

dr hab. inż. ZYGFRYD GŁOWACZ
mgr inż. KRZYSZTOF PIECH
Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Maszyn Elektrycznych
mgr inż. WITOLD GŁOWACZ
Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Automatyki

Przegląd nowoczesnych technologii do pozyskiwania energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych

Overview of modern technologies to obtain electricity from renewable sources

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie alternatywnych źródeł energii, które są dostępne w naszej współczesności. Sektor energetyczny powinien się rozwijać i wprowadzać innowacje. To nie jest tylko problem energetyki. Rządy wszystkich krajów powinny otworzyć nowe możliwości wykorzystania odnawialnych źródeł energii, których procesy technologiczne są coraz bardziej zaawansowane. Jeśli spojrzymy w przyszłość, musimy uświadomić sobie, że nasze paliwa kopalne są na wyczerpaniu, a popyt na energię rośnie, więc trzeba interesować się alternatywnymi źródłami energii, które wykorzystują energię wiatru, energię wody i inne.

The aim of this article is to present alternative sources of energy which are available in today's world. We have to believe that the energy sector cannot stand still and should innovate. Moreover, it is not only the energy sector issue. Governments of all countries should open to new opportunities of using renewable energy sources, whose technology processes are more and more advanced. If we look into the future, we have to realize our fossil fuels are running out, and the demand for energy increases, so we have to turn to alternative sources of energy like wind power, hydropower and others.

1. WPROWADZENIE

Żyjemy w 21. wieku i jako technologicznie zaawansowana cywilizacja potrzebujemy zaawansowanych metod do pozyskiwania energii elektrycznej z dostępnych nam źródeł. Od tysięcy lat ludzie próbowali ulepszyć i ułatwić sobie życie. Począwszy od nauki użycia ognia, poprzez konstruowanie budynków z kamienia, aż do takich wynalazków jak kolej, żarówka i samochód.

2. ENERGIA SŁONECZNA

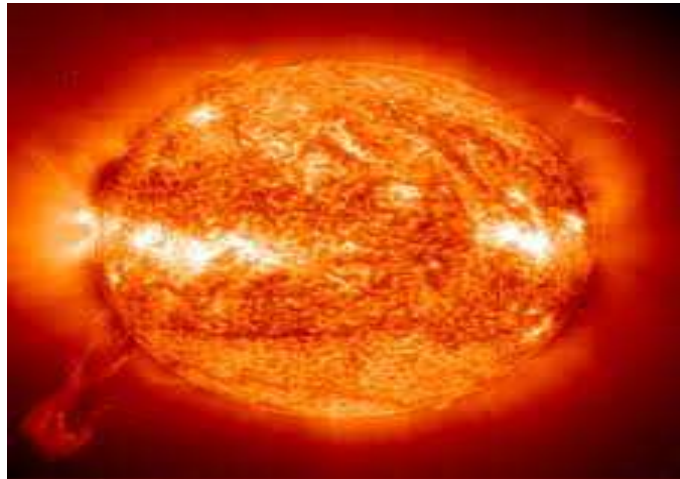
Słońce jest darmowym, cichym i czystym źródłem energii i jest odpowiedzialne za życie na naszej pla-

1. INTRODUCTION

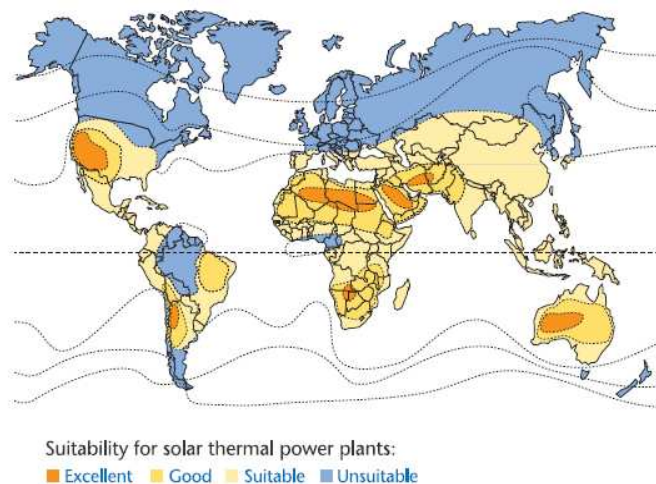
We live in the 21st century, and as a technologically advanced civilization, we need sophisticated methods to obtain electricity from sources that are available for us. From thousands of years, people tried to improve and facilitate their lives. Starting with learning the use of fire, through making the building of stone until the invention of railways, light bulbs or cars.

2. SOLAR POWER

The sun is free, silent, and nonpolluting source of energy and is responsible for all life forms on the pla-



Rys. 1. Słońce, źródło: [www. http://spacefellowship.com](http://spacefellowship.com)
 Fig. 1. The sun, source: [www. http://spacefellowship.com](http://spacefellowship.com)



Rys. 2. „Pas słoneczny” – najlepsze regiony dla lokalizacji elektrowni słonecznych, źródło: [5]
 Fig. 2. “Solar belt” – the best locations for thermal power plants, source: [5]

necie. Słońce produkuje energię od miliardów lat. Energia słoneczna to promienie słońca (promieniowanie słoneczne), które dociera do Ziemi. Energia ta może być przetworzona w inne formy energii, takie jak energia elektryczna i ciepła. Wykorzystanie słońca do produkcji energii może mieć formę bezpośrednią lub pośrednią. Bezpośrednia energia słoneczna używana jest do ogrzewania wody (do użytku domowego, przemysłowego lub komercyjnego), ochładzania i klimatyzacji, suszenia produktów rolnych, destylacji (głównie w procesie produkcji soli lub solanki poprzez wyparowanie wody morskiej) oraz do produkcji energii elektrycznej.

Energia ciepła słońca jest najwłaściwsza do wykorzystania w regionach tworzących tzw. „pas słoneczny” (Rys. 2). Są to obszary około 30° na północ lub na południe od równika, gdzie bezpośrednie promieniowanie słoneczne jest na wysokim poziomie przez cały rok [1].

net. The sun has produced energy for billions of years. Solar energy is the sun’s rays (solar radiation) that reach the Earth. This energy can be converted into other forms of energy, such as electricity and heat. Its use for energy generation can be direct or indirect. Direct solar energy is used to heat water (domestic, industrial, or commercial uses), to cool and air condition, to dry agricultural products, for distillation (mainly for the production of salt or brine by evaporation from seawater), and for electric power generation.

