERMALNYCH

W zależności od temperatury wód termalnych, dzielimy je na wody zimne (o temperaturze niższej niż 20°C), ciepłe (od 20 do 35°C), gorące (od 35 do 80°C), bardzo gorące (od 80 do 100°C) oraz przegrzane (powyżej 100°C). Różne rodzaje źródeł znajdują zastosowanie w różnych dziedzinach. Do produkcji energii elektrycznej stosuje się przede wszystkim wody przegrzane o temperaturze przekraczającej 150°C. Wody o niższej temperaturze stosowane są m.in. w ciepłownictwie, balneologii, rolnictwie, ogrodnictwie oraz hodowli ryb. Wykorzystuje się je także w przemyśle, w tym w procesie pasteryzacji mleka, barwienia wełny czy też suszenia drewna.

Przykładowe (nie jedyne) zastosowania wód geotermalnych zostały pokazane w poniższej tabeli.

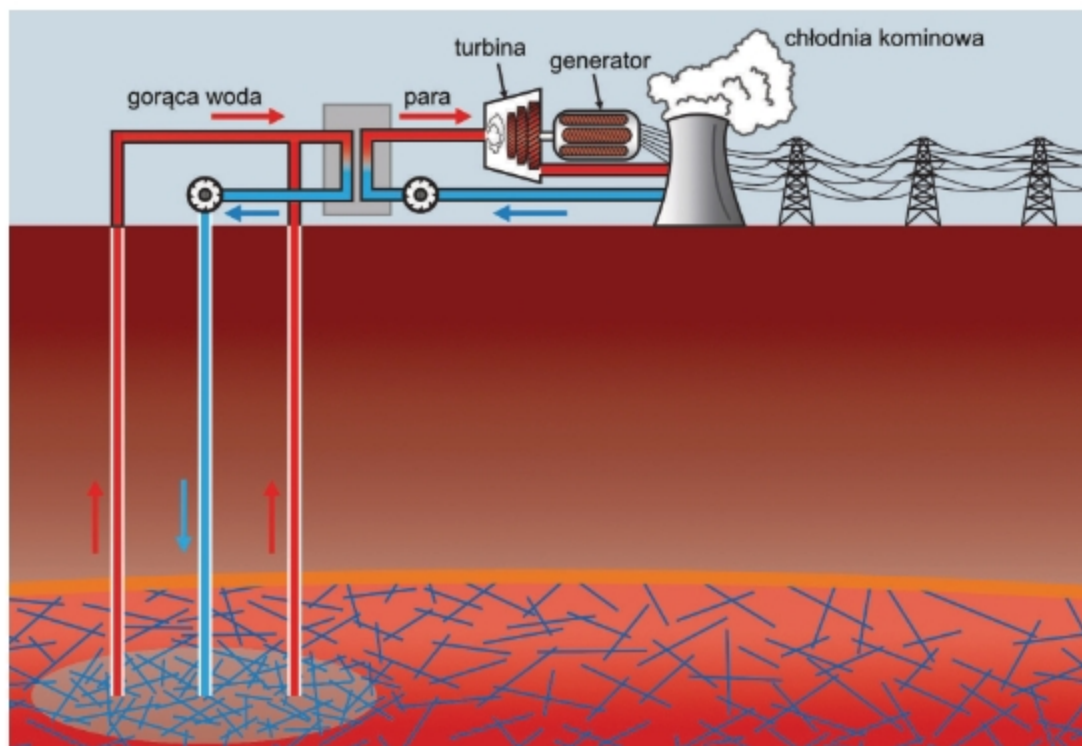
Temperatura wody	Przykład zastosowania
do 20°C	<ul style="list-style-type: none"><li>• hodowla ryb</li></ul>
20 - 35°C	<ul style="list-style-type: none"><li>• zapewnienie ciepłej wody, niezbędnej do całorocznej pracy kopalni w rejonach o chłodnym klimacie</li><li>• podgrzewanie gleby</li></ul>
35 - 80°C	<ul style="list-style-type: none"><li>• pływalnie</li><li>• balneologia</li><li>• hodowla zwierząt</li><li>• uprawy szklarniowe</li><li>• ogrzewanie budynków i szklarni</li></ul>
80 - 100°C	<ul style="list-style-type: none"><li>• intensywne odładzanie</li><li>• suszenie warzyw</li><li>• pranie i suszenie wełny</li></ul>
powyżej 100°C	<ul style="list-style-type: none"><li>• suszenie i utwardzanie płyt cementowych</li><li>• koncentracja roztworu soli</li><li>• odparowywanie w procesie rafinacji cukru</li><li>• konserwacja produktów spożywczych</li><li>• suszenie drewna</li><li>• odparowywanie roztworów o dużym zagęszczeniu</li></ul>

## ELEKTROWNIA GEOTERMALNA

Elektrownie geotermalne są zakładami wytwarzającymi energię elektryczną z wykorzystaniem energii wnętrza Ziemi. Istnieją dwa zasadnicze rozwiązania stosowane w zależności od temperatury wody geotermalnej:

- **elektrownie z bezpośrednim wykorzystaniem par wód geotermalnych.** Para geotermalna jest pozyskiwana przez co najmniej 2 odwierty - jeden eksploatacyjny, a drugi zatłaczający. Po usunięciu kropelek wody w separatorze i ewentualnym przegrzaniu, para o wysokim ciśnieniu i temperaturze kierowana jest do turbiny parowej. W turbinie para ulega ekspansji, a następnie kierowana jest do skraplacza. Skroplona para wodna wraz z wodą wydzieloną w separatorze zatłaczana jest z powrotem do złoża geotermalnego. Tego typu rozwiązanie może być stosowane, gdy temperatura wody geotermalnej jest większa niż 120°C. Sprawność elektryczna elektrowni z bezpośrednim wykorzystaniem par wód geotermalnych sięga 30%.
- **elektrownie binarne (dwuczynnikowe).** Elektrownie tego typu nie wykorzystują klasycznego układu parowo-wodnego. Woda geotermalna kierowana jest do specjalnego wymiennika ciepła (parownika), gdzie oddaje ciepło do drugiego obiegu z czynnikiem roboczym o niskiej temperaturze wrzenia. Czynnik roboczy odparowuje, a następnie trafia na turbinę parową. Następnie pary czynnika chłodzone są w kolejnym wymienniku ciepła (skraplaczu) za pomocą zimnej wody. W tym przypadku możliwe jest wykorzystanie wody geotermalnej o temperaturze niższej niż 100°C. Sprawność cieplna w tym przypadku wynosi 10-15%.

Łączna moc zainstalowana elektrowni geotermalnych na świecie przekroczyła w 2014 r. poziom 12,6 GW, a produkcja energii elektrycznej - 73,5 TWh. Elektrownie stosujące pary geotermalne działają m.in. na Islandii, we Włoszech i w Portugalii (Azory), a instalacje binarne w Niemczech, Austrii i Rumunii. W Polsce, ze względu na stosunkowo niską temperaturę wód geotermalnych, nie ma obecnie ani jednej elektrowni geotermalnej - działa jedynie kilka geotermalnych zakładów ciepłowniczych.



Budowa elektrowni geotermalnej binarnej (dwuczynnikowej)



### The Geysers Geothermal Complex - Kalifornia, Stany Zjednoczone

The Geysers Geothermal Complex to największy zespół elektrowni geotermalnych na świecie. W 2016 r. moc zainstalowana wyniosła 1517 MW, a roczna produkcja energii elektrycznej - ok. 5,5 TWh. W skład kompleksu wchodzi 15 elektrowni geotermalnych o łącznej powierzchni 115 km<sup>2</sup>. Elektrownie posiadają 327 otwory produkcyjne oraz 52 otwory zatlaczające. Średnia głębokość otworów wynosi 2,6 km, a najgłębszy ma niemal 4 km. Przeciętna temperatura w rezerwaruarze sięga 190°C. The Geysers Geothermal Complex jest jednym z dwóch kompleksów geotermalnych na świecie, w którym występują pary geotermalne nasycone suche wykorzystywane bezpośrednio do produkcji energii elektrycznej.



The Geysers Geothermal Complex (USA)

### Larderello Geothermal Complex - Toskania, Włochy

Najstarszą, a jednocześnie drugą co do wielkości elektrownią geotermalną na świecie, jest Larderello Geothermal Complex. Elektrownia ta zlokalizowana jest w południowej Toskanii we Włoszech. Kompleks zajmuje obszar o powierzchni 250 km<sup>2</sup>, na którym znajduje się 200 otworów produkujących przegrzaną parę o temperaturze 150-270°C. Moc zainstalowana w 2013 r. wyniosła niemal 600 MW. Roczna produkcja energii elektrycznej w 2016 r. przekroczyła 5,8 TWh.



Larderello Geothermal Complex (Włochy)

### Wykorzystanie energii geotermalnej na Islandii

Niezwykle interesującym krajem, jeśli chodzi o wykorzystanie energii geotermalnej jest Islandia, której nadano przydomek „gorącej wyspy”. Całkowita moc zainstalowana elektrowni geotermalnych działających na Islandii wynosi ok. 573 MW, co pozwala na wytwarzanie w skali roku ok. 4400 GWh energii elektrycznej (co odpowiada ponad 26% krajowej produkcji prądu). Dodatkowo gorąca woda wykorzystywana jest do ogrzewania blisko 87% budynków w kraju. Wśród elektrowni geotermalnych wyróżnić można następujące obiekty: Svartsengi (o mocy elektrycznej równej 75 MW i mocy cieplnej wynoszącej 150 MW), Nesjavellir, Hellisheiði, Krafla oraz Reykjanes.



Elektrownia geotermalna Nesjavellir (Islandia)

### Geotermia w Polsce

W Polsce zasoby geotermalne znajdują się pod powierzchnią 80% terytorium kraju, jednak ich eksploatacja nie jest łatwa. Wszystkie instalacje wykorzystujące energię wnętrza ziemi są typu bezpośredniego lub służą tylko do produkcji ciepła. Zakłady geotermalne pracują m.in. w Zakopanem, Pырzyczach, Uniejowie i Mszczonowie, natomiast źródła geotermalne są wykorzystywane także w szereg uzdrowisk (Cieplice, Duszniki Zdrój, Łądek Zdrój, Ustroń, Konstancin, Ciechocinek).

Najstarszą, a zarazem największą ciepłownią geotermalną w Polsce jest ciepłownia w Bańskiej Niżnej (Geotermia Podhalańska). Posiada ona moc cieplną przekraczającą 60 MW i produkuje ok. 400 TJ ciepła w skali roku (2015 r.). Posiada trzy odwierty produkcyjne oraz dwa odwierty chłonne. Sieć ciepłownicza, którą ciepło transportowane jest do odbiorców, obejmuje cztery gminy: Szaflary, Biały Dunajec, Ponorin oraz Zakopane.

# Energia otoczenia - pompy ciepła

Pompy ciepła to urządzenia, które wykorzystują niskotemperaturową energię otoczenia (ciepło zakumulowane w powietrzu, gruncie lub wodzie) do wytwarzania ciepła na potrzeby systemu ogrzewania lub przygotowania ciepłej wody użytkowej. Wykorzystanie darmowego ciepła otoczenia pozwala znacząco ograniczyć ilość energii napędowej (wymaganej do zasilenia pompy ciepła).

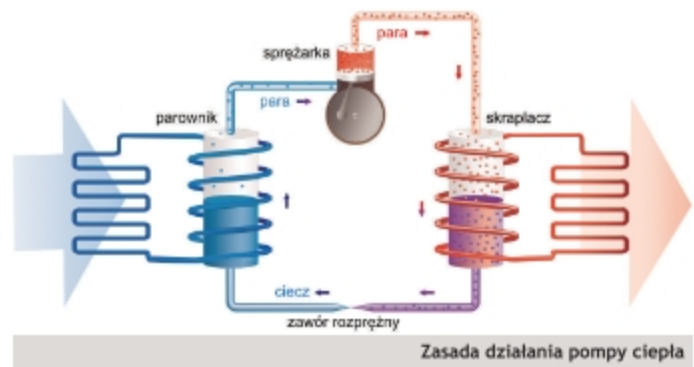
Pompa ciepła jest urządzeniem, które wykorzystuje dolne źródło ciepła (grunt, powietrze lub wodę) do wygenerowania ciepła w górnym źródle ciepła (np. instalacji centralnego ogrzewania lub instalacji przygotowania ciepłej wody użytkowej). Stosowany w pompach czynnik roboczy jest sprężany i rozprężany, przez co uzyskuje się efekt nagrzewania i chłodzenia.

Podstawowe elementy pompy ciepła to:

- parownik,
- sprężarka,
- skraplacz,
- zawór rozprężający.

Cykl działania pompy ciepła składa się z następujących etapów:

- 1) Ciepło pobierane z dolnego źródła ciepła jest przekazywane do specjalnego wymiennika ciepła - parownika, w którym następuje przekazanie ciepła do obiegu wewnętrznego pompy. Czynnik niskowrzący, który znajduje się w układzie wewnętrznym, pod wpływem dostarczonego ciepła odparowuje.
- 2) Sprężarka, zasilana energią elektryczną, znacząco podnosi ciśnienie pary. Poprzez podwyższenie ciśnienia następuje zmiana poziomu energetycznego i czynnik uzyskuje wyższą temperaturę.
- 3) W skraplaczu następuje wymiana ciepła z tzw. górnym źródłem ciepła. Pary czynnika niskowrzącego ochładzają się i ulegają skropleniu (zamieniają się ponownie w ciecz). Ciepło skraplania i ciepło sprężania jest oddawane do wody z instalacji grzewczej lub instalacji przygotowania ciepłej wody użytkowej.
- 4) Czynnik niskowrzący, znajdujący się w fazie ciekłej i wciąż posiadający wysokie ciśnienie, zostaje rozprężony w zaworze rozprężnym, a następnie trafia z powrotem do parownika. Cały cykl pracy pompy ciepła rozpoczyna się od początku.



## WSPÓLCZYNNIK WYDAJNOŚCI CIEPLNEJ POMP CIEPŁA

Najistotniejszym parametrem charakteryzującym pracę pomp ciepła jest współczynnik wydajności grzewczej COP (z ang. Coefficient of Performance). Współczynnik ten wyrażany jest jako stosunek ilości ciepła wytworzonego przez pompę ciepła do ilość energii dostarczonej do jej napędu. Średnioroczna wartość tego współczynnika waha się z reguły w granicach 3-5. W celu uzyskania wysokiej wartości współczynnika COP zalecana jest jak najmniejsza różnica temperatury pomiędzy dolnym a górnym źródłem ciepła. Dlatego też pompy ciepła współpracują najczęściej z instalacjami ogrzewania podłogowego, w przypadku których temperatura robocza jest sporo niższa w porównaniu do instalacji z tradycyjnymi grzejnikami ściennymi.

## WYKORZYSTANIE POMP CIEPŁA



Pierwsza instalacja do ogrzewania domu, bazująca na amoniakowym urządzeniu sprężarkowym, została skonstruowana w 1928 r. przez Anglika Thomasa G. Haldane. W okresie II wojny światowej urządzenia te znalazły zastosowanie na łodziach podwodnych do ogrzewania i osuszania powietrza. W okresie największego rozwoju tej dziedziny, w latach 80. XX w., w Stanach Zjednoczonych ok. 30% nowobudowanych domków wyposażano w pompy ciepła.

## DOLNE ŹRÓDŁA CIEPŁA DLA POMP CIEPŁA

W zależności od sposobu pozyskania ciepła z dolnego źródła, wyróżniamy następujące typy pomp ciepła:

- pompy ciepła powietrze/woda, gdzie dolnym źródłem ciepła jest powietrze atmosferyczne,
- pompy ciepła woda/woda oraz solanka/woda, w przypadku których ciepło pobierane jest z gruntu, wód powierzchniowych itp.

Źródła ciepła naturalne charakteryzują się dużą zmiennością temperatury, zależną przede wszystkim od pory roku. Alternatywą są sztuczne źródła ciepła takie jak spaliny, ścieki czy woda w systemach ciepłowniczych (ich parametry zależą od procesów, w wyniku których powstają).

### Powietrze atmosferyczne

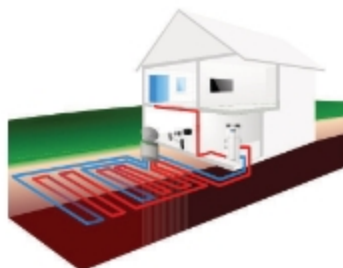
Powietrze jest najłatwiej dostępnym źródłem energii. Duże wahania temperatury powietrza (zarówno roczne, jak i dobowe) stanowią jednak przeszkodę w uzyskaniu stałej, wysokiej efektywności pomp ciepła. W związku z tym pompy ciepła tego typu powinny pracować w układach bivalentnych, tj. systemach z dodatkowym, awaryjnym źródłem ciepła (np. kotłem gazowym).

### Grunt

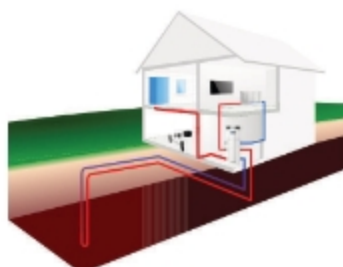
Do odbioru ciepła z gruntu wykorzystuje się poziome lub pionowe wymienniki ciepła - tj. odpowiednio ułożone rury w kształcie węzownic lub uzwojeń spiralnych, wewnątrz których przepływa nośnik ciepła (jest nim woda lub solanka). Wymienniki poziome sytuowane są poniżej strefy przemarzania gruntu, na głębokości ok. 1,2-2 m. Wymienniki pionowe umieszcza się z kolei w otworach wywierconych na głębokość 20-100 metrów. Zaletą pionowych wymienników ciepła w porównaniu do poziomych jest mniejsza wymagana powierzchnia, jednak koszty wiercenia głębszych otworów są dużo wyższe.

### Woda

Jako dolne źródła ciepła stosuje się wody powierzchniowe (rzeki, stawy itp.) oraz wody gruntowe. W pierwszym przypadku woda przetłaczana jest bezpośrednio do parownika. Zaletą takiego rozwiązania jest niski koszt, wadą - duże roczne wahania temperatury wody. W przypadku wód gruntowych wierci się zazwyczaj dwa otwory w odległości od siebie co najmniej 20 metrów. Ze studni czerpalnej pobierana jest woda, która po oddaniu ciepła w parowniku, wtłaczana jest z powrotem do gruntu studnią chłonną.



Wymiennik gruntowy poziomy



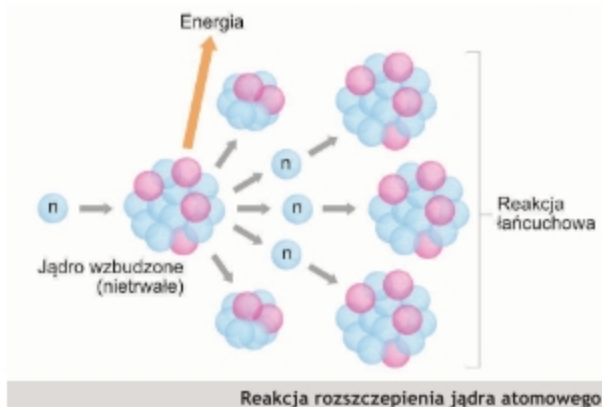
Wymiennik gruntowy pionowy

# Energia jądrowa

Energia jądrowa wydziela się podczas przemian jądrowych i związana jest z różnicami w energii wiązania poszczególnych jąder atomowych. Podstawowym nośnikiem są w tym przypadku zasoby uranu, którego jądra ulegają kontrolowanej reakcji rozpadu. Przy rozszczepieniu 1 grama uranu uzyskuje się taką samą ilość energii, jak przy spaleniu ponad 2 ton węgla.

Rozszczepienie jądra atomowego to reakcja polegająca na rozpadzie jądra na dwie (lub więcej) części o zbliżonych masach, któremu towarzyszy emisja neutronów oraz kwantów gamma. Rozszczepieniu ulegają jądra ciężkie posiadające dużą liczbę nukleonów. Zaliczamy do nich przede wszystkim uran, pluton i tor. Z uwagi na dostępność w przyrodzie, wysokie prawdopodobieństwo rozszczepienia i możliwość stosunkowo łatwego kontrolowania reakcji, w reaktorach jądrowych wykorzystywany jest uran-235.

Jądra atomowe ulegają rozszczepieniu samoczynnie lub w wyniku indukcji zewnętrznej. W przypadku izotopów uranu-235 wykorzystuje się przede wszystkim ich zdolność do rozszczepienia indukowanego (wymuszonego). Wymuszone rozszczepienie jądra atomowego występuje w wyniku oddziaływania jądra z neutronem, który zazwyczaj wytracił swoją pierwotną energię w materiale lekkim, bogatym w wodór (zwanym moderatorem) - np. w wodzie. W wyniku rozszczepienia, oprócz powstania dwóch (lub więcej) jąder porzpadowych (tzw. fragmentów rozszczepienia), emitowane są także dodatkowe neutrony oraz fotony gamma. W efekcie nowo powstałe neutrony mogą powodować rozszczepienie kolejnych jąder, co powoduje powstanie kolejnych neutronów. Proces ten zwany jest reakcją łańcuchową i wykorzystywany jest m.in. do produkcji energii w reaktorach jądrowych.



## HISTORIA ENERGII JĄDROWEJ

Ludzie wiedzieli o występowaniu atomów w przyrodzie już prawie 2,5 tys. lat temu, jednak dopiero pod koniec XIX w. udało się naukowo udowodnić ich istnienie. Historia energii jądrowej rozpoczęła się wraz z odkryciem uranu przez Martina Heinricha Klaprotha oraz zjawiska radioaktywności uranu przez Antoine Henri Becquerela. W 1919 r. Ernest Rutherford odkrył reakcję jądrową, a niespełna 20 lat później niemieccy chemicy Lise Meitner i Otto Frisch dokonali pierwszego indukowanego rozbicia jądra atomowego uranu. W 1942 r. w pierwszym eksperymentalnym reaktorze atomowym Chicago Pile-1 osiągnięta została masa krytyczna (tj. minimalna ilość materiału rozszczepialnego potrzebnego do zapoczątkowania reakcji łańcuchowej). Umożliwiło to następnie rozwój energii atomowej w celach przemysłowych i wojennych. Po wojnie, w 1951 r., w Stanach Zjednoczonych po raz pierwszy wykorzystano ciepło z reaktora do wytworzenia pary i napędu turbiny. W 1954 r. w Obnińsku (na terenie ówczesnego Związku Radzieckim) została otwarta pierwsza elektrownia atomowa wytwarzająca energię elektryczną z energii pochodzącej z rozszczepiania jąder atomu. Z uwagi na zimną wojnę, dopiero w latach 70. elektrownie jądrowe, projektowane już ściśle na potrzeby cywilne, zaczęły odgrywać istotną rolę w energetyce.

$$E = MC^2$$

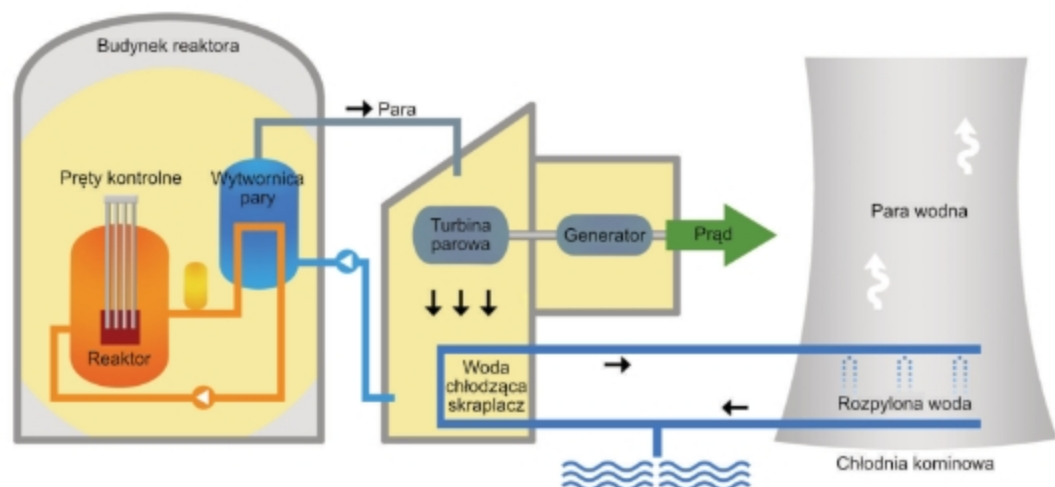
Słynny wzór Alberta Einsteina  $E=mc^2$  mówi, że energia  $E$  jest formą masy  $m$  i odwrotnie. Oznacza to, że zderzając ze sobą dwie odpowiednio rozprędzone masy, możemy energię zderzenia zamienić na masę nowopowstałych obiektów. W największym na Ziemi akceleratorze LHC protony rozpędzane są do tak dużych energii, że w wyniku zderzenia pary dwóch takich cząstek może powstać aż 7 tysięcy nowych protonów. Wszystko to w wyniku zamiany energii na masę. Zjawisko odwrotne, czyli zamiana masy na energię, zachodzi m.in. we wnętrzu reaktorów jądrowych.



## ELEKTROWNIA JĄDROWA

W elektrowni jądrowej ciepło powstaje w wyniku reakcji rozszczepiania jąder atomów uranu we wnętrzu reaktora. Klasyczny reaktor jądrowy posiada elementy paliwowe zawierające odpowiednią ilość uranu-235 przeznaczonego do reakcji rozszczepienia. Oprócz paliwa reaktor zawiera moderator. Typowym i tanim moderatorem jest woda, w której neutrony przekazują swoją energię protonom - jądrom wodoru znajdującego się w wodzie. Co istotne, woda może pełnić jednocześnie funkcję moderatora i chłodziwa. We wnętrzu rdzenia reaktora znajdują się ponadto elementy wykonane z materiału silnie pochłaniającego neutrony (np. związków boru lub kadmu), które służą do sterowania mocą reaktora. Są to m.in. pręty sterowania, bezpieczeństwa i kompensacyjne. Wsuniecie do rdzenia reaktora prętów sterujących powoduje obniżenie intensywności przebiegu reakcji rozszczepiania, a w konsekwencji zmniejszenie mocy reaktora. Pręty sterujące wsuwane są pomiędzy elementy paliwowe także w przypadku sytuacji awaryjnych, gdy konieczne jest zatrzymanie reaktora.

W wyniku reakcji rozszczepienia w reaktorze jądrowym powstają znaczne ilości ciepła, które odbierane są przez czynnik roboczy (z reguły jest nim woda). Gorąca woda może albo natychmiast przekształcić się w parę (tak się dzieje w tzw. reaktorach wrzących) albo zostać skierowana do wytwornicy pary, gdzie spowoduje odparowanie czynnika krążącego w obiegu wtórnym (tak się dzieje w reaktorach wodno-ciśnieniowych). Para wodna, analogicznie jak w przypadku elektrowni konwencjonalnej, kierowana jest na łopatki turbin parowych, które napędzają generatory energii elektrycznej.



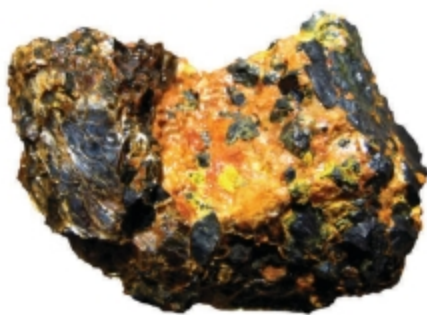
Schemat elektrowni jądrowej

## CYKL PALIWOWY

Cykl paliwowy dzieli się na trzy części: wydobycie i przygotowanie paliwa, wypalenie go w reaktorze oraz utylizacja powstałych odpadów radioaktywnych.

Uran wydobywany jest najczęściej w postaci rud z wykorzystaniem metod odkrywkowych, głębinowych lub otworowych (w sposób bardzo zbliżony do kopalń konwencjonalnych surowców). Po wydobyciu ruda uranu poddawana jest obróbce, w wyniku której uzyskuje się oczyszczone tlenki uranu - tzw. yellowcake. Jest to jedynie półprodukt, z którego wytwarza się paliwo do reaktorów jądrowych - wstępnie przerobiona ruda uranu zawiera jedynie 0,7% rozszczepialnego izotopu U-235, resztę stanowi nierozszczepialny izotop U-238. Proces wzbogacania dzieli się na dwie fazy: konwersja, tj. łączenie uranu z fluorem w sześćfluorek uranu oraz właściwy proces wzbogacania metodą dyfuzyjną lub wirówkową. Po tym procesie zawartość izotopu U-235 wynosi ok. 3-5 %. Po konwersji i wzbogaceniu sześćfluorek uranu zamieniany jest w tlenek uranu. Ze sproszkowanego tlenku uranu wypieka się pastylki o przeciętnej długości 1,5 cm i średnicy 1 cm, które umieszcza się najczęściej w cyrkonowych rurkach - prętach paliwowych. Kilkaset takich prętów tworzy tzw. zestaw paliwowy, który umieszczany jest w reaktorze i umożliwia produkcję energii dzięki reakcji rozszczepienia jąder uranu U-235.

Gdy pręty paliwowe ulegną wypaleniu (wymienia się je średnio co dwa lata), rozpoczyna się proces ich usuwania i utylizacji. Najpierw na ok. 10 lat umieszcza się je w basenie z wodą w celu obniżenia ich aktywności i schłodzenia. Następnie wypalone paliwo wyjmuje się z basenu i transportuje do zakładu, gdzie oddziela się produkty rozszczepienia nienadające się do ponownego użytku od uranu i plutonu, które można ponownie wykorzystać (w wypalonym paliwie znajduje się 95% pierwotnej zawartości U-238 wraz z domieszką Pu-239 i pozostałych produktów rozszczepienia). Recykling wypalonego paliwa pozwala zaoszczędzić ok. 30% świeżego uranu i ok. 5-krotnie zredukować objętość ostatecznych odpadów. Odpady wysokoaktywne, nie nadające się do recyklingu, zostają przeniesione do okresowego przechowalnika (zlokalizowanego na terenie elektrowni jądrowej), w którym może być magazynowane



Ruda uranu



Pojemniki z odpadami radioaktywnymi

przez kolejne 40-50 lat. Kolejnym krokiem jest depozycja wypalonego paliwa na składowisku w formacjach geologicznych. Wyladowane z reaktora wypalone paliwo jest silnie radioaktywne i wydziela ciepło, które wytwarzane jest na skutek rozpadów promieniotwórczych. Po ok. 4 latach aktywność produktów rozszczepienia zawartych w wypalonym paliwie zmniejsza się 4-krotnie, a po ok. 300 latach aktywność produktów rozszczepienia zmniejsza się 1000-krotnie - odtąd stają się one praktycznie nieszkodliwe.

Bezpośrednie promieniowanie z odpadów promieniotwórczych nie stwarza żadnego zagrożenia - już kilkumetrowa warstwa ziemi wystarcza, by promieniowanie to nie wydostało się na powierzchnię. Dla zapewnienia większego bezpieczeństwa odpady składowane są kilkaset metrów pod ziemią, gdzie jedynym zagrożeniem jest właściwie możliwość wymycia ich przez wodę. Aby uchronić się przed taką ewentualnością, przy składowaniu wypalonego paliwa stosuje się system wielu kolejnych barier fizycznych, zapobiegających rozprzestrzenianiu się substancji promieniotwórczych oraz pochłaniających promieniowanie. Skuteczność systemu barier związana jest z ich wielostopniowością, zabezpieczającą odpady przed rozsypaniem, rozproszaniem, rozpyleniem i wymywaniem substancji promieniotwórczych.

Pierwszy w historii reaktor jądrowy produkujący energię elektryczną na potrzeby sieci lokalnej uruchomiono w ZSRR w 1954 r. Z kolei pierwsza komercyjna elektrownia jądrowa została oddana do użytku dwa lata później w Wielkiej Brytanii. Aktualnie na świecie pracuje obecnie ok. 440 reaktorów energetycznych w ponad 30 krajach, które posiadają całkowitą moc zainstalowaną 379 GW i dostarczają ok. 16% światowej energii elektrycznej. Mniej więcej połowa z tych krajów przynajmniej w 25% pokrywa swoje zapotrzebowanie na energię elektryczną za pomocą elektrowni jądrowych.

#### Największa elektrownia jądrowa na świecie

Największa na świecie elektrownia atomowa znajduje się w Japonii. Jej rekordową wielkość potwierdza księga Guinnessa - obiekt zajmuje powierzchnię ponad 4,2 km<sup>2</sup> i położony jest na terenie dwóch miast: Kashiwazaki i Kariwa. Elektrownia posiada siedem reaktorów jądrowych o łącznej mocy przekraczającej 8000 MW. Przekłada się to na równowartość energii, którą zużywa 16 milionów gospodarstw. Woda potrzebna do chłodzenia pobierana jest bezpośrednio z morza, nad którym znajduje się obiekt.



Elektrownia jądrowa Kashiwazaki Kariwa, Japonia

#### Największa elektrownia jądrowa w Europie

Największą w Europie elektrownią jądrową jest ukraińska Zaporoska Elektrownia Atomowa zlokalizowana w południowo-wschodniej części Ukrainy, nad Dnieprem (w pobliżu miejscowości Enerhodar, czyli około 100 km od Zaporozża). Jest odpowiedzialna za wytwarzanie 50% krajowej energii jądrowej oraz 20% całkowitej energii, jaką wykorzystuje Ukraina. W skład obiektu wchodzi sześć reaktorów jądrowych, z których pierwszych pięć powstało w latach 1985-1989, a ostatni został zbudowany siedem lat później. Reaktory chłodzone są z wykorzystaniem wód Dniepru.



Zaporoska Elektrownia Atomowa, Ukraina

#### Największa elektrownia jądrowa w Ameryce Północnej

Największą elektrownią jądrową w Ameryce Południowej jest Bruce Power Generating Station, która posiada osiem reaktorów o łącznej mocy 6232 MW. Wyposażona jest w reaktory CANDU, które wykorzystują uran i ciężką wodę. Obiekt zlokalizowany jest w Hrabstwie Bruce w Kanadzie i zajmuje powierzchnię 2300 hektarów.

Budowa elektrowni rozpoczęła się w 1970 r. i zajęła 17 lat. W chwili obecnej czynnych jest tylko sześć bloków. Pozostałe dwa, które są w stanie generować 1500 MW energii mają być wkrótce uruchomione. Wówczas elektrownia będzie drugą największą elektrownią jądrową na świecie.



Bruce Power Generating Station, Kanada

# Energooszczędność

Ciepło jest podstawowym źródłem potencjalnych oszczędności energetycznych w budynkach mieszkalnych - nawet 70% pochłanianej przez nie energii zużywane jest na potrzeby ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej. Bardzo istotnym aspektem są również potencjalne oszczędności w zakresie zużycia energii elektrycznej.

Dom konsumuje energię codziennie przez 24 godziny na dobę. Zużywamy ją kiedy zapalamy światło, gotujemy wodę w czajniku czy włączamy inne urządzenia elektryczne. Energię zużywamy także po to, aby zapewnić ciepło zimą, a chłód latem. Warto więc zwrócić uwagę na to, w jaki sposób korzystamy z energii. Mniejsze zużycie energii to nie tylko korzyści dla środowiska, ale również mniejsze wydatki w budżecie domowym.

## OGRZEWANIE

Jednym w powszechnie panujących mitów dotyczących zużycia energii elektrycznej w domu jest dominujący udział urządzeń AGD, tymczasem to ogrzewanie pochłania często nawet 70% całości energii zużywanej w gospodarstwach domowych. Optymalna temperatura w pomieszczeniach znacznie poprawia komfort ich użytkowania. Przyjmuje się, że najcieplej powinno być w łazience (24°C), a nieco chłodniej w pokoju dziennym i kuchni (20°C) oraz w sypialni (18°C). Wynika z tego, że wiele polskich domów jest przegrzanych. Zapewnienie optymalnej temperatury to jednak nie jedyny sposób na zmniejszenie zużycia ciepła.

### Przykładowe sposoby na zmniejszenie zużycia ciepła:

- zapewnienie odpowiedniej izolacji termicznej budynku - ocieplenie ścian zewnętrznych i dachu, stosowanie dobrej jakości okien i drzwi. Pozwoli to na zmniejszenie strat ciepła z budynku nawet o połowę;
- zainstalowanie zaworów termostatycznych przy grzejnikach, regulatorów w pokojach i/lub regulacji pogodowej. Pozwoli to kontrolować temperaturę w pomieszczeniach bez konieczności niepotrzebnego otwierania okien;
- odstąpienie grzejników - nie powinny być one przystłonięte zastonami, ani przystawione meblami, gdyż znacząco blokuje to przepływ ciepła do pomieszczeń;
- zmniejszenie temperatury w budynkach na noc czy podczas dłuższych nieobecności w domu. Warto wiedzieć, że obniżenie temperatury w pomieszczeniu o 1°C, pozwala zaoszczędzić nawet 5% zużywanego ciepła;
- zamknięcie drzwi do nieużywanych lub rzadko używanych pomieszczeń, w których temperatura może być nieco niższa w pomieszczeniach codziennego przebywania. Zmniejsza to obszar do ogrzewania, a więc ilość ciepła wymaganego do zapewnienia komfortu termicznego użytkowników;
- zasłanianie na noc okien roletami lub żaluzjami w celu zmniejszenia strat ciepła przez okna do otoczenia oraz odstawianie ich na dzień, by wykorzystać ciepło promieniowania słonecznego.



Zawór termostatyczny z regulatorem temperatury



## KLASA ENERGETYCZNA URZĄDZEŃ

Każdemu urządzeniu pobierającemu prąd przyporządkowana jest klasa energetyczna od G (największe zużycie prądu) do A+++ (najmniejsze zużycie prądu). A+, A++ i A+++ powstały stosunkowo niedawno z uwagi na coraz lepsze parametry sprzętów. Oprócz klasy energetycznej etykieta określa także w kilowatogodzinach, ile dane urządzenie zużywa rocznie i dziennie energii i wody, a także jaka jest wydajność innych funkcji, na przykład wirowania (w pralce) czy suszenia (w zmywarce).



## ENERGIA ELEKTRYCZNA

Aby zmniejszyć zużycie energii elektrycznej, należy najpierw przeanalizować, jak dużo zużywają jej sprzęty, które mamy w domu. Średnio można założyć, że w gospodarstwie domowym, w którym mieszka czteroosobowa rodzina, zużycie energii może wynieść rocznie 4500 kWh. A czy dwuosobowa rodzina zużywa o połowę mniej energii? Okazuje się, że nie - w takim przypadku średnie zużycie energii elektrycznej wynosi aż 3100 kWh.

Rozkład zużycia energii elektrycznej zależy jest od ilości urządzeń w domu, ich klasy energetycznej oraz częstotliwości ich użytkowania. Do tej pory w wielu domach królują jeszcze tradycyjne żarówki oraz sprzęty, które charakteryzują się niską efektywnością energetyczną. Wszystko to przyczynia się do zwiększonego zużycia energii. Kupując nowe urządzenia należy zwrócić uwagę na ich etykiety energetyczne. Ponadto, każdy z domowników, poprzez zmianę złych nawyków i przyzwyczajzeń, może przyczynić się do poprawy gospodarki energią elektryczną.

### Przykładowe sposoby na zmniejszenie zużycia energii elektrycznej:

- wymiana tradycyjnych żarówek na oświetlenie energooszczędne;
- wyłączenie światła przy wychodzeniu z danego pomieszczenia;
- wybór sprzętu charakteryzującego się wysoką klasą energetyczną (oznaczenie A++), który zużywa nawet 40% mniej energii niż modele z niższych klas;
- nie wkładanie do lodówki ciepłych ani gorących potraw - lodówka zużywa wtedy znacznie więcej prądu do ich wychłodzenia;
- ustawienie lodówki z dala od źródeł ciepła - kuchenki, grzejnika itp.;
- gotowanie w czajniku takiej ilości wody, jaka jest aktualnie potrzebna - im więcej wody gotujemy, tym więcej energii elektrycznej zużywa urządzenie;
- pranie w niskiej temperaturze oraz wykorzystywanie całej objętości pralki - niezależnie od ilości prania pralka pobiera taką samą ilość energii;
- wyłączenie urządzeń zamiast pozostawianie ich w stanie czuwania;
- odłączanie od gniazdek nieużywanych sprzętów np.: ładowarek do telefonu, suszarek itp.;
- zastosowanie systemów automatyki budynkowej, wyposażonych w czujki ruchu, ściemniacze oświetlenia i inne funkcje, które pozwalają zoptymalizować zużycie energii w domu.



Żarówka LED

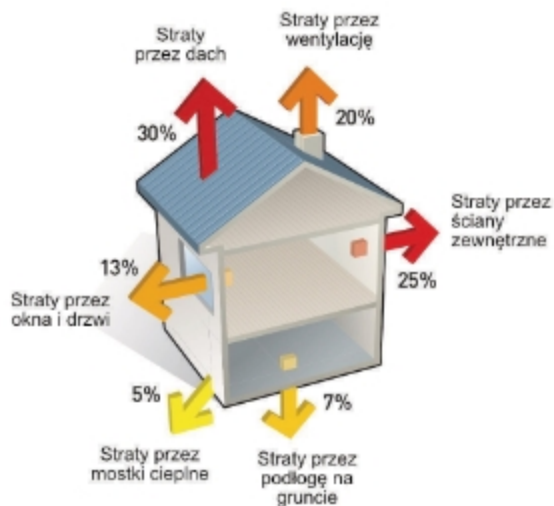
Energooszczędność to nie tylko energooszczędna żarówka, lodówka czy pralka. To także budownictwo energooszczędne, czyli takie, które nastawione jest na minimalizację zużycia energii w codziennej budynkach podczas ich codziennej eksploatacji.

### Podział budynków ze względu na ilość zużywanej energii

Z uwagi na wielkość zużycia energii, rozróżniamy budynki tradycyjny, energooszczędne, pasywne, o niemal zerowym zużyciu energii oraz plus energetyczne.

- **budynki tradycyjne** - są to budynki w których roczne zużycie energii na potrzeby ogrzewania i eksploatacji budynku kształtuje się na poziomie 90-120 kWh na każdy 1 m<sup>2</sup> ich powierzchni (przykładowo, budynek o powierzchni 100 m<sup>2</sup> zużywałby w takim przypadku 9000-12000 kWh/rok). Starsze budynki, oddane do użytku przed 1990 r. charakteryzują się jeszcze wyższym zapotrzebowaniem na energię.

Gdyby przyrzeć się bliżej stratom ciepła z budynku wykonanego w technologii tradycyjnej widzimy, że największą stratą jest tracenie przez ściany zewnętrzne oraz dach. Dzieje się tak dlatego, że takie budynki bardzo często nie posiadają izolacji zewnętrznej lub warstwa izolacji jest zbyt cienka. Również straty wynikające z wentylacji naturalnej mają w przypadku budynków tradycyjnych istotny udział w bilansie energetycznym. Suma strat przez ściany zewnętrzne, strach przez połac dachową oraz strat wentylacyjnych stanowi łącznie aż 75% strat ciepła typowego budynku wykonanego w technologii tradycyjnej.



Straty ciepła przez przegrody zewnętrzne budynku

- **budynki energooszczędne** - budynki o zapotrzebowaniu na energię poniżej 40 kWh/(m<sup>2</sup>rok). Taki rodzaj budownictwa wykorzystuje technologie, które umożliwią utrzymanie wysokiego komfortu cieplnego przy jednoczesnym niskim zużyciu energii, a co za tym idzie - przy niskich kosztach eksploatacyjnych. Porównując budownictwo energooszczędne z tradycyjnym straty są znacznie zmniejszone.

Spełnienie standardu budynku energooszczędnego jest zależne do wielu czynników, które związane są m.in. z termoizolacyjnością i odzyskiem ciepła. Do najważniejszych zasad budownictwa energooszczędnego należą:

- odpowiednia architektura i geometria budynku, ograniczająca powierzchnię ścian zewnętrznych;
- odpowiednia orientacja względem stron świata oraz właściwe rozmieszczenie pomieszczeń we wnętrzu budynku;
- właściwa izolacja termiczna budynku;
- stolarka okienna i drzwiowa o wysokich parametrach izolacyjnych;
- wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła oraz nowoczesne ogrzewanie;
- wykorzystanie odnawialnych źródeł energii.



Wełna mineralna - materiał izolacyjny stosowany m.in. do izolacji dachów i poddaszy

- **budynki pasywne** - standard budownictwa pasywnego wymaga spełnienia jeszcze surowszych warunków niż te, które są charakterystyczne dla budownictwa energooszczędnego. Zapotrzebowanie budynku pasywnego na energię nie może przekroczyć 15 kWh/(m<sup>2</sup>rok). Uzyskanie tak małego zużycia energii w domach pasywnych możliwe jest dzięki doskonałej izolacyjności wszystkich przegród zewnętrznych (zarówno ścian, jak również okien i drzwi), wyeliminowaniu mostków termicznych oraz efektywnemu odzyskiwaniu ciepła z powietrza wentylacyjnego. Ponadto wykorzystuje się ciepło generowane przez takie źródła energii jak oświetlenie, sprzęt AGD, a nawet ciepło wytwarzane przez samych mieszkańców.



Przykład budynku pasywnego

Z reguły do ocieplenia ścian i podłogi na gruncie stosuje się warstwę termoizolacji grubości 30 cm, a dachu - 40 cm (warstwa ta musi być z materiału o odpowiednio wysokich właściwościach izolacyjnych). Poza tym, przegrody w budynku pasywnym powinny mieć dużą akumulacyjność ciepłą, dlatego że energia pozyskiwana przez budynek w konkretnym momencie z promieniowania słonecznego nie zawsze odpowiada jego aktualnym potrzebom.

Budownictwo pasywne wymaga odejścia od tradycyjnych metod wentylacji i ogrzewania na rzecz wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła. Dodatkowym elementem może być wymiennik gruntowy, który dodatkowo poprawia efektywność pracy instalacji wentylacyjnej.

- **budynki o niemal zerowym zużyciu energii** - to budynki praktycznie samowystarczalne energetycznie. Dzięki zastosowaniu odnawialnych źródeł energii, odpowiedniej izolacyjności przegród zewnętrznych, wysokosprawnemu odzyskowi ciepła z wentylacji mechanicznej oraz wykorzystaniu zysków ciepła, budynki o niemal zerowym zużyciu energii nie wymagają dostarczenia energii z zewnątrz. Całkowite zapotrzebowanie na ciepło pokrywane jest przez systemy pozyskujące i magazynujące energię promieniowania słonecznego oraz energię wiatru. Stosuje się takie rozwiązania, jak systemy pasywnego ogrzewania słonecznego, instalacje kolektorów słonecznych, instalacje paneli fotowoltaicznych czy też instalacje turbin wiatrowych. Dopuszcza się także zastosowanie innych odnawialnych źródeł energii, takich jak biomasa czy biopaliwo.



Heliotrop - pierwszy na świecie budynek plusenergetyczny

- **budynki plus energetyczne** - to obiekty, w których zyski energii są większe niż straty. Budynki takie wyposażone są w rozbudowane systemy paneli fotowoltaicznych oraz turbin wiatrowych, a nadwyżki pozyskanej w ten sposób energii są odprowadzane do sieci elektroenergetycznej.

Pierwszy taki budynek (Heliotrop) powstał w 1994 r. w Niemczech. Ideą stworzenia heliotropu była chęć maksymalnego wykorzystania energii promieniowania słonecznego. W budynku tym, w stronę Słońca obracają się nie tylko same ogniwa fotowoltaiczne umieszczone na dachu, lecz cała jego konstrukcja. Dzięki temu możliwe jest bardziej efektywne pozyskiwanie ciepła poprzez okna, jego kumulowanie w ścianach zewnętrznych, a także dostarczenie naturalnego oświetlenia do pomieszczeń przez dłuższy czas w ciągu dnia. Mechanizm śledzenia zużywa stosunkowo niewielką ilość energii, co nieznacznie zwiększa całkowity bilans energetyczny budynku. W pogodne dni budynek wytwarza nawet sześć razy więcej energii elektrycznej, niż wynosi jego zapotrzebowanie.

# Powietrze, gleba, woda

Powietrze, gleba i woda to podstawowe elementy środowiska przyrodniczego, nierozzerwalnie związane z funkcjonowaniem człowieka na Ziemi. Niestety, działalność człowieka w dużej mierze jest przyczyną ich zanieczyszczenia. W tym rozdziale opisane przytoczone zostały podstawowe fakty dotyczące powietrza, gleby i wody oraz rodzaje zanieczyszczeń na które narażone są te obszary.

## POWIETRZE

Powietrze jest mieszaniną gazów i aerozoli składającą się na atmosferę ziemską. W ochronie środowiska pod pojęciem powietrza rozumie się gaz wypełniający troposferę, z wyłączeniem wnętrza budynków i miejsc pracy. Najważniejsze gazy wchodzące w skład powietrza to: azot (78,08%), tlen (20,95%), argon (0,93%), para wodna (0-4%) oraz dwutlenek węgla (0,02-0,04%).

### Podstawowe fakty dotyczące powietrza

- powietrze jest nietoksyczne;
- nie posiada smaku i zapachu;
- słabo rozpuszcza się w wodzie;
- jest bezbarwne (skroplone powietrze jest białoniebieskie);
- jest substancją niezbędną do życia człowieka oraz wielu organizmów na Ziemi;
- może się sprężać i rozprężać, dostosowując się do kształtu przedmiotu;
- można zmieniać jego temperaturę, czyli ogrzewać lub oziębiać (podczas ogrzewania powietrze rozszerza się, a podczas oziębiania kurczy się).



Dmuchawiec na wietrze

### Zanieczyszczenia powietrza

Oprócz stałych składników powietrza, mogą znajdować się w nim także inne substancje tj. tlenki azotu, tlenki siarki, pyły, węglowodory, mikroorganizmy. Jeżeli ich zawartość w powietrzu jest zbyt wysoka, mogą stać się one groźne i niebezpieczne dla organizmów żywych. Takie substancje uważa się za **zanieczyszczenia**.

Źródła zanieczyszczeń powietrza dzielą się na dwa rodzaje: naturalne i wytworzone przez człowieka.

### Naturalne źródła zanieczyszczeń powietrza

- pożary lasów ( $\text{CO}_2$ , CO, pyły);
- wietrzenie chemiczne skał (pyły);
- wybuchy wulkanów (popioły i gazy wulkaniczne:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  i inne);
- wylądowania atmosferyczne ( $\text{NO}_x$ );
- procesy biologiczne, np. gnicie obumarłych roślin i zwierząt ( $\text{CH}_4$ ).



### CO MOŻE SPOWODOWAĆ RTĘĆ Z ROZBITEGO TERMOMETRU?

Rtęć z jednego tylko termometru może zanieczyścić jezioro o powierzchni 4,5 hektara, a zniszczone termometry każdego roku powiększają rzekę odpadów wytwarzanych przez mieszkańców Stanów Zjednoczonych o ok. 17 ton rtęci. Pierwiastek ten jest wchłaniany przez ryby. Jeśli taką rybę zje człowiek również jego organizm zostanie zatruty, co może powodować uszkodzenie układu nerwowego.

#### Antropogeniczne źródła zanieczyszczeń powietrza

Antropogeniczne źródła zanieczyszczeń mogą być klasyfikowane według sektorów gospodarki oraz ze względu na to, w jaki sposób następuje ich rozprzestrzenianie do atmosfery.

Podział źródeł zanieczyszczeń według sektorów gospodarki:

- **sektor komunikacyjny** - zanieczyszczenia powstałe przez transport samochodowy, kolejowy, powietrzny i wodny;
- **sektor przemysłowy** - przemysł ciężki (przeróbka ropy naftowej, hutnictwo, przemysł chemii organicznej), metalurgiczny, spożywczy, farmaceutyczny i inne;
- **sektor energetyczny** - procesy wydobywania i spalania paliw (kopalnie i szyby wiertnicze);
- **sektor komunalno-bytowy** - zanieczyszczenia generowane przez paleniska domowe, lokalne kotłownie, gospodarstwa rolne, gromadzenie i utylizację odpadów stałych i ścieków (wysypiska, oczyszczalnie).

Podział źródeł zanieczyszczeń ze względu na to w jaki sposób następuje rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń do atmosfery

- **źródła punktowe** - są to głównie duże zakłady przemysłowe emitujące pyły, dwutlenek siarki, tlenek azotu, tlenek węgla, metale ciężkie;
- **źródła liniowe** - są to głównie zanieczyszczenia komunikacyjne odpowiedzialne za emisję tlenków azotu, tlenków węgla, metali ciężkich (głównie ołów);
- **źródła powierzchniowe** - są to paleniska domowe, lokalne kotłownie, niewielkie zakłady przemysłowe emitujące głównie pyły, dwutlenek siarki.



Zanieczyszczenia emitowane przez zakład przemysłowy

## SKUTKI ZANIECZYSZCZENIA POWIETRZA

Wśród skutków zanieczyszczeń powietrza wyróżnić możemy m.in. kwaśne deszcze, smog, występowanie dziury ozonowej czy efekt cieplarniany.

### Kwaśne deszcze

„Kwaśne deszcze” to deszcze zawierające zaabsorbowane w kroplach wody dwutlenek siarki, tlenki azotu oraz ich produkty reakcji w atmosferze (rozcieńczone roztwory kwasu siarkowego (IV) oraz kwasu siarkowego (VI) a także kwasu azotowego). Powstają w miejscach, gdzie atmosfera jest zanieczyszczana ciągłą emisją dwutlenku siarki i tlenków azotu. Czasami opady (kwaśnego deszczu, a także kwaśnego śniegu) trafiają na obszary bardzo odległe od źródeł zanieczyszczeń atmosfery, dlatego przeciwdziałanie kwaśnym deszczom stanowi problem międzynarodowy. Do skutków działania „kwaśnych deszczów” zaliczamy zakwaszenie gleby, zakwaszenie wód powierzchniowych, niszczenie budowli i konstrukcji metalowych, niszczenie fauny i flory oraz choroby układu oddechowego.



Kwaśne deszcze

### Smog

W dużych miastach podczas nadmiernego wzrostu stężenia tlenków siarki i azotu, pyłu węglowego oraz dużej wilgotności powietrza i silnym nasłonecznieniu a jednocześnie bezwietrznej pogodzie może się utworzyć kwaśny smog zwany też mgłą przemysłową. Rozróżnia się dwa rodzaje smogu:

- **smog typu Los Angeles** (smog fotochemiczny, utleniający), może wystąpić od lipca do października przy temperaturze 24-35°C, powoduje ograniczenie widoczności od 0,8 do 1,6 km (powietrze ma brązowawe zabarwienie). Głównymi zanieczyszczeniami są: tlenek węgla, tlenki azotu, węglowodory aromatyczne i nienasycone, ozon, pyły przemysłowe. Dla wytworzenia się smogu tego typu konieczne jest silne nasłonecznienie powietrza, natomiast ani dym, ani mgła nie mają większego znaczenia.
- **smog typu londyńskiego**, może wystąpić w zimie przy temperaturze -3-5°C, powoduje ograniczenie widoczności nawet do kilkudziesięciu metrów. Głównymi zanieczyszczeniami powietrza są: dwutlenek siarki, dwutlenek węgla, pyły. Smog tego typu powoduje duszność, łzawienie, zaburzenie pracy układu krążenia, podrażnienie skóry.



Smog w Krakowie

### Dziura ozonowa

Dziura ozonowa powstaje wskutek niszczenia warstwy ozonowej przez związki chemiczne tzw. freony. Freony to związki chloru, fluoru i węgla (w skrócie CFCs). Każda cząstka freonów jest nieaktywna i nie reaguje z substancjami, z którymi się styka. Jest tak lekka, że nie pozostaje w dolnej (przyziemnej) warstwie atmosfery ziemskiej, w której żyją ludzie, rośliny i zwierzęta. Jednak okazało się, że freony niszczą ozon! Freony są tak trwałe, że kiedy dostaną się do atmosfery, mogą tam pozostawać nawet ponad 130 lat. Miliony ton freonów gromadzi się więc w ozonosferze, gdzie działa na nie promieniowanie ultrafioletowe powodujące ich rozkład. Wskutek ich rozpadu pod wpływem promieniowania słonecznego powstają atomy chloru, który skutecznie niszczy warstwę ozonową - jedyną ochronę przed promieniowaniem UV.

## Efekt cieplarniany

Efekt cieplarniany, inaczej znany efektem „szklarniowym” lub globalnym ociepleniem, to zjawisko stopniowego podnoszenia się temperatury na naszej planecie na skutek zatrzymywania energii słonecznej przez gazy cieplarniane, tj. dwutlenek węgla, metan, ozon, freony, tlenki azotu.

Promieniowanie słoneczne docierające do powierzchni Ziemi jest pochłaniane, powodując jej ogrzanie. Na skutek podnoszenia temperatury powierzchni Ziemi emitowane jest promieniowanie podczerwone, które pochłaniane jest przez znajdujące się w atmosferze cząsteczki wody, dwutlenku węgla i innych gazów oraz przez drobne kropelki wody w chmurach. Ciepło jest teraz przekazywane przez atmosferę głównie z powrotem do powierzchni Ziemi w postaci tzw. promieniowania zwrotnego, a tylko częściowo w przestrzeń kosmiczną. Promieniowanie zwrotne ogrzewa ponownie powierzchnię Ziemi, dlatego jest podstawową przyczyną występowania na naszej planecie efektu cieplarnianego. Energia oddawana przez naszą planetę jest mniejsza od energii przyjmowanej ze Słońca.

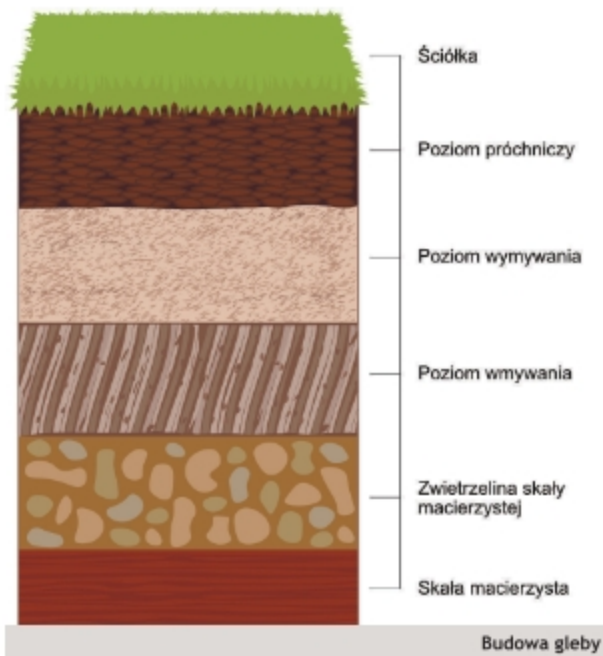
Efekt cieplarniany jest zagrożeniem dla całej ludzkości. Skutki są już zauważalne, m.in. podniesienie temperatury powietrza w przeciągu ostatnich kilkudziesięciu lat. Zauważamy topnienie lodowców i przesuwanie się stref klimatycznych w kierunku bieguna.

## GLEBA

Gleba jest biologicznie czynną powierzchnią Ziemi. Powstała ona z utworu geologicznego, zwanego skałą macierzystą na skutek procesów wietrzenia: fizycznego, chemicznego i biologicznego. Gleba jest głównym elementem środowiska przyrodniczego. Na lądzie gleba i przyziemna część atmosfery tworzą naturalne siedlisko roślin, zwierząt i człowieka.

### Budowa gleby

- **Ściółka** - warstwa ta leży bezpośrednio na glebie. Tworzą ją opadłe części roślin (szyszki, igliwie, liście, gałęzie) i zwierząt (pióra, sierść) oraz odchody zwierząt. Wszystkie składniki ściółki, w wyniku rozkładu, dostarczają substancji odżywczych do gleby.
- **Poziom próchniczny** - organiczne szczątki w różnym stadium dekompozycji. Składa się z rozłożonych i częściowo rozłożonych składników ściółki.
- **Poziom wymywania** - inaczej poziom bielcowania (charakterystyczny dla gleb bielcowych). Pod wpływem kwasów glebowych z tego poziomu wymywane jest żelazo, magnez, glin, wapń, próchnica.
- **Poziom wmywania** - na tym poziomie odkładają się związki wymyte z leżącego wyżej poziomu bielcowania. Ma zabarwienie rdzawe lub płowe.
- **Zwierzelina skały macierzystej** - różnej wielkości okruchy powstałe w wyniku wietrzenia skały macierzystej. Na niej powstaje gleba.
- **Skała macierzysta** - podłoże skalne, na którym rozwija się gleba. Najbardziej zewnętrzna część litosfery. Od rodzaju skały macierzystej zależy, jaki typ gleby powstanie.



## Rola gleby

Gleba jest ośrodkiem życia roślin i zwierząt. Ponadto spełnia następujące funkcje:

- **funkcja retencyjna** - gleba jest naturalnym zbiornikiem retencyjnym, w którym gromadzą się wody opadowe;
- **funkcja sanitarna** - gleba jest podłożem do aktywności drobnoustrojów w procesach rozkładu (mineralizacji) martwych resztek organicznych;
- **funkcja ekologiczna** - gleba jest ważnym elementem przepływu energii oraz obiegu i retencji materii w ekosystemach;
- **funkcja naturalnego filtru** - dzięki właściwościom sorpcyjnym, gleba pochłania m.in. związki toksyczne;
- **funkcja sozologiczna (regulacyjna)** - gleba przeciwdziała zmianom w środowisku (zazwyczaj poprzez neutralizowanie wpływu działalności człowieka);
- **funkcja gospodarcza (użytkowa)** - gleba stanowi „warsztat pracy” rolnika.



Ziemia w dłoniach

## Czynniki degradacji gleby

- pożary, erozja, susza, trzęsienia ziemi;
- przemysłowo-chemiczne zanieczyszczenia, np. metalami ciężkimi (zwłaszcza Pb, Cd), kwaśnymi i kwasotwórczymi składnikami mineralnymi i organicznymi składnikami toksycznymi obecnymi w nawozach;
- chemizacja rolnictwa - chemiczna ochrona roślin, nawożenie mineralne;
- odkrywkowa i podziemna eksploatacja kopaliny;
- techniczna zabudowa - budownictwo mieszkaniowe, przemysłowe, szlaki komunikacyjne;
- działalność bytowa człowieka;
- składowanie odpadów przemysłowych i bytowo-gospodarczych.



Zanieczyszczenie gleby odpadami



Prawidłowy rozwój człowieka jest uzależniony od struktury i składu gleby, która z pożywieniem roślinnym i zwierzęcym dostarcza mu odpowiedniej ilości wysokokalorycznych składników odżywczych, witamin, substancji mineralnych, niezbędnych do budowy i właściwego funkcjonowania organizmu. Razem z pożywieniem człowiek pobiera składniki korzystne, jak i niekorzystne dla swego rozwoju. Ekologiczne skutki chemizacji gleby dotyczą - rzecz jasna - nie tylko człowieka, ale całego świata organicznego (roślin, zwierząt). Zreasumujmy zatem przyczyny, mechanizm oddziaływania i skutki skażeń gleby.

- kumulacja substancji toksycznych w roślinach staje się przyczyną skażenia wszystkich ogniw łańcucha pokarmowego.
- przemieszczanie się środków chemicznych z gleby do wód powoduje eutrofizację wód powierzchniowych i podziemnych.
- zakwaszenie gleby, wywołane zanieczyszczającymi powietrze związkami siarki i azotu, a docierającymi do gleb i wód w postaci kwaśnych deszczów lub suchego opadu, powoduje hamowanie rozwoju organizmów, niszczenie szaty roślinnej.
- zatrucie gleby metalami ciężkimi (nikiel, rtęć, kadm, arsen, ołów), a następnie kumulowanie się tychże pierwiastków w tkankach roślin jest przyczyną nieodwracalnych zmian w organizmach roślinnych, powoduje zmniejszenie przyrostu masy roślinnej, zmniejszenie plonowości.
- zatrucie gleby nawozami mineralnymi, w wyniku nieumiejętnego i nadmiernego ich stosowania, może prowadzić do pogorszenia się jakości plonów, powodować zanik aktywności mikroflory glebowej, w szczególności niekorzystnie oddziaływać na procesy nitryfikacji i procesy wiązania azotu atmosferycznego. Niebezpieczny jest nadmiar składników potasowych, wapniowych i azotowych w glebie.
- przenawożenie gnojowicą może spowodować zaburzenia właściwości chemicznych i biologicznych gleb oraz skażenie gleb i roślin bakteriami chorobotwórczymi. Skutkiem tego może być wzrost zachorowań zwierząt, a nawet człowieka, na brucelozę, różycę, pryszczycę, gruźlicę.
- skażenie pestycydami wskutek nieumiejętnego ich stosowania może spowodować zatrucia ptactwa i zwierząt oraz liczne schorzenia u człowieka. Do organizmu człowieka, jak i zwierząt, pestycydy wnikają drogą pokarmową, oddechową i przez skórę. Trudno ulegając przemianom metabolicznym, kumulują się w tkankach (zwłaszcza tłuszczowej), powodują osłabienie ochronnego działania skóry, alergie, nowotwory, patologiczne zmiany w układzie nerwowym i układzie krążenia, zaburzają procesy biochemiczne, przemiany węglowodanowe, białkowe, inaktywują wiele enzymów.

### Sposoby ochrony gleb

Pod pojęciem ochrona gleb rozumiemy zespół czynników prawnych, organizacyjnych i technicznych, zmierzających do:

- minimalizacji erozji wodnej i wiatrowej;
- przeciwdziałania chemicznej degradacji gleb pod wpływem zanieczyszczeń przemysłowych, motoryzacyjnych, nawożenia mineralnego;
- przeciwdziałania przesuszeniu i zawodnieniu gleb;
- ograniczenia do niezbędnego minimum technicznych deformacji gruntu i mechanicznego zanieczyszczenia gleby;
- zachowania gruntów o walorach ekologiczno-produkcyjnych;
- ograniczenia przejmowania gruntów pod zabudowę techniczną i eksploatację kopalni.



Kiełkowanie ziarna w czystej glebie

Woda jest jedną z najbardziej pospolitych substancji we Wszechświecie, w tym na powierzchni Ziemi. Występuje głównie w oceanach, które pokrywają 70,8% powierzchni globu, ale także w rzekach, jeziorach i w postaci stałej w lodowcach. Ponadto, część wody znajduje się w atmosferze (chmury, para wodna). Także niektóre związki chemiczne zawierają cząsteczki wody w swojej budowie. Zawartość wody włączonej w strukturę minerałów w płaszczu Ziemi może nawet dziesięciokrotnie przekraczać łączną zawartość wody w oceanach, morzach i innych zbiornikach powierzchniowych.

Występująca w przyrodzie woda stanowi roztwór soli i gazów. Najwięcej soli mineralnych zawiera woda morska i wody mineralne, a najmniej - woda pochodząca z opadów atmosferycznych. Wodę o niedużej zawartości składników mineralnych nazywamy wodą miękką, natomiast wodę zawierającą znaczne ilości soli wapnia i magnezu - wodą twardą. Oprócz tego wody naturalne zawierają rozpuszczone substancje pochodzenia organicznego, takie jak mocznik, kwasy humusowe itp.

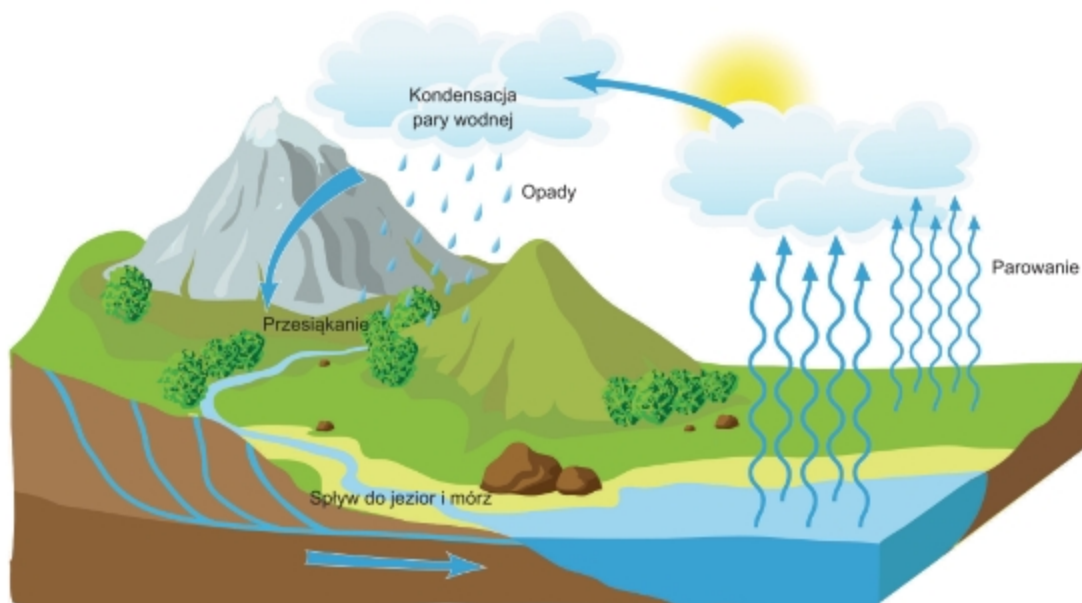
### Podstawowe fakty dotyczące wody

- trwały związek wodoru z tlenem o wzorze chemicznym  $H_2O$ ;
- warunkuje życie na Ziemi;
- stanowi środowisko dla organizmów wodnych;
- jest niezbędna do zachodzenia podstawowych procesów życiowych;
- posiada lekko jasnoniebieską barwę;
- jest bezwonna;
- występuje w trzech postaciach: w stanie ciekłym jako morza, rzeki, oceany (deszcz), w stanie gazowym (para wodna) oraz w stanie stałym jako lód (grad, śnieg).



### Obieg wody w przyrodzie

Woda występująca w przyrodzie jest w ciągłym ruchu, co zapewnia życie na Ziemi. W takcie przemieszczania pomiędzy wodami atmosferycznymi, powierzchniowymi i podziemnymi, cząsteczki wody ulegają ciągłym przemianom fazowym, zmieniając kilkakrotnie stany skupienia.



Obieg wody w przyrodzie

Krążenie wody między atmosferą, hydrosferą i litosferą, zachodzące na skutek wpływu Słońca, siły grawitacyjnej i ruchu Ziemi, nazywamy cyklem hydrologicznym. Cykl hydrologiczny obejmuje następujące etapy: parowanie, kondensację pary wodnej, opady, przesiąkanie, spływ do powierzchni ziemi i gruntu, spływ strumieni, rzek i wód gruntowych do jezior i mórz oraz ponowne parowanie.

### Zanieczyszczenia wody

Zanieczyszczeniami wód są wszelkie substancje chemiczne oraz mikroorganizmy, które występują w wodach naturalnych, nie będąc ich naturalnymi składnikami. Do najczęściej występujących substancji zanieczyszczających wody należą: pestycydy, detergenty, barwniki, fenole, substancje powierzchniowo czynne, aminy aromatyczne, sole (azotany, chlorki, fosforany, siarczany), jony metali ciężkich (ołowiu, miedzi, rtęci, kadmu, arsenu i innych), radioizotopy. Wśród organizmów żywych największą rolę w zanieczyszczeniu wód odgrywają bakterie *Escherichia coli*.

Zanieczyszczenia mogą występować w postaci rozpuszczonej (gazy, ciecze, ciała stałe), układów koloidalnych lub zawiesin.

### Podział źródeł zanieczyszczeń wody:

- **zanieczyszczenia komunalne** - zanieczyszczenia te pochodzą z miast i osiedli, związane są z rozwojem sieci kanalizacyjnej. Ścieki komunalne zwiększają w wodach ilość rozkładającej się substancji organicznej, następuje silne zużycie tlenu, powstają warunki uniemożliwiające życie wielu organizmom.
- **zanieczyszczenia rolnicze** - rozwój rolnictwa, a także jego chemizacja w dużym stopniu wpływa na eutrofizację wód. Eutrofizacją nazywamy wzrost żyzności spowodowany zwiększoną koncentracją soli mineralnych i następujące wskutek tego środowiskowe i biologiczne zmiany jakości wód.
- **zanieczyszczenia przemysłowe** - zakłady przemysłowe wpuszczają do wody ścieki, w których znajdują się surowce, półfabrykaty oraz substancje trujące. Ścieki przemysłowe mogą mieć różny charakter. Ścieki chemiczne i ścieki przemysłu ciężkiego zawierają sole metali ciężkich, które nawet w niewielkich ilościach są trujące dla organizmów. Wody zanieczyszczone mogą być także substancjami organicznymi pochodzącymi z rafinerii ropy naftowej, z procesów destylacji smoly, z wytwórni tworzyw sztucznych, mas plastycznych i barwników. Do ścieków przemysłu spożywczego zaliczamy odpady z mleczarni, browarów, cukrowni, przetwórnictwa mięsnych i rybnych. Ścieki te powodują głównie silne deficyty tlenowe w ekosystemach wodnych.

Czynniki wpływające na degradację wód można podzielić na **czynniki naturalne** (np. zasolenie, zanieczyszczenie związkami żelaza) oraz **czynniki sztuczne**, pochodzące głównie z działalności człowieka (np. środki chemizacji rolnictwa, odpady hodowlane).

### Sposoby ochrony wód

Występują cztery podstawowe sposoby ochrony wody:

- ochrona wód przed degradacją;
- całkowite oczyszczanie ścieków;
- wprowadzenie zamkniętych obiegów wody w przemyśle;
- budowa zbiorników retencyjnych.

Ochrona wody polega na zmniejszeniu ilości zużywanej wody, zakładaniu katalizatorów w samochodach, używaniu nawozów naturalnych, używaniu detergentów z napisem biodetergenty, nie wyrzucaniu odpadów do rzek i jezior, nie używaniu środków chemicznych, nie myciu samochodów nad zbiornikami wodnymi, nie budowaniu szamb koło wód, nie wylewaniu mydlin do wód, nie używaniu środków silnie żrących, ograniczeniu jazdy na pojazdach spalinowych oraz nie wylewaniu ścieków do wód.



Biologiczna oczyszczalnia wody

# Jak chronić środowisko

Środowisko naturalne stanowi piękno otoczenia, jakie znajduje się wokół człowieka. W poprzednim rozdziale opisano poszczególne jego komponenty: wodę, powietrze i glebę. W dużej mierze od nawyków i przyzwyczajzeń każdego z nas zależy, w jakim stanie to środowisko będzie funkcjonować. Poniżej przedstawione jest krótkie vademecum, jak chronić to środowisko w swoim życiu codziennym.

## PRAWIDŁOWO GOSPODARUJ ODPADAMI!

Każdego roku w Unii Europejskiej wytwarzanych jest ok. 2,5 mld ton odpadów przez działalność przemysłową i gospodarstwa domowe! Wyobraź sobie, co mogłoby się stać, gdyby te odpady nie były poddawane procesom utylizacji czy procesom przetwarzania, lecz byłyby składowane na wysypiskach śmieci! Po upływie kilku lat, nasze środowisko naturalne zapewne by umarło.

Już w domu możesz zdecydować, co się z tymi śmieciami stanie. Podpowiadamy, jak prawidłowo gospodarować śmieciami.

- Segreguj!
- Nie wyrzucaj do lasu!
- Nie zaśmiecaj dróg, poboczy, chodników!
- Nie wrzucaj do zbiorników wodnych: jezior, rzek, mórz - tam też znajduje się życie, które pragnie czystego otoczenia!
- Nie zakopuj w ziemi!
- Uczestnicz w akcjach szkolnych na zbiórkę makulatury, baterii, zakrętek plastikowych!



Segregowanie odpadów

## NIE SPALAJ ODPADÓW W KOTŁACH I PIECACH DOMOWYCH

Spalanie śmieci w piecach domowych jest największym zagrożeniem dla jakości powietrza, zwłaszcza w okresie zimowym. Niestety, w związku z ogromną ilością wytwarzanych śmieci, bardzo często są one gromadzone i przechowywane, po to tylko, żeby uczynić z nich paliwo opałowe w okresie zimowym. Wśród takich spalanych odpadów często można znaleźć: gazety kolorowe, butelki plastikowe, stare ubrania, czy meble. Warto zwrócić uwagę, że każde z tych produktów nie jest wykonane z czystych materiałów, lecz w głównej mierze z materiałów sztucznych. Takie materiały nigdy efektywnie nie spalą się w piecu domowych, ze względu na zbyt niską temperaturę

## GOSPODARKA ODPADAMI



Rzucona w lesie butelka plastikowa rozłoży się w ziemi po 500 latach, guma do żucia po 5 latach, a niedopalki papierosów po 2 latach. Jeżeli każdy z nas wyrzuci na śmietnik tylko jeden słoik to na wysypisko w całej Polsce trafi rocznie 10 tysięcy ton szkła.

W Polsce rocznie zużywa się 400 milionów aluminiowych puszek, które można powtórnie przetworzyć oraz wykorzystać. Sześć puszek ze złomu to oszczędność energii równiej spaleniu jednego litra paliwa.

rę spalania. Mamy wówczas do czynienia z procesem niecałkowitego i niepełnego spalania paliwa. To właśnie w takich warunkach emitowanych jest najwięcej zanieczyszczeń. Pamiętaj, że spaliny wytwarzane na skutek zastosowania odpadów jako paliwa opałowego zawierają szereg związków toksycznych, endokrynnych i kancerogennych, wpływając znacząco na równowagę hormonalną organizmu, rozwój nowotworów i zaburzenia metabolizmu. Spaliny dostają się do powietrza, którym każdy z nas oddycha, oddycha nim Twoja Mama, Twój Tata, Siostra i Brat, oddychasz nim Ty.

## PRZESIĄDŹ SIĘ NA ROWER!

Zamiast jeździć samochodem, skorzystaj z komunikacji miejskiej lub przesiądź się na rower. Taka zmiana wpływa nie tylko na poprawę jakości powietrza, lecz również usprawnia poruszanie

się po dużych aglomeracjach miejskich. Władze miast coraz częściej inwestują w autobusy wyposażone w silniki elektryczne bądź hybrydowe, których użytkowanie jest znacznie bardziej przyjazne środowisku, niż popularne silniki o zapłonie samoczynnym. W nowoczesnych samochodach konstrukcje silników znacznie się zmieniły: silniki Diesla wyposażone są w filtry cząstek stałych (DPF), obecnie wprowadzane są na rynek również filtry GPF, czyli filtry cząstek stałych w silnikach benzynowych. Pomimo to, wciąż jest bardzo dużo samo-

chodów starszych, w których poziomy emisji zanieczyszczeń, w tym benzenu, wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych czy cząstek stałych są bardzo wysokie.

## STOSUJ CZYSTE TECHNOLOGIE DO PRODUKCJI ENERGII I CIEPŁA

Obecnie dostępnych jest na rynku bardzo wiele ekologicznych rozwiązań pozwalających na produkcję energii czy ciepła. Coraz częściej na dachach pojawiają się kolektory słoneczne lub panele fotowoltaiczne, które pozwalają wykorzystać darmową, powszechnie dostępną i czystą energię promieniowania słonecznego. Również z kotłowni znikają stare, nieefektywne „kopciuchy”, czyli kotły nie spełniające obowiązujących aktualnie norm środowiskowych. Aby w jak największym stopniu zredukować tzw. „niską emisję” z lokalnych kotłowni węglowych i domowych pieców grzewczych, samorządy lokalne oferują liczne programy na dofinansowanie wymiany instalacji centralnego ogrzewania na kotły o wysokiej klasie energetycznej zasilane paliwem ekologicznym.



Rower

## WEŹ UDZIAŁ W AKCJI SADZENIA DRZEW!

Skutkiem zanieczyszczenia środowiska jest zmniejszenie się powierzchni terenów zielonych. Drzewa stanowią płuca ziemi. To ich zadaniem jest pochłanianie dwutlenku węgla, który jest im potrzebny do produkcji energii w procesie fotosyntezy. Zielonymi płucami ziemi nazywane są także lasy deszczowe ze względu na ich istotny stan równowagi w klimacie ziemskim. Ponieważ lasy te są największymi wytwórcami tlenu oraz są schronieniem dla milionów zwierząt i roślin, zostały objęte ochroną. Dostyc niedawno ludzie zdali sobie sprawę z roli jaką odgrywają lasy deszczowe i wraz z przestaniem ich wycinki rozpoczęli ich powolną odbudowę. Tropikalny las deszczowy to jeden z najistotniejszych dla człowieka ekosystemów. Nasza cywilizacja wytwarza olbrzymie ilości dwutlenku węgla i innych gazów cieplarnianych, a nie jesteśmy w stanie wyprodukować tlenu dla zaspokojenia nawet własnych potrzeb. Lasy tropikalne to tylko 6% powierzchni Ziemi, ale właśnie dzięki olbrzymiej wilgotności i wysokiej temperaturze, a tym samym niezwykle szybkiemu tempu przemian fizjologicznych zachodzących w organizmach żywych tego obszaru, słusznie często nazywany jest zielonymi płucami naszej planety.



Drzewa - rośliny pochłaniające dwutlenek węgla w procesie fotosyntezy

## EDUKUJ SIĘ I PODAJ DALEJ...

Edukacja ekologiczna to koncepcja kształcenia i wychowywania społeczeństwa w duchu poszanowania środowiska przyrodniczego zgodnie z hasłem „myśleć globalnie - działać lokalnie”. Edukacja ekologiczna definiowana jest także jako psychologiczno-pedagogiczny proces oddziaływania na człowieka w celu kształtowania jego świadomości ekologicznej. Edukacja ekologiczna obejmuje wprowadzanie do programów szkół wszystkich szczebli tematyki z zakresu ochrony środowiska i kształtowania środowiska, umożliwiającej łączenie wiedzy przyrodniczej z postawą humanistyczną, tworzenie krajowych i międzynarodowych systemów kształcenia specjalistów i kwalifikowanych pracowników dla różnych działów ochrony środowiska, nauczycieli ochrony środowiska, do kształcenia inżynierów i techników różnych specjalności oraz menedżerów gospodarki, a także powszechną edukację szkolną i pozaszkolną. W potocznym rozumieniu są to wszelkie formy działalności skierowanej do społeczeństwa, ze szczególnym uwzględnieniem dzieci i młodzieży, które mają na celu wpływanie na poziom świadomości ekologicznej, propagowanie konkretnych zachowań korzystnych dla środowiska naturalnego, upowszechnianie wiedzy o przyrodzie. Działania te prowadzone są przez szkoły, przez specjalistyczne placówki edukacyjne zarówno publiczne jak i niepubliczne, a także przez liczne organizacje ekologiczne.

## BĄDŹ EKO!

Wiesz już, co zrobić, żeby otoczenie nie było zanieczyszczone. Zatem, zacznij od pierwszego punktu i wdróż każdy z nich w swoje życie!



Bądź EKO!





# Wykaz ilustracji

Str. 8 - Węgiel kamienny - photosoup, stock.adobe.com | Str. 8 - Węgiel kamienny (2) - adam88xx, stock.adobe.com | Str. 9 - Węgiel brunatny - H&C, stock.adobe.com | Str. 9 - Kopalnia węgla brunatnego, w tle elektrownia - VanderWolf Images, stock.adobe.com | Str. 10 - Ropa naftowa - hiroshiteshigawara, stock.adobe.com | Str. 10 - Rafineria - VanderWolf Images, stock.adobe.com | Str. 10 - Szyb naftowy - anankmkl, stock.adobe.com | Str. 10 - Morska platforma wiertnicza - namning, stock.adobe.com | Str. 11 - Gaz ziemny - Joe Gough, stock.adobe.com | Str. 11 - Występowanie złóż gazu ziemnego - pgmart, stock.adobe.com | Str. 12 - Elektrownia konwencjonalna - chłodnie kominowe - williem, stock.adobe.com | Str. 13 - Budowa typowej elektrowni konwencjonalnej - nicolasprimola, stock.adobe.com | Str. 14 - Kocioł gazowy - navintar, stock.adobe.com | Str. 15 - Turbina parowa - photosoup, stock.adobe.com | Str. 15 - Turbina parowa w elektrowni ciepłej - agnormark, stock.adobe.com | Str. 15 - Chłodnia kominowa od wewnątrz - annavaczi, stock.adobe.com | Str. 16 - Porównanie sprawności wytwarzania ciepła i energii elektrycznej w przypadku produkcji rozdzielonej i skojarzonej - opracowanie własne | Str. 17 - Sieć przesyłowa - Mike Mareen, stock.adobe.com | Str. 18 - Oleksandrum, stock.adobe.com | Str. 19 - Elektrownia węglowa wraz z jej otoczeniem - Aurielaki, stock.adobe.com | Str. 20 - Taichung Power Plant - Chongkian, wikipedia.org | Str. 20 - Elektrownia Surgut - LordTroy, wikipedia.org | Str. 21 - Elektrownia Belchatów - craftsoft, stock.adobe.com | Str. 21 - Elektrownia Kozienice - fotorince, stock.adobe.com | Str. 21 - Elektrownia Polaniec - Adi574, wikipedia.org | Str. 22 - Budowa płaskiego kolektora słonecznego - dreampicture, stock.adobe.com | Str. 23 - Budowa rurowo-próżniowego kolektora słonecznego - Ilijanasov, wikipedia.org oraz dreampicture, stock.adobe.com | Str. 23 - Zasada działania modułu fotowoltaicznego - Pattarawit, stock.adobe.com | Str. 24 - Budowa instalacji przygotowania ciepłej wody z kolektorami słonecznymi - ser\_igor, stock.adobe.com | Str. 25 - Budowa instalacji słonecznej z modułami fotowoltaicznymi - BRN-Pixel, stock.adobe.com | Str. 26 - Elektrownia słoneczna z koncentratorem wieżowym - alejomiranda, stock.adobe.com | Str. 26 - Paraboliczne koncentratory słoneczne - alejomiranda, stock.adobe.com | Str. 27 - Farma fotowoltaiczna - przykład - vittavat, stock.adobe.com | Str. 27 - Koncentratory rynnowe - przykład - paulrommer, stock.adobe.com | Str. 27 - Pływające moduły fotowoltaiczne - przykład - sritakoset, stock.adobe.com | Str. 28 - Wiatraki do mielenia zboża - An-T, stock.adobe.com | Str. 29 - Turbina wiatrowa o poziomej osi obrotu - peteri, stock.adobe.com | Str. 29 - Turbina wiatrowa o pionowej osi obrotu - peteri, stock.adobe.com | Str. 29 - Turbina Darrieusa - Charles Jacques, stock.adobe.com | Str. 30 - Budowa elektrowni wiatrowej - bilderzweg, stock.adobe.com | Str. 31 - Lądowa farma wiatrowa - mrallen, stock.adobe.com | Str. 31 - Morska farma wiatrowa - Max Topchii, stock.adobe.com | Str. 32 - Niewielki fragment farmy wiatrowej Gansu Wind Farm - Popolon, wikipedia.org | Str. 32 - Morska farma wiatrowa u wybrzeży Wielkiej Brytanii - nuttawutnuy, stock.adobe.com | Str. 33 - Elektrownia wiatrowa Karścino-Moltowo - Grzegorz W. Tężycki, wikipedia.org | Str. 33 - Przykładowa farma morska zlokalizowana na Bałtyku - Kruwt, stock.adobe.com | Str. 34 - Źródła biopaliw - vectortone, stock.adobe.com | Str. 35 - Drewno kawałkowe - evilinside, stock.adobe.com | Str. 35 - Trociny - EMrpize, stock.adobe.com | Str. 35 - Zrębki drzewne - Steve Morvay, stock.adobe.com | Str. 36 - Słoma - Olga Langerova, stock.adobe.com | Str. 36 - Brykiet - aerogondo, stock.adobe.com | Str. 36 - Pelety - Coprid, stock.adobe.com | Str. 36 - Wierzbza energetyczna - fotokate, stock.adobe.com | Str. 36 - Porównanie ilości wybranych paliw biomasowych odpowiadających w przybliżeniu 1 tonie węgla kamiennego, opracowanie własne | Str. 37 - Kocioł na pelety - mipan, stock.adobe.com | Str. 37 - Kocioł do spalania drewna - Aleksandr Delyk, stock.adobe.com | Str. 37 - Zamknięty wkład kominkowy z obudową - santiago silver, stock.adobe.com | Str. 38 - Instalacja grzewcza z kotłem na biomasę - ser\_igor, stock.adobe.com | Str. 39 - Ideowy schemat powstawania i wykorzystania biogazu - Tenica Florin, stock.adobe.com | Str. 40 - Kóło wodne podsiębierne - Morphart, stock.adobe.com | Str. 40 - Kóło wodne nasiębierne - Morphart, stock.adobe.com | Str. 41 - Przykładowa konstrukcja turbiny wodnej - U.S. Army Corps of Engineers, wikipedia.org | Str. 42 - Elektrownia zbiornikowa (regulacyjna) - Neyro, stock.adobe.com | Str. 42 - Elektrow-

nia pływowa - Neyro, stock.adobe.com | Str. 42 - Elektrownia maremotoryczna - Neyro, stock.adobe.com | Str. 43 - Tennessee Valley Authority, wikipedia.org | Str. 44 - Zapora Trzech Przełomów - jerdad, stock.adobe.com | Str. 44 - Zapora Trzech Przełomów - gui yong nian, stock.adobe.com | Str. 44 - Zapora i hydroelektrownia Itaipu - Tupungato, stock.adobe.com | Str. 44 - Zapora i hydroelektrownia Itaipu - jantima, stock.adobe.com | Str. 45 - Elektrownia wodna przepływowa we Włocławku - media.energa.pl | Str. 45 - Elektrownia szczytowo-pompowa Żarnowiec - Joanna Karnat, wikipedia.org | Str. 45 - Elektrownia szczytowo-pompowa Porąbka-Żar - surfmédia, stock.adobe.com | Str. 46 - Warstwowa budowa Ziemi - Andrea Danti, stock.adobe.com | Str. 48 - Budowa elektrowni geotermalnej binarnej (dwuczynnikowej) - Pattarawit, stock.adobe.com | Str. 49 - The Geysers Geothermal Complex (USA) - Stepheng3, wikipedia.org | Str. 49 - Larderello Geothermal Complex (Włochy) - drimi, stock.adobe.com | Str. 49 - Elektrownia geotermalna Nesjavellir (Islandia) - emmepiphoto, stock.adobe.com | Str. 50 - Zasada działania pompy ciepła - designua, stock.adobe.com | Str. 51 - Wymiennik gruntowy poziomy - dreampicture, stock.adobe.com | Str. 51 - Wymiennik gruntowy pionowy - dreampicture, stock.adobe.com | Str. 52 - Reakcja rozszczepienia jądra atomowego - gritsalak, stock.adobe.com | Str. 53 - Schemat elektrowni jądrowej - Sophia Winters, stock.adobe.com | Str. 54 - Ruda uranu - Cutworld, stock.adobe.com | Str. 54 - Pojemniki z odpadami radioaktywnymi - Jumbo2010, stock.adobe.com | Str. 55 - Elektrownia jądrowa Kashiwazaki Kariwa, Japonia - D a, wikipedia.org | Str. 55 - Zaporoska Elektrownia Atomowa, Ukraina - Ralf1969, wikipedia.org | Str. 55 - Bruce Power Generating Station, Kanada - Chuck Szmurlo, wikipedia.org | Str. 56 - Zawór termostatyczny z regulatorem temperatury - Insp.Clouseau, stock.adobe.com | Str. 57 - Żarówka LED - Piotr Adamowicz, stock.adobe.com | Str. 58 - Straty ciepła przez przegrody zewnętrzne budynku - Graphithèque, stock.adobe.com | Str. 58 - Wełna mineralna - materiał izolacyjny stosowany m.in. do izolacji dachów i poddaszy - gcpics, stock.adobe.com | Str. 59 - Przykład budynku pasywnego - arsdigital, stock.adobe.com | Str. 59 - Heliotrop - pierwszy na świecie budynek plusenergetyczny - Andrewglaser, wikipedia.org | Str. 60 - Dmuchawiec na wietrze - BillionPhotos.com, stock.adobe.com | Str. 61 - Zanieczyszczenia emitowane przez zakład przemysłowy - rustyelliott, stock.adobe.com | Str. 62 - Kwaśne deszcze - adrian\_ilie825, stock.adobe.com | Str. 62 - Smog w Krakowie - toimey, stock.adobe.com | Str. 63 - Budowa gleby - fancytapis, stock.adobe.com | Str. 64 - Ziemia w dłoniach - Bits and Splits, stock.adobe.com | Str. 64 - Zanieczyszczenie gleby odpadami - rootstocks, stock.adobe.com | Str. 65 - Kielkowanie ziarna w czystej glebie - weerapat1003, stock.adobe.com | Str. 66 - Gouache7, stock.adobe.com | Str. 66 - Obieg wody w przyrodzie - Vasily Merkushev, stock.adobe.com | Str. 67 - Biologiczna oczyszczalnia wody - antiksu, stock.adobe.com | Str. 68 - Segregowanie odpadów - Escala, stock.adobe.com | Str. 69 - Rower - jattumongkhon, stock.adobe.com | Str. 70 - Drzewa - rośliny pochłaniające dwutlenek węgla w procesie fotosyntezy - Stéphane Lefebvre, stock.adobe.com | Str. 71 - Bądź EKO! - alphaspirit, stock.adobe.com | Str. 9, 13, 23, 29, 35, 41, 47, 51, 53, 57, 61, 69 - Postać przy dymkach z ciekawostkami - n\_eri, stock.adobe.com





Wydawnictwo Instytutu Zrównoważonej Energetyki  
ul. E.W. Radzikowskiego 100B/43, 31-315 Kraków  
tel. 736 909 490, e-mail: [wydawnictwo@ize.org.pl](mailto:wydawnictwo@ize.org.pl)  
[www.ize.org.pl/wydawnictwo](http://www.ize.org.pl/wydawnictwo)

ISBN: 978-83-944254-3-2



Zadanie finansowane ze środków Wojewódzkiego Funduszu  
Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Krakowie