



Odnawialne źródła energii – wybrane problemy*

Janusz ZMYWACZYK

*Wydział Mechatroniki i Lotnictwa, Wojskowa Akademia Techniczna,
ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa*

Streszczenie. W pracy przedstawiono wybrane problemy dotyczące kilku odnawialnych źródeł energii (OZE), takich jak energia: wiatru, promieniowania słonecznego oraz geotermalna z wnętrza Ziemi. W oparciu o dostępną literaturę dokonano oceny dostępności energii tych źródeł, następnie przedstawiono typowe rozwiązania techniczne umożliwiające konwersję energii odnawialnej w energię elektryczną i/lub ciepło, a także pokazano na przykładach współcześnie działające elektrownie wiatrowe, kolektory słoneczne, stawy słoneczne, panele fotowoltaiczne oraz instalacje grzewcze z pompą ciepła. Pokazano zarówno obecne, jak i prognozowane do 2035 roku, światowe zapotrzebowanie ludzkości na energię oraz zwrócono uwagę na wady i zalety związane z wykorzystaniem poszczególnych źródeł energii odnawialnej.

Słowa kluczowe: odnawialne źródła energii, wiatraki, kolektory słoneczne, pompy ciepła

1. WSTĘP

Jednym z największych wynalazków pierwotnego człowieka było datowane na około 500 tys. lat p.n.e. ujarzmienie ognia. Wpłynęło to w zasadniczy sposób na przebieg dalszego rozwoju gatunku ludzkiego, gdyż ognisko było przez tysiąclecia źródłem ciepła i światła, a później energii napędzającej cały rozwój cywilizacji technicznej. Obecnie węgiel, ropa naftowa i gaz ziemny pokrywają około 80% światowego zapotrzebowania na energię.

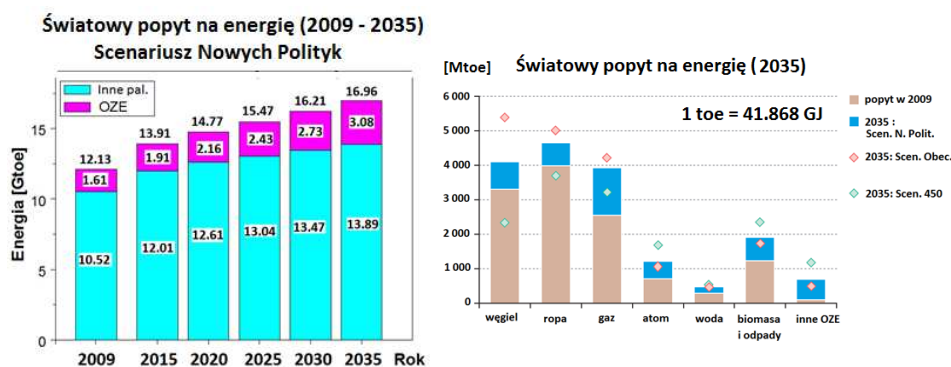
*Artykuł zamówiony przez redakcję

Z uwagi jednak na coraz większe zapotrzebowanie ludzkości na energię, przy jednoczesnym nieodwracalnym procesie wyczerpywania się zasobów paliw kopalnych (węgiel, ropa naftowa, gaz ziemny) oraz ze względu na konieczność ochrony środowiska naturalnego człowieka, niezbędna staje się intensyfikacja badań nad wykorzystaniem alternatywnych źródeł energii. Przykładowo, jedna tylko elektrownia o mocy 1000 MW opalana węglem kamiennym zużywa do produkcji prądu elektrycznego w ciągu roku 3,5 mln ton węgla i 7 mln ton tlenu z atmosfery, emitując przy tym do atmosfery 8 mln ton dwutlenku węgla oraz wiele szkodliwych gazów.