Thermal solar energy is most appropriate for areas of the planet that form the solar belt (as shown in the Figure 2 below), those areas about 30° to the north or south of the equator, where direct solar radiation is very high throughout the year [1].

Użycie pośredniej energii słonecznej związane jest z przekształceniem światła słonecznego bezpośrednio na elektryczność, za pomocą modułów składających się z baterii fotowoltaicznych.

Ciepłownie słoneczne wykorzystują promienie słońca do ogrzewania cieczy do bardzo wysokich temperatur. Następnie ciecz przepływa przez rury i przekazuje swoje ciepło wodzie w celu wytworzenia pary. Para, z kolei, przetworzona zostaje na energię mechaniczną w turbinie oraz na elektryczność za pomocą konwencjonalnego generatora połączonego z turbiną. Czasami używa się rezerwowo paliwa kopalnego, tak aby elektrownia mogła kontynuować produkcję energii, gdy energia słoneczna nie jest dostępna. Pozyskiwanie energii słonecznej jest czasami uważane za technologię intensywnie wykorzystującą grunty, z powodu obszaru zajmowanego przez tego typu urządzenia. Dużą zaletą jest to, że ciepłownie słoneczne wykorzystują tereny pustynne o charakterze jałowym lub półjałowym, takie jak północny wschód Brazylii, północna Sahara i Ameryka Środkowa. Kolejnym pozytywnym aspektem ciepłej energii słonecznej jest fakt dywersyfikacji rezerw energetycznych. Skutkuje to mniejszą zależnością od paliw kopalnych, których ceny na rynkach międzynarodowych zmieniają się znacznie i będą rosły wraz z wyczerpywaniem się źródeł tych kopalin. Głównym beneficjentem czystych technologii wydaje się być środowisko.

3. ENERGIA WODY

Energia wody jest to energia elektryczna produkowana z wykorzystaniem przepływu wody. W większości energia wody produkowana jest w dużych obiektach. Obiekty te nie powodują zanieczyszczeń, aczkolwiek mogą zakłócić środowisko rzeki lub oceanu w miejscach, w których zostały zbudowane. Przy obecnym światowym poziomie technologii elektrowni wodnych, samoprodukcja energii elektrycznej zyskała na popularności, ponieważ jest ona kojarzona z faktem, że większość gruntów wiejskich posiada rzeki, potoki i małe źródła, które mogą być użyte jako podstawowe źródła energii. Pozyskiwana w ten sposób energia jest powszechnie używana do napędu maszyn stacjonarnych, generowania energii elektrycznej oraz przechowywania wody w zbiornikach. Małe elektrownie mogą używać kół wodnych lub turbin, w zależności od przepływu wody lub dostępnego źródła wody.

The use of indirect solar energy is related to the transformation of solar light directly into electricity that is done through modules consisting of photovoltaic cells.

Solar thermal power plants use the sun's rays to heat a fluid to very high temperatures. The fluid is then circulated through pipes so it can transfer its heat to water to produce steam. The steam, in turn, is converted into mechanical energy in a turbine and into electricity by a conventional generator coupled to the turbine. Sometimes a fossil fuel is used as a backup, so that the power plant can continue to produce energy when solar energy is not available. Solar energy is sometimes considered a land intensive technology, due to the amount of land used in such facilities. Big advantage is that solar thermal power plants use desert lands that are arid or semi-arid, as in the Brazilian northeast, the northern Sahara, and Central America. Another positive aspect of solar thermal power is that diversifying energy reserves results in less dependence on fossil fuels, whose prices float widely on the international market and are subject to increase as their supply sources become exhausted. The environment seems to be the major beneficiary of such clean technologies.

3. HYDROPOWER

Hydropower is electricity produced from flowing water. Most hydropower is produced at large facilities. They are pollution free, but can disrupt the river and ocean habitats where they are constructed. With the present worldwide level of hydropower plant technology, self-production of electric power has gained greatly in popularity because it is associated with the fact that the majority of rural properties have rivers with water streams and small water heads that can be used as primary energy. That energy is commonly used for stationary machine drivers, generation of electricity, and water storage in elevated reservoirs. Small electric power plants can still be used with waterwheels or, depending on the flow or the available head, with turbines.



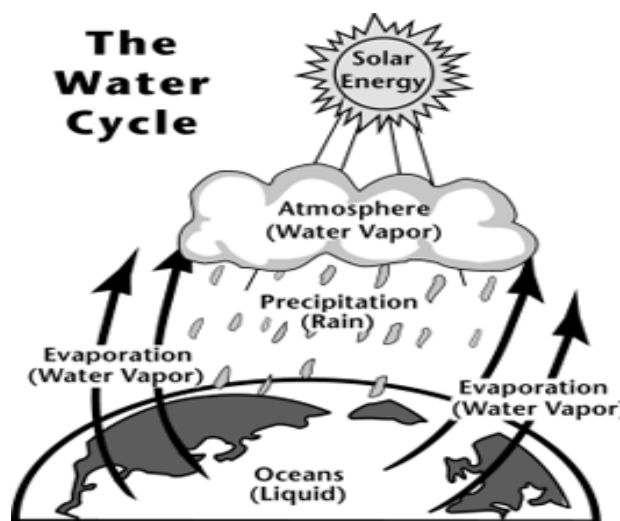
Rys. 3. Zapora Bonneville na rzece Columbia, USA, źródło: www.oregonlive.com
 Fig. 3. Bonneville Dam on the Columbia River, USA, source: www.oregonlive.com

Energia wodna opiera się na cyklu hydrologicznym, dlatego ważne jest, by go dobrze zrozumieć. Rysunek 4 przedstawia podstawowy schemat cyklu hydrologicznego, gdzie:

- energia słoneczna oddziałuje na powierzchnię wody, powodując jej parowanie,
- para wodna zagęszcza się tworząc chmury i ponownie opada na powierzchnię jako opad atmosferyczny (deszcz, śnieg, itp.),
- woda płynie rzekami do oceanów, gdzie paruje i ponownie rozpoczyna cykl hydrologiczny.

Hydropower relies on the water cycle, so it is very important to understand it. In the diagram below (Fig. 4.) the basic diagram of water cycle is presented, where:

- solar energy heats water on the surface, causing it to evaporate,
- this water vapor condenses into clouds and falls back onto the surface as precipitation (rain, snow, etc.),
- the water flows through rivers back into the oceans, where it can evaporate and begin the cycle over again.



Rys. 4. Cykl hydrologiczny
 (Cykl hydrologiczny, Energia słońca, Atmosfera (para wodna), Opady atmosferyczne (deszcz), Parowanie (para wodna), Oceany (ciecz)

Fig. 4. The water cycle

Ogólnie rzecz biorąc, zwykłe turbiny i koła wodne używają energii, którą można obliczyć jako sumą trzech form energii podaną w twierdzeniu Bernoulli’ego. Wyrażenie to pozostaje stałe dla danego przekroju i pozycji w kanale [1]:

$$\frac{v^2}{2g} + h + \frac{p}{\rho g} = \frac{P}{\rho g Q} \quad (1)$$

In general terms, ordinary turbines and waterwheels use the energy that can be evaluated as the sum of the three forms of energy given by *Bernoulli's theorem*. This expression remains constant for a given cross section and position in a channel [1]:

$$\frac{v^2}{2g} + h + \frac{p}{\rho g} = \frac{P}{\rho g Q} \quad (1)$$

gdzie:

v – prędkość przepływu wody (m/s),

g – stała grawitacji (9,81 m/s²),

h – wysokość spiętrzenia wody (m),

p – ciśnienie wody (N/m²),

ρ – gęstość wody (1000.00 kg/m³),

P – moc (kW),

Q – przepływ cieku wodnego (m³/s).

Dla standardowych nowoczesnych turbin, efektywna moc wejściowa może być uzyskana z równania (1) (z pominięciem v i p) dla potencjalnej energii strumienia wody, jako:

$$P_i = \eta_t \rho g Q H_m \quad (2)$$

gdzie η_t oznacza uproszczoną wydajność turbiny (dla standardowych turbin 0,80), a H_m oznacza źródło wody. Przepływ strumienia wody (m³/s) wyrażony jest przez:

$$Q = Av \quad (3)$$

gdzie A oznacza przekrój wody.

Ilość dostępnej energii w płynącej wodzie określa na jest przez jej przepływ lub spadek. Szybko płynąca woda w dużej rzece, takiej jak Columbia (Stany Zjednoczone) stanowiącej granicę między stanami Oregon i Washington, niesie ze sobą znaczną ilość energii. Woda opadająca szybko z dużej wysokości, jak w Wodospadzie Niagara w stanie Nowy Jork, również posiada dużą ilość energii. W obu przypadkach, woda przepływa przez rurę lub rurociąg zasila ją turbinę wodną, następnie napiera na łopatki turbiny powodując ich obracanie, co z kolei powoduje obracanie generatora, który produkuje energię. Na rzece siła prądu wody wytwarza potrzebne ciśnienie, natomiast w systemie magazynowania wody, woda jest przechowywana w zbiornikach utworzonych przez zapory, a następnie uwalniana w potrzebnej ilości w celu generowania energii.

Istnieje obiecująca alternatywa na przyszłość. Wodorowe ogniwa paliwowe, które zawierają wodór i tlen w celu produkcji energii, są obecnie używane przez pojazdy kosmiczne NASA, ponieważ są lekkie i mogą wyzwolić duże ilości energii. Faktycznie, wyzwalają one 7 razy więcej energii niż taka sama ilość węgla [4]. Dodatkowo, wodór może być spalony w czysty sposób, emitując tylko wodę. Wodór występuje w dużej ilości zarówno na Ziemi, jak i w przestrzeni kosmicznej. Jedyną wadą jest to, że na Ziemi wodór występuje głównie jako składnik wody, biomasy (zebranej roślinności), paliw kopalnych oraz niektórych substancji nieorganicznych. Istnieje kilka

where:

v – water flow speed (m/s),

g – gravity constant (9.81 m/s²),

h – height of the water (m),

p – pressure of the water (N/m²),

ρ – density of the water (1000.00 kg/m³),

P – power (kW),

Q – flow of the watercourse (m³/s).

For ordinary modern turbines, the effective power at their input may be obtained from equation (1) (neglecting the terms v and p) for the potential energy in the watercourse as:

$$P_i = \eta_t \rho g Q H_m \quad (2)$$

where η_t is the turbine simplified efficiency (for standard turbines it is taken as 0.80), and H_m is the water head. The available flow of a watercourse (m³/s) is expressed by:

$$Q = Av \quad (3)$$

where A is the water cross section.

The amount of available energy in moving water is determined by its flow or fall. Swiftly flowing water in a big river, like the Columbia River (USA) that forms the border between Oregon and Washington, carries a great deal of energy in its flow. Water descending rapidly from a very high point, like Niagara Falls in New York, also has lots of energy in its flow. In either instance, the water flows through a pipe, or penstock, then pushes against and turns blades in a turbine to spin a generator to produce electricity. In a run of the river system, the force of the current applies the needed pressure, while in a storage system, water is accumulated in reservoirs created by dams, then released as needed to generate electricity.

There is a promising alternative for the future. Hydrogen fuel cells, which combine hydrogen and oxygen to produce electricity, are currently used for NASA's space vehicles because they are light weight and release a lot of energy. In fact, they release 7 times more energy than an equal amount of coal [4]. On top of this, hydrogen can be burned purely to release only water. Hydrogen is one of the most abundant elements on the planet and the most abundant element in the universe. The only down side is that hydrogen on earth is most often trapped in water, biomass (harvested vegetation), fossil fuels, and some inorganics. There are several methods of freeing

metod „uwolnienia” wodoru z wyżej wymienionych substancji. Jedną z nich jest energia słoneczna pozwalająca na rozerwanie molekuł w wodzie. W tym przypadku ogniwo paliwowe jest przyjazne dla środowiska, baterią, której można użyć w innych źródłach energii.

4. ENERGIA GEOTERMALNA

Energia geotermalna pochodzi z gorącego wnętrza Ziemi. Szczeliny w skorupie ziemskiej pozwalają, by woda ogrzana energią geotermalną mogła w naturalny sposób wznieść się na powierzchnię planety tworząc gorące źródła i gejzery. Studnie wiercone w głąb Ziemi pozwalają, by gorąca para lub woda wydostała się na zewnątrz w sposób kontrolowany i została wykorzystana do napędu turbin parowych i generatorów elektryczności. Skorupa ziemska składa się z olbrzymich płyt tektonicznych, uformowanych z kuli cieczy i gazu, jaką była Ziemia miliardy lat temu. Płyty tektoniczne poruszają się bardzo wolno nad ogromną warstwą bardzo gorącej skały i oddziałują na siebie nawzajem prześlizgując się jedna pod drugą, krusząc swoje brzegi i oddalając się od siebie. Ruchy płyt tektonicznych są również jedną z metod powstania zasobów geotermalnych Ziemi. Przejawem tych ruchów są wulkany powstające na skutek wysokiego poziomu energii cieplnej w jądrze Ziemi. Jądro Ziemi jest bardzo gorącą mieszkanką rozżarzonej materii pod cienką powłoką (powierzchnią) i wraz z ruchami płyt tektonicznych jest odpowiedzialne za powstawanie gorących źródeł, gardzieli wulkanicznych i gejzerów. *Geo* oznacza Ziemia, a *termalny* oznacza gorący, więc *geotermalny* oznacza ciepło pochodzące z Ziemi. Jeżeli takie ciepło jest dostępne, można go użyć w sposób bezpośredni lub pośredni. Energia geotermalna ma istotną zaletę – jest odnawialna (ciepło jest bezustannie produkowane we wnętrzu Ziemi), niezawodna, wydajna, a elektrownie geotermalne mogą generować energię przez ponad 95% czasu. Elektrownie geotermalne są bardzo rzadko wyłączane dla celów naprawczych lub serwisowych i mają najwyższy współczynnik wydajności wśród wszystkich elektrowni. Wśród wad energii geotermalnej należy wymienić ograniczone użycie spowodowane zajmowanym obszarem (potrzeba 1-8 akrów gruntu na jeden megawat) oraz wpływ na środowisko związany z wierceniem otworów.

Energia geotermalna jest generowana w jądrze Ziemi.

Temperatury wyższe niż temperatura powierzchni słońca powstają bez przerwy we wnętrzu Ziemi na skutek wolnego rozkładu cząsteczek radioaktywnych, procesu, który ma miejsce we wszystkich skałach.

trapped hydrogen. One way is using solar power to break up the molecules in water. In this case, the fuel cell is an environmentally friendly battery for other sources of power.

4. GEOTHERMAL ENERGY

Geothermal Energy is energy from the hot interior of the Earth. Fissures in the Earth's crust allow water heated by geothermal energy to rise naturally to the surface as hot springs and geysers. Wells drilled into the Earth allow heated steam or water to escape to the surface in a controlled manner to operate steam turbines and electricity generators. The Earth's crust is formed from enormous slabs - the tectonic plates - from the original ball of liquid and gas it was billions of years ago. The tectonic plates are actually moving very slowly over a massive layer of very hot rock, separating from, crushing into, or sliding under one another. The tectonic plate movement is also the way the geothermal resources were formed in our planet. The manifestations of this movement are the volcanoes that result from the high levels of heat energy found in the Earth's core. The Earth core is a very hot mixture of incandescent matter under its thin, mantle (like crust), and together with the tectonic plate movement is responsible for hot springs, steam vents, and geysers. *Geo* means Earth, and *thermal* means heat, so *geothermal* represents Earth heat. Once available, can be used directly or indirectly. Geothermal energy is advantageous because it is renewable – the heat is continuously produced inside the Earth, reliable, efficient, and as a group, geothermal power plants can generate power more than 95% of time. These plants are seldom off-line for maintenance or repairs, and are the highest-capacity factors of all power plants. The disadvantages of geothermal energy include its limited use due to site availability (requiring 1 to 8 acres of land per megawatt) and its environmental impact due to drilling.

Geothermal energy is generated in the Earth's core.

Temperatures hotter than the sun's surface are continuously produced inside the Earth by the slow decay of radioactive particles, a process that hap-



Rys. 5. Elektrownia geotermalna, źródło: www.thinkgeoenergy.com
 Fig. 5. A Geothermal Power Station, source: www.thinkgeoenergy.com

Ziemia posiada kilka różnych warstw:

- jądro, które samo w sobie składa się z dwóch warstw: twardego żelaznego jądra oraz warstwy gorącej skały, zwanej magmą,
- powłokę okalającą jądro o grubości około 2,9 km. Składa się ona z magmy i skały,
- powierzchnię Ziemi, która jest najbardziej oddalona od jej jądra. Jest to warstwa tworząca kontynenty i dna oceanów. Może mieć od 5 do 8 km grubości pod dnem oceanów oraz 24 do 56 km grubości pod kontynentami.

Elektrownie geotermalne używają zasobów hydrotermalnych, które mają dwa wspólne składniki: wodę (hydro) oraz ciepło (termalny). Elektrownie geotermalne potrzebują zasobów o wysokiej temperaturze (150°C do 370°C), które mogą pochodzić ze studni pary suchej lub studni gorącej wody. Można używać tych zasobów poprzez wydrążenie studni w głąb Ziemi i dostarczanie pary lub gorącej wody na powierzchnię za pomocą systemu rur.

Istnieją trzy podstawowe typy elektrowni geotermalnych:

- elektrownie na suchą parę używają pary dostarczanej rurami bezpośrednio ze zbiornika geotermalnego w celu uruchomienia turbin generatora. Pierwszą taką elektrownię zbudowano w 1904 roku w Toskanii, we Włoszech, gdzie naturalna para wydostaje się z Ziemi,
- elektrownie na parę impulsową pobierają gorącą wodę o wysokim ciśnieniu z głębi Ziemi i przetwarzają ją na parę, która napędza turbinę generatora. Kiedy para ochładza się, zostaje skroplona i jest ponownie wtryskiwana do ziemi. Proces taki powtarza się. Większość elektrowni geotermalnych to właśnie elektrownie na parę impulsową,
- elektrownie wykorzystujące obieg dwuczynnikowy przekazują ciepło wód geotermalnych do innej cieczy. Ciepło powoduje, że druga ciecz zamienia się w parę, która jest używana do napędzania turbiny generatora.

pens in all rocks. The Earth has a number of different layers:

- the core itself has two layers: a solid iron core and an outer core made of very hot melted rock, called magma,
- the mantle surrounds the core and is about 2,90 kilometers thick. It is made up of magma and rock,
- the crust is the outermost layer of the Earth, the land that forms the continents and ocean floors. It can be 5 to 8 kilometers thick under the oceans and 24 to 56 kilometers thick on the continents.

Geothermal power plants use hydrothermal resources that have two common ingredients: water (hydro) and heat (thermal). Geothermal plants require high temperature (150°C to 370°C) hydrothermal resources that may come from either dry steam wells or hot water wells. We can use these resources by drilling wells into the Earth and piping the steam or hot water to the surface.

There are three basic types of geothermal power plants:

- dry steam plants use steam piped directly from a geothermal reservoir to turn the generator turbines. The first geothermal power plant was built in 1904 in Tuscany, Italy, where natural steam erupted from the Earth,
- flash steam plants take high-pressure hot water from deep inside the Earth and convert it to steam to drive the generator turbines. When the steam cools, it condenses to water and is injected back into the ground to be used over and over again. Most geothermal power plants are flash steam plants,
- binary cycle power plants transfer the heat from geothermal hot water to another liquid. The heat causes the second liquid to turn to steam which is used to drive a generator turbine.

Energia geotermalna jest relatywnie przyjazna dla środowiska. Zanieczyszczenie w formie spalin nie występuje, pomimo wierceń w powierzchni Ziemi. Środowisko nie doznaje uszczerbku, z wyjątkiem obszaru gruntu koniecznego do postawienia elektrowni i budowy dróg dojazdowych. Jako źródło zaspokajające podstawowe obciążenia energetyczne, energia geotermalna różni się od innych energii ze źródeł odnawialnych, takich jak energia wiatru i energia słoneczna, ponieważ może produkować elektryczność 24 godziny na dobę 365 dni w roku. Użycie konwencjonalnych zanieczyszczających paliw, takich jak ropa i węgiel, może być zredukowane, jeżeli zastąpi je energia geotermalna i energia z innych alternatywnych źródeł (zmniejszenie zanieczyszczenia). Energia geotermalna może przybrać różne formy. Na przykład może być używana do produkcji elektryczności lub gorąca woda może być użyta bezpośrednio do ogrzewania domów mieszkalnych i przedsiębiorstw. Magma z wnętrza Ziemi i gorąca sucha skała mogą dostarczać taniej i czystej energii w prawie nieograniczonych ilościach, gdy tylko zostaną opracowane technologie ich wykorzystania. W międzyczasie, z uwagi na obficie występujące źródła energii o umiarkowanej temperaturze, najbardziej rozpowszechnioną formą elektrowni będą elektrownie wykorzystujące obieg dwuczynnikiowy.

5. ENERGIA WIATRU

Pojęcie energia wiatru lub siła wiatru oznacza proces, w którym wiatr używany jest do generowania siły mechanicznej lub elektryczności. Turbiny wiatrowe przetwarzają energię kinetyczną wiatru na siłę mechaniczną. Ta siła mechaniczna może być używana do specjalnych zadań (takich jak mielenie ziarna lub pompowanie wody) lub też generator może przetwarzać tę siłę mechaniczną na elektryczność. Energia siły wiatru pochodzi z energii słonecznej na skutek nierównego rozmieszczenia temperatur w różnych częściach Ziemi. Jednocześnie, ziemia w suchych rejonach nagrzewa się (i ochładza) szybciej niż morza (Rys. 6). To zróżnicowane nagrzewanie napędza globalny atmosferyczny system unoszenia powietrza od powierzchni Ziemi do stratosfery, która działa jak wirtualny sufit. Większość energii zgromadzona w ruchach wiatru znajduje się na dużych wysokościach, gdzie stała prędkość wiatru może wynosić ponad 160 km/h. Na koniec, energia wiatru, na skutek tarcia, jest przetwarzana na ciepło rozproszone na powierzchni Ziemi i w atmosferze. Całkowita ilość energii, jaką w gospodarny sposób można uzyskać

Geothermal energy is relatively environmentally friendly. Pollution in the form of fumes are not produced although usually drilling of the Earth's surface takes place. The surrounding environment is not harmed with the exception of the land required for the power plant and transport links. As a base-load source of energy, geothermal is distinct from other renewables such as wind and solar, because it can provide electricity 24 hours a day, 365 days a year. The use of conventional polluting fuels such as oil and coal can be reduced if geothermal and other alternative energy forms are used (reducing pollution). Geothermal power can take different forms. For instance, it can be used to produce electricity or the hot water can be used directly to heat homes and businesses. Steam and hot water reservoirs are just a small part of the geothermal resource. The Earth's magma and hot dry rock will provide cheap, clean, and almost unlimited energy as soon as we develop the technology to use them. In the meantime, because they're so abundant, moderate-temperature sites running binary-cycle power plants will be the most common electricity producers.

5. WIND ENERGY

The terms wind energy or wind power describe the process by which the wind is used to generate mechanical power or electricity. Wind turbines convert the kinetic energy in the wind into mechanical power. This mechanical power can be used for specific tasks (such as grinding grain or pumping water) or a generator can convert this mechanical power into electricity. Wind power energy is derived from solar energy, due to uneven distribution of temperatures in different areas of the Earth, along with this, dry land heats up (and cools down) more quickly than the seas do (Fig. 6). The differential heating drives a global atmospheric convection system reaching from the Earth's surface to the stratosphere which acts as a virtual ceiling. Most of the energy stored in these wind movements can be found at high altitudes where continuous wind speeds of over 160 km/h occur. Eventually, the wind energy is converted through friction into diffuse heat throughout the Earth's surface and the atmosphere. The total amount of economically extractable power available from the wind is considerably more than present human po-



Rys. 6. Farma wiatrowa, źródło: www.canrea.ca
 Fig. 6. Wind farm, source: www.canrea.ca

z siły wiatru jest znacząco większa niż używana obecnie siła ludzka ze wszystkich źródeł. Można oszacować, że z siły wiatru możliwe jest uzyskanie 72 terawatów (TW) energii w sposób komercyjny, a średnia globalna konsumpcja energii ze wszystkich źródeł wyniosła 15 TW w roku 2005.

Wiatr jest jednym z najczystszych źródeł energii, a ponieważ jest to zasób generowany w sposób naturalny, stanowi najobfitsze źródło energii na naszej planecie. Energia wiatru powstaje przez użycie turbin wiatrowych lub wież turbin wiatrowych. Ilość energii produkowana przez jedną turbinę wiatrową zależy w dużym stopniu od rozmiarów tej turbiny. Duża turbina będzie produkować kilkaset megawatów elektryczności, co jest wystarczającą ilością dla kilku gospodarstw domowych. Mniejsza turbina to taka, która dostarcza maksymalnie 100 kW elektryczności. Mniejsze turbiny używane są dla pojedynczych domów lub małych przedsiębiorstw, ewentualnie jako energia rezerwowa. Niektórzy używają jeszcze mniejszych turbin do napędzania akumulatorów łodzi żaglowych i do innych zastosowań.

Istnieją dwa typy turbin wiatrowych, według ułożenia osi:

- turbiny o osiach poziomych,
- turbiny o osiach pionowych.

Najczęściej używanym typem są turbiny o osiach poziomych – stanowią 95% wszystkich turbin. Turbiny muszą być wysokie i szerokie, tak aby „złapać” jak najwięcej wiatru. Turbiny o osiach pionowych to jedynie 5% używanych obecnie turbin. Większe turbiny są często umieszczane w dużej liczbie na farmach wiatrowych, które dostarczają energii do sieci elektrycznych. Farma wiatrowa, czyli elektrownia wiatrowa, to zbiór turbin używanych do produkcji elektry-

wer use from all sources. An estimated 72 terawatt (TW) of wind power on the Earth potentially can be commercially available, compared to about 15 TW average global power consumption from all sources in 2005.

The wind is one of the cleanest sources of energy, and because it is a naturally generated resource, it is also the most abundant energy source on the planet today. Wind energy is created through the use of wind turbines, or wind turbine towers. How much energy is produced from one wind turbine depends entirely on how large the turbine is. A large wind turbine will produce several hundred megawatts of electricity which is enough electricity to power several hundred homes. A smaller wind turbine is defined as one that provides 100 kW of electricity or less. These smaller turbines are used for homes or small businesses, or as a resource of backup for electricity. Some people use even smaller turbines to power sailboat batteries or for other uses.

There are two types of wind machines (turbines) used today, based on the direction of the rotating shaft (axis):

- horizontal-axis wind machines
- vertical-axis wind machines.

Horizontal-axis wind machines are used the most. They make up 95% of all wind machines. Wind machines stand tall and wide to capture more wind. Vertical-axis wind machines make up just 5% of the wind machines used today. Larger turbines are often grouped together into wind farms that provide power to the electrical grid. Wind power plants, or wind farms, as they are sometimes called, are clusters of

czności. Zwykle jedna farma posiada kilkadziesiąt turbin rozmieszczonych na dużym obszarze. Największa farma wiatrowa na świecie (dane z października 2009) to Roscoe Wind Farm w Roscoe, w Teksasie. Farma posiada 627 turbin wiatrowych (produkcji firm Mitsubishi, GE i Siemens) o całkowitej wydajności 781,5 MW i przewyższa pobliskie Horse Hollow Wind Energy Center o wydajności 735,5 Mw. Koszty projektu wyniosły ponad miliard dolarów USA. Farma może dostarczyć energii w ilości wystarczającej dla ponad 250 tysięcy przeciętnych teksańskich gospodarstw. Wiele elektrowni wiatrowych nie należy do grupy przedsiębiorstw użytku publicznego. Ich właścicielami i operatorami są prywatni przedsiębiorcy, którzy sprzedają wyprodukowaną energię do napędzania urządzeń elektrycznych. Są to niezależni producenci energii (Independent Power Producers).

6. ENERGIA BIOMASY

Biomasa to organiczny, nieskamieniały materiał powstały ze szczątków roślin i zwierząt. Największym źródłem energii biomasy jest drewno oraz odpady drzewne, a następnie energia z odpadów miejskich i paliwa alkoholowe. Biomasa składa się w większości z materiału organicznego i wody [1], [2]. Spalanie pochodzące z biomasy, takie jak palenie drewna, używane jest od czasów prehistorycznych do dzisiaj. Jednakże proces ten nie jest zbyt wydajny. Przetwarzanie stałej biomasy na paliwo gazowe lub płynne poprzez ogrzewanie jej przy ograniczonej ilości tlenu, jeszcze przed właściwym spalaniem, znacznie zwiększa wartość opałową i ogólną wydajność, pozwalając na przetworzenie biomasy w inne cenne substancje chemiczne lub materiały. Przykładowo, gazyfikacja biomasy to produkowanie energii między różnymi systemami energetycznego użycia biomasy.

Użycie drewna i innych form biomasy jako paliw do produkcji energii i ciepła jest w centrum zainteresowania w wielu krajach świata. Biomasa jest paliwem naturalnym, tanim i przede wszystkim odnawialnym. Zwiększająca się dostępność biomasy, wraz z najnowszym rozwojem technologii jej użycia w sposób wydajny i zapewniający niską emisję zanieczyszczeń, są obiecującym czynnikiem do tego, by biomasa stała się atrakcyjnym źródłem pozyskiwania paliwa. Wspólne spalanie biomasy z węglem w konwencjonalnych kotłach węglowych może stanowić atrakcyjną opcję użycia biomasy do generowa-

wind machines used to produce electricity. A wind farm usually has dozens of wind machines scattered over a large area. The world's largest wind farm (as of October 2009), the Roscoe Wind Farm in Roscoe, Texas, has 627 wind turbines (Mitsubishi, GE and Siemens turbines) and a total installed capacity of 781.5 MW, which surpasses the nearby 735.5 MW Horse Hollow Wind Energy Center. The project cost more than \$1 billion and provides enough power for more than 250,000 average Texan homes. Many wind plants are not owned by public utility companies. Instead, they are owned and operated by business people who sell the electricity produced on the wind farm to electric utilities. These private companies are known as Independent Power Producers.

6. BIOMASS ENERGY

Biomass is organic, non-fossilized material made from plants and animals. Wood and wood waste are the largest sources of biomass energy, followed by energy from municipal solid waste (MSW) and alcohol fuels. Biomass is largely composed of organic material and water [1], [2]. Combustion deriving from biomass, such as burning wood, has been used from prehistoric times to the present. However, it is not very efficient. Converting solid biomass to a gaseous or liquid fuel by heating it with limited oxygen prior to combustion greatly increase the heating value and overall efficiency, making it possible to convert the biomass to other valuable chemicals or materials. For example the gasification of biomass is developing energy among various systems for the energetic utilisation of biomass.

Use of wood and other forms of biomass as fuels for generating electricity and heat become a focus of renewed interest in many parts of the world. Biomass is an indigenous, often cheap, and above all renewable fuel. The increasing availability of biomass combined with the recent development of technologies to use it efficiently and with low levels of emissions, promise to make biomass an increasingly attractive fuel option. The co-firing of biomass with coal in conventional coal-fired boilers can provide a reasonably attractive option for the utilisation of biomass for the generation of power, and in some cases heat.

nia energii oraz, w niektórych przypadkach, ciepła. Wspólne spalanie używa rozwiniętej infrastruktury związanej z istniejącymi systemami pozyskiwania energii opartymi na paliwach kopalnych i wymaga jedynie relatywnie niewielkich dodatkowych inwestycji kapitałowych. W większości krajów wspólne spalanie biomasy jest jedną z najbardziej rentownych technologii przyczyniających się do znacznej redukcji emisji dwutlenku węgla.

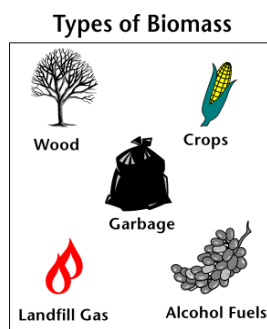
Technologie gazyfikacji biomasy znajdują się w sferze zainteresowania przedsiębiorstw komercyjnych od kilkudziesięciu lat. Gazyfikacja polega na ogrzewaniu biomasy w środowisku, gdzie stała biomasa przetwarzana jest do postaci palnego, niskokalorycznego gazu. Ten biogaz jest następnie oczyszczony i filtrowany w celu usunięcia związków chemicznych. Gaz jest używany w bardziej wydajnych systemach produkcji energii zwanych systemami cyklu mieszanego, które łączą turbiny gazowe i parowe do produkcji elektryczności. Wydajność takich systemów może sięgać 60%. Systemy gazyfikacji mogą być też połączone z systemami ogniw paliwowych za pomocą reformingu, aby wyprodukować wodór oraz przetworzyć gaz wodorowy w elektryczność (albo ciepło). Zainteresowanie gazyfikacją biomasy zwiększyło się znacznie w latach 70. ubiegłego wieku z powodu niepewności związanych z dostawami ropy. Większość działań rozwojowych koncentrowała się na mniejszych systemach. Obecnie pracuje kilkadziesiąt małych zakładów gazyfikacji biomasy.

Generatory obrotowe używane przy pozyskiwaniu energii ze źródeł odnawialnych mogą używać dowolnego uzwojenia elektrycznego, prądu stałego lub zmiennego, a prąd zmienny może być synchroniczny lub asynchroniczny. Obecnie użycie urządzeń prądu stałego jest uzasadnione dla bardzo małych elektrowni, ponieważ urządzenia te mają duże gabaryty, wymagają serwisu i są relatywnie mało wydajne. Istnieją też maszyny oparte na działaniu magnesu stałego, lecz używa się ich dla niskich zakresów energii.

Co-firing makes use of the extensive infrastructure associated with the existing fossil fuel-based power systems, and requires only relatively modest additional capital investment. In most countries, the co-firing of biomass is one of the most economic technologies available for providing significant CO₂ reductions.

Biomass gasification technologies have been a subject of commercial interest for several decades. Gasification operates by heating biomass in an environment where the solid biomass breaks down to form a flammable, low caloric gas. The biogas is then cleaned and filtered to remove chemical compounds. The gas is used in more efficient power generation systems called combined cycles, which combine gas turbines and steam turbines to produce electricity. The efficiency of these systems can reach 60%. Gasification systems may also be coupled with fuel cell systems using a reformer to produce hydrogen and convert hydrogen gas to electricity (and heat). Interest in biomass gasification increased substantially in the 1970s because of uncertainties in petroleum supplies. Most development activities were concentrated on small scale system. Dozens of small-scale facilities are in operation [1].

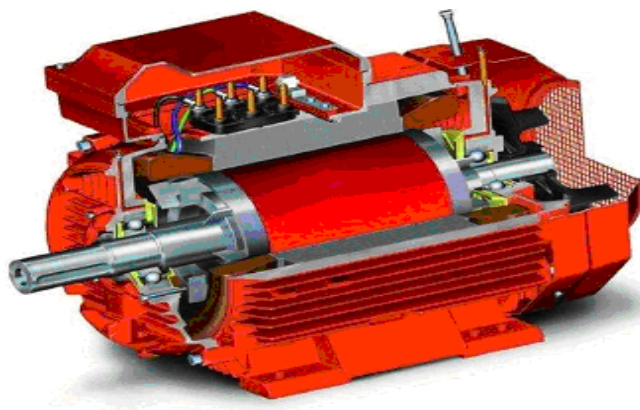
Rotating generators used for renewable energies can technically use any type of electrical winding and construction, such as dc or ac, where the ac can be either synchronous or asynchronous (induction) types. Today, dc machines can only be justified for very small power plants because they are bulky, require maintenance, and are relatively inefficient. There are some other contemporary permanent magnet-based design machines, but they are also used for low power ranges. An electrical generator converts me-



Rys. 7. Różne rodzaje biomasy
(drewno, plony rolne, śmieci, gaz wysypiskowy, paliwa alkoholowe)
Fig. 7. Different kinds of biomass types

W aplikacjach (bio)energetycznych generatory są połączone z silnikami, turbinami parowymi i gazowymi. Wydajność generatora jest wysoka w całym zakresie jego możliwości. Jednakże, wydajność jest funkcją prędkości obrotu. Dla silników stacjonarnych (takich jak te używane w aplikacjach bioenergetycznych) generator jest zaprojektowany i działa dla jednej prędkości obrotu, umożliwiając wysoką wydajność 96 – 98 %.

chanical energy to electrical energy, commonly by electromagnetic induction. Generators are in (bio)energy applications connected to motors, steam turbines and gas turbines. The efficiency of a generator is high over the full range of capacities. However, the efficiency is a function of the rotation speed. For stationary motors (as used in bio-energy applications) the generator is operated and designed for a single rotation speed, enabling high efficiencies of 96 – 98 %.



Rys. 8. Generator asynchroniczny, źródło: www.aerostarwind.com/induction_generator.html

Fig. 8. Induction generator, source: www.aerostarwind.com/induction_generator.html

W typowych przypadkach małe elektrownie oparte na źródłach odnawialnych używają generatorów asynchronicznych, które są łatwo dostępne i niedrogie. Są również łatwe w obsłudze w porównaniu z większymi systemami, z uwagi na zabezpieczenia napięciowe oraz częstotliwość sieci, podczas gdy statyczne i bierne kondensatory kompensacyjne mogą być używane do korygowania czynnika mocy i redukcji harmonicznej. Chociaż generator asynchroniczny jest najbardziej odpowiedni dla elektrowni wodnych i wiatrowych, można go też skutecznie używać w pojazdach napędzanych silnikami Diesla, silnikami na biogaz, gaz naturalny, benzynę oraz alkohol. Generatory asynchroniczne mają znakomite osiągi jako silniki lub prądnice, ponieważ mają bardzo mocną konstrukcję, zapewniają naturalną ochronę przeciwzwarciową oraz najniższe koszty eksploatacji ze wszystkich generatorów. Gwałtowne zmiany prędkości spowodowane zmianami obciążeń lub zmianą głównego źródła, spotykane zwykle w małych elektrowniach, są z łatwością amortyzowane przez solidnie skonstruowany wirnik, a wszelkie przepięcia tłumione przez ścieżkę magnetyczną jego żelaznego rdzenia, tak więc nie ma niebezpieczeństwa rozmagnesowania, jak to ma miejsce w generatorach opartych na magnesach stałych.

Typically, small renewable energy power plants rely mostly on induction machines, because they are widely commercially available and very inexpensive. It is also very easy to operate them in parallel with large power systems, because the utility grid controls voltage and frequency while static and reactive compensating capacitors can be used for correction of the power factor and harmonic reduction. Although the induction generator is mostly suitable for hydro and wind power plants, it can be used efficiently in prime movers driven by diesel, biogas, natural gas, gasoline, and alcohol motors. Induction generators have outstanding operation as either motors or generators; they have every robust construction features, providing natural protection against short circuits, and have the lower cost among generators. Abrupt speed changes due to load or primary source changes, usually expected in small power plants, are easily absorbed by its solid rotor, and any current surge is damped by the magnetization path of its iron core without fear of demagnetization, as opposed to permanent magnet-based generators.

7. PODSUMOWANIE

Tradycyjna bioenergia w formie paliw drzewnych, węgla drzewnego i odpadów towarzyszy ludzkości od czasów wynalezienia ognia, lecz dopiero w ciągu ostatnich 100 lat energia ta pojawia się na nowo w bardziej zaawansowanych formach. Tanie i obfite rezerwy paliw kopalnych w postaci ropy i gazu naturalnego pojawiły się jako źródło energii i przez ponad 80 lat spychały biopaliwa na poślednie miejsce w hierarchii rozwoju branży energetycznej. Od tego czasu sytuacja znacznie się zmieniła i obecnie paliwa kopalne wchodzi w okres schyłkowy swojej supremacji, co spowodowane jest rosnącym znaczeniem kwestii ochrony środowiska i zmian klimatycznych na poziomie międzynarodowym. Zmiany globalne na rynku energii, zwłaszcza decentralizacja i prywatyzacja, stworzyły nowe możliwości i wyzwania dla odnawialnych źródeł energii. Eksperymenty związane ze wsparciem ze strony rynku zmieniają nasz sposób postrzegania produkcji i utylizacji energii. Trudno jest przewidzieć popyt na energię w dłuższej perspektywie czasowej. Jednakże, wydaje się pewne, że popyt ten będzie rósł. Aby zapewnić długotrwałe użycie bioenergii, należy ją produkować i eksploatować w sposób zrównoważony, tak aby pokazać jej korzyści środowiskowe i społeczne w porównaniu z paliwami kopalnymi. Rozwój energii biomasy jest obecnie na relatywnie wczesnym etapie, a nacisk położony jest na rozwój takich sposobów dostarczania oraz przetwarzania energii, które powodują minimalne skutki dla środowiska. Choć technologie zmieniają się dość szybko, liczba prac badawczych i rozwojowych związanych z bioenergią jest znikoma w porównaniu z pracami zajmującymi się paliwami kopalnymi i powinna być znacząco zwiększona.

Literatura

1. *Farret F., Simoes M.*(2006): Integration of Alternative Sources of Energy. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
2. *Kaygusuz K.*(2009): Biomass as a Renewable Energy Source for Sustainable Fuels, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 535-545.
3. *Stąsiek J.*(1999): Renewable energy resource – energy for the future. Gdańsk: Agni Publishing.
4. <http://www.eere.energy.gov>.
5. <http://greenterrafirma.com>.

Recenzent: dr inż. Antoni Zdrojewski

7. CONCLUSIONS

Traditional bio-energy in the form of fuel wood, charcoal and residues has been with humanity since the discovery of fire, but only in the past 100 years or so has it reappeared in a more advanced and modern version. Cheap and ample reserves of fossil fuels in the form of oil and natural gas came onto the picture and for over 80 years pushed biofuels to the back seat of energy development. Things have moved on considerably since then and we are now in a area where fossil fuels are seeing their last decades of supremacy, where environmental and climate change issues are high on the international agenda. Global changes in the energy market, particularly decentralization and privatization, have created new opportunities and challenges for renewable energy sources in general. Experiments in market based support are changing the way we look at energy production and utilization. It is difficult to forecast long term energy demand. However, it seems clear that it will continue to grow. For bioenergy to have a long term future, it must be produced and used sustainably to demonstrate its environmental and social benefits in comparison to fossil fuels. The development of modern biomass energy is still at a relatively early stage, with focus on the development of fuel supply and conversion routes that minimize environmental impacts. Although the technologies are evolving quite rapidly, the researches and development devoted to bio-energy is insignificant compared to that on fossil fuels, and needs to be substantially increased.

References

1. *Farret F., Simoes M.*(2006): Integration of Alternative Sources of Energy. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
2. *Kaygusuz K.*(2009): Biomass as a Renewable Energy Source for Sustainable Fuels, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 535-545.
3. *Stąsiek J.*(1999): Renewable energy resource – energy for the future. Gdańsk: Agni Publishing.
4. <http://www.eere.energy.gov>.
5. <http://greenterrafirma.com>

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ИЗ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

Целью настоящей статьи является представление альтернативных источников энергии, доступных в современности. Энергетический сектор должен развиваться и вводить новшества. Это является проблемой не только энергетики. Правительства всех стран должны открыть новые возможности использования возобновляемых источников энергии, которых технологические процессы являются всё более развитыми. Если мы заглянем в будущее, мы должны дать себе отчёт в том, что наши шахтные топлива истощены, а спрос на энергию растёт, поэтому следует интересоваться альтернативными источниками энергии, которые используют энергию ветра, воды и другие.