Alternatywą dla wyczerpujących się paliw kopalnych są źródła energii, których wykorzystanie następuje poprzez naturalne odtwarzanie. Zgodnie z podaną definicją zawartą w art. 3 pkt. 20 Ustawy z dnia 15 kwietnia 1997 – Prawo energetyczne, do OZE zaliczamy takie źródła energii, których wykorzystanie opiera się na procesie przetwarzania energii:

- wiatru,
- promieniowania słonecznego,
- geotermalnej z wnętrza Ziemi,
- fal, prądów i pływów morskich,
- spadku rzek,
- pozyskiwanej z biomasy, biogazu wysypiskowego,
- odprowadzania lub oczyszczania ścieków albo rozkładu składowanych szczątków roślinnych i zwierzęcych.

Na podstawie raportu Międzynarodowej Agencji Energetyki (IEA) [1], powstałej w listopadzie 1974 i zrzeszającej 28 państw członkowskich, przewiduje się trzy scenariusze polityki rozwoju zapotrzebowania na energię do 2035 roku (rys. 1), to znaczy scenariusz bieżący, scenariusz nowy i tak zwany scenariusz 450 polegający na ograniczeniu emisji CO₂ do poziomu 450 ppm (cząsteczek na milion). Do 2035 roku przewiduje się średnioroczny wzrost zapotrzebowania na energię w tempie 0,8% wg scenariusza 450 albo 1,3% wg Scenariusza Nowych Polityk. Dla zobrazowania wielkości liczbowych podanych na rysunku 1, weźmy pod uwagę światowy popyt na energię w 2009 roku, który wyniósł 12,13 Gtoe, to znaczy gigaton ropy naftowej o ekwiwalentnej rocznej energii. Uwzględniając, że energia chemiczna zawarta w 1 m³ oleju napędowego odpowiada 0,98 toe, czyli 41,033 GJ, stąd otrzymujemy, że zbiornik w kształcie sześcianu wypełniony po brzegi olejem napędowym miałby bok o długości 2282,2 m.



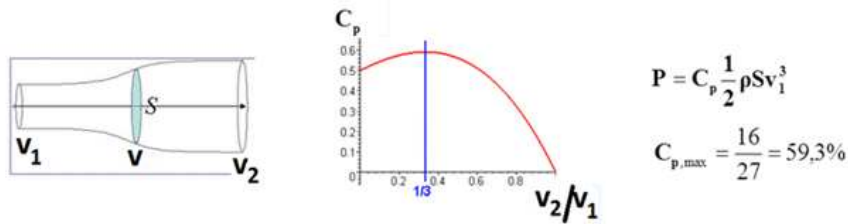
Rys. 1. Globalne zapotrzebowanie na energię w [Gtoe] do 2035 roku (Scenariusz Nowych Polityk) wg raportu IEA-2011 [1]

Fig. 1. Global demand for energy in [Gtoe] up to 2035 year (New Policies Scenario) according to the IEA-2011 report [1]

2. ENERGIA WIATRU

Wiatr należy do odnawialnych źródeł energii. Źródłem energii kinetycznej wiatru jest od 1 do 2% energii słonecznej docierającej do powierzchni Ziemi. Różna zdolność absorpcji promieniowania słonecznego przez lądy i oceany powoduje nierównomierny rozkład temperatury, który jest bodźcem termodynamicznym dla powstania prądów konwekcyjnych w atmosferze, różnicy ciśnień i cyrkulacji powietrza. Na kierunek wiatru ma wpływ ruch wirowy Ziemi i związana z tym ruchem siła Coriolisa oraz prądy morskie. Dostępność energii wiatru w skali globalnej jest szacowana na 53 TWh/rok, czyli 4 razy więcej niż jej zużycie w 1998 roku. W samym tylko 2007 roku moc wszystkich nowych instalacji wiatrowych wyniosła 19,7 GW, co w skali globalnej dało 93,8 GW. Należy jednak pamiętać, że elektrownie wiatrowe mogą pracować tylko wtedy, gdy prędkość wiatru zawiera się w granicach od 4 do 25 m/s.

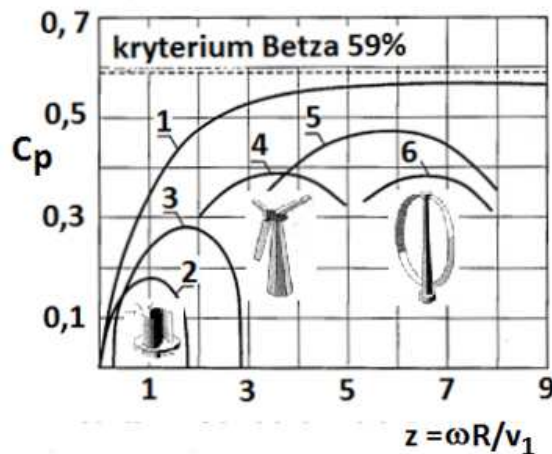
Zgodnie z prawem Betza [2], podanym w 1919 roku, teoretycznie możliwe jest wykorzystanie $16/27$, czyli 59,3% energii kinetycznej wiatru przez pracującą turbinę wiatraka, przy czym ma to miejsce w przypadku, gdy stosunek prędkości powietrza v_2 (za) do v_1 (przed) rotorem turbiny wynosi $1/3$ (rys. 2). Podane przez Betza ograniczenie wynika z faktu, że wiatr – aby opuścić rejon turbiny – musi mieć określoną energię kinetyczną. Kryterium Betza pomija jednak efekty dynamiczne wynikające z pracy turbiny wiatrowej.



Rys. 2. Ilustracja do prawa Betza (P – moc użyteczna, C_p – współczynnik wykorzystania energii wiatru, ρ – gęstość powietrza, S – powierzchnia, jaką zakreśla wirnik)

Fig. 2. Sketch for the Betz' law (P – power output, C_p – wind performance coefficient, ρ – air density, S – surface of the rotor)

Aby uwzględnić wpływ efektów dynamicznych wynikających z pracy turbiny wiatrowej, wprowadza się wyróżnik szybkozbieżności „ z ” będący stosunkiem liniowej prędkości na końcu łopaty (ωR) do prędkości wiatru niezaburzonego v_1 . Współczynnik wykorzystania energii wiatru dla różnych rodzajów turbin wiatrowych wraz z zaznaczonym kryterium Betza oraz Glauerta widoczny jest na rysunku 3.

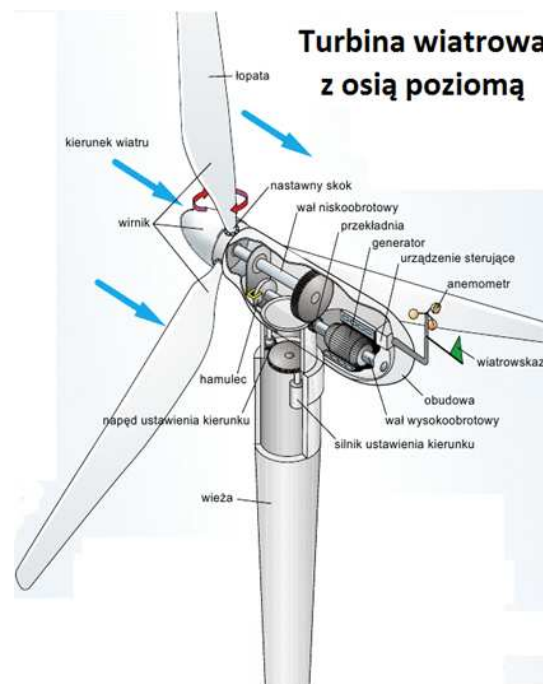


Rys. 3. Współczynnik wykorzystania energii wiatru C_p w zależności od wyróżnika szybkozbieżności „ z ” dla różnych rodzajów turbin wiatrowych wraz z zaznaczonym kryterium Betza oraz kryterium Glauerta (1). Wiatraki: 2 – Savoniusa, 3 – wielołopatowy, 4 – trójłopatowy, 5 – dwułopatowy, 6 – Darrieusa [3]

Fig. 3. Wind performance coefficient C_p depending on ratio of blade top speed to wind speed for various kinds of wind turbines with selected criteria of Betz' and Glauert' (1). Windmills: 2 – Savonius, 3 – multiblade, 4 – three-blade, 5 – two-blade, 6 – Darrieus [3]

Z rysunku tego wynika, że współczesne elektrownie wiatrowe wyposażone w turbiny dwu- i trójłopatowe pozwalają uzyskać sprawność na poziomie 39% (trójłopatowe), a nawet (47%) (dwołopatowe).

Współczesna trójłopatowa turbina wiatrowa, widoczna na rysunku 4, zawiera piastę, na której osadzone są trzy ukształtowane aerodynamicznie łopaty o regulowanym mikroprocesorowo kącie nastawienia. Piasta turbiny jest montowana na przegubie wahliwym chroniącym łożyska wału przed nadmiernymi wibracjami. Kołpak, przykrywający piastę, przechodzi płynnie w gondolę. W gondoli mieści się wał niskoobrotowy napędzany bezpośrednio przez piastę turbiny, przekładnia podwyższająca obroty i generator wytwarzający prąd. Prąd płynie kablami wewnątrz wieży do transformatora zasilającego sieć lokalną. Każda z turbin w sieci lokalnej jest sterowana własnym mikroprocesorem i połączona z komputerem centralnym, który koordynuje ich pracę.



Rys. 4. Szkic współczesnej trójłopatowej turbiny wiatrowej [4]

Fig. 4. Sketch of modern three-blade wind turbine [4]

Zgodnie z nabytym przez Holendrów doświadczeniem, wiatraki powinny być ustawiane w strefie niezakłóconej i tak, aby wirnik znajdował się 2-3 m powyżej najwyższej przeszkody i 300 m od niej.

W Polsce największym parkiem wiatrowym do 2008 roku był Tymień k. Kołobrzegu. Na obszarze byłego PGR-u postawiono 25 wiatraków, każdy o wysokości wieży 100 m i długości łopaty 40 m, wyposażonych w 2 MW turbiny Vestas V80 o łącznej mocy 50 MW. Koszt inwestycji wyniósł 235 mln zł.

Obecnie największą farmą wiatrową w Polsce jest Margonin (60 turbin Vestas V80 o łącznej mocy 120 MW). W Rumunii nad Morzem Czarnym powstaje kosztem 1,1 mld euro największy park wiatrowy w Europie o docelowej mocy 600 MW. U wybrzeży Wielkiej Brytanii zbudowano morską farmę wiatrową o łącznej mocy 300 MW, na którą składa się 100 wiatraków wyposażonych w turbiny Vestas V90 o mocy 3 MW każda. Przewiduje się, że w Polsce do 2020 roku powstanie morska farma wiatrowa na Bałtyku.

Połączeniem wiatraka z dyfuzorem jest komercyjne rozwiązanie firmy Maxi Vortec pokazane na rysunku 5. Średnica wirnika wynosi 54 m, a uzyskiwana moc 3,5 MW. Warto podkreślić, że dzięki zastosowaniu dyfuzora udało się zwiększyć moc 3-krotnie. Niestety, koszt jednego wiatraka z dyfuzorem jest od 4 do 5 razy większy od standardowego rozwiązania (przy zachowaniu łącznej mocy).

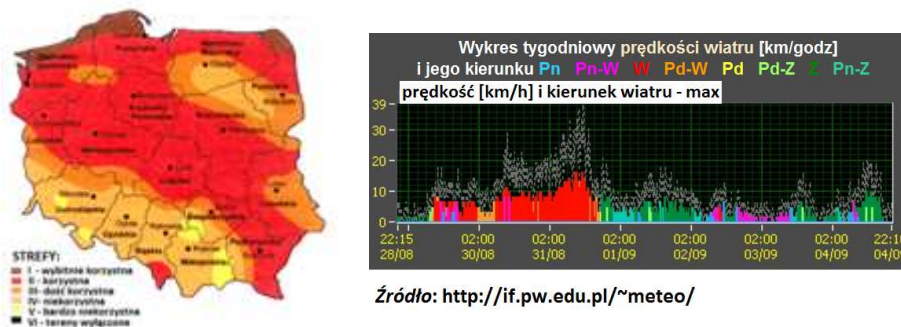


Rys. 5. Widok wiatraka połączonego z dyfuzorem firmy Maxi Vortec – moc 3,5 MW [5]

Fig. 5. View of diffuser connected with windmill made by Maxi Vortec (power – 3,5 MW) [5]

Wiatr charakteryzuje się dużą zmiennością co do kierunku i prędkości. W Polsce w ciągu roku jest około 8700 godzin wietrznych, z których praktycznie można wykorzystać około 8000 godzin. Lokalizację stref energetycznych wiatru na terenie Polski oraz wykres tygodniowy prędkości wiatru i jego kierunku na obszarze m.st. Warszawy przedstawiono na rysunku 6.

Widać z niego, że najbardziej korzystne warunki dla energetyki wiatrowej charakteryzujące się tym, że na wysokości 50 m nad powierzchnią ziemi średnioroczna prędkość wiatru wynosi około 7 m/s, występują w pasie nadmorskim oraz w północno-wschodniej części Suwalszczyzny [6].



Rys. 6. Strefy energetyczne wiatru w Polsce [6] oraz tygodniowe zmiany prędkości i kierunku wiatru na terenie m.st. Warszawy

Fig. 6. Wind power zones in Poland [6] and weekly change of speed and direction of wind in Warsaw

W krótkim podsumowaniu wady i zalety energetyki wiatrowej zebrano w tabeli 1.

Tabela 1. Zalety i wady energetyki wiatrowej

Table 1. Advantages and disadvantages of wind power

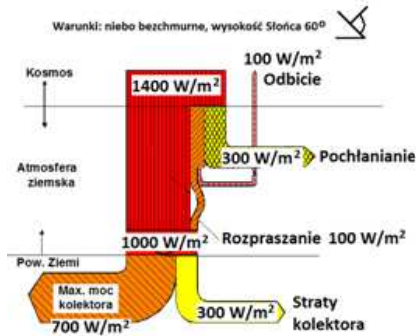
Zalety	Wady
<ul style="list-style-type: none"> – redukcja zanieczyszczeń, – redukcja zużycia paliw kopalnych, – zagospodarowanie nieużytków, – nowe miejsca pracy 	<ul style="list-style-type: none"> – wysokie koszty inwestycyjne (800-1100 EUR/1kW), – hałas, – zagrożenie dla ptaków, – zmiany w krajobrazie, – zmienność mocy w czasie

3. ENERGIA PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO

Słońce o promieniu $R = 696$ tys. km i średniej temperaturze powierzchni $T = 5780$ K wytwarza, zgodnie z prawem Stefana–Boltzmana, w każdej sekundzie $3,827 \cdot 10^{26}$ J energii na sposób ciepła.

Powstała moc promieniowania podzielona przez pole sfery o promieniu 149,6 mln km równemu odległości Ziemi od Słońca to w przybliżeniu 1400 W/m^2 na 1 m^2 . Docierające do Ziemi promieniowanie słoneczne traci 100 W/m^2 na skutek odbicia od górnych warstw atmosfery (tak zwane albedo) i 300 W/m^2 w wyniku absorpcji przez warstwy atmosfery.

Rozpraszane promieniowanie w ilości 100 W/m^2 nie zmienia bilansu energii. Stąd do powierzchni Ziemi dociera 1000 W/m^2 , z czego efektywnie można wykorzystać 700 W/m^2 przy użyciu kolektora słonecznego. W odniesieniu do całej powierzchni Ziemi daje to około 10^{14} kW mocy (rys. 7).



Rys. 7. Bilans energii promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni Ziemi [7]

Fig. 7. Solar radiation energy balance reaches the Earth's surface [7]

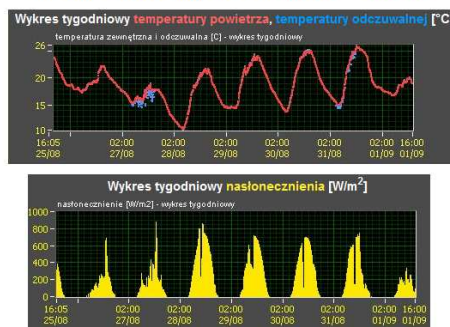
Zgodnie z prognozą zapotrzebowania na paliwa i energię do 2030 roku opracowaną przez Ministerstwo Gospodarki [8], roczne zapotrzebowanie na energię w Polsce ma wynieść w 2030 roku 981,572 TWh/rok w stosunku do 748,972 TWh/rok w 2010 roku.



Rys. 8a. Strefy nasłonecznienia w Polsce [9]

Fig. 8a. Solar irradiation zones in Poland [9]

Zmiany temp. pow. (C) i nasłonecznienia (W/m^2) dla m.st. Warszawy od 25.08 do 01.09. 2012 r.



Źródło: <http://if.pw.edu.pl/~meteo/>

Rys. 8b. Zmienność nasłonecznienia dla Warszawy

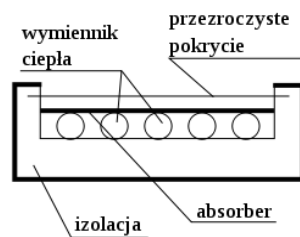
Fig. 8b. Variability of solar irradiation in Warsaw

Biorąc pod uwagę, że potencjał techniczny pozyskania energii promieniowania słonecznego na obszarze terytorialnym Polski wynosi 75520 TWh/rok, daje to około 100-krotny zapas energii. Jak można zauważyć (rys. 8a) na terenie województwa zachodnio-pomorskiego, pomorskiego i lubelskiego występują najbardziej korzystne warunki średniorocznego nasłonecznienia wynoszącego około 1100 kWh/m²/rok. Zmienność warunków nasłonecznienia na obszarze Warszawy w okresie od 25 sierpnia do 1 września 2012 roku przedstawiono na rysunku 8b.

Urządzeniem technicznym, w którym następuje konwersja energii promieniowania słonecznego na ciepło, jest kolektor słoneczny. Ze względu na temperaturę czynnika przenoszącego ciepło, kolektory słoneczne dzielą się na:

- niskotemperaturowe (do 100°C) – najczęściej są to kolektory płaskie, a rzadziej kolektory rurowe próżniowe;
- wysokotemperaturowe (powyżej 100°C), w postaci kolektorów skupiających.

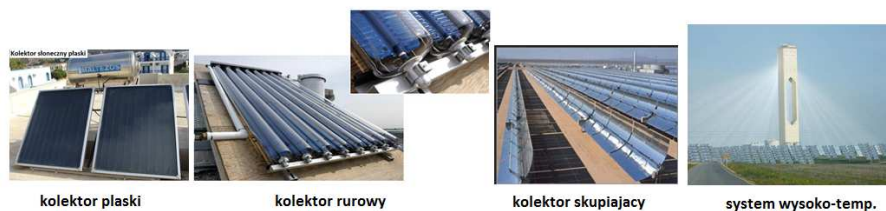
Zasada działania kolektora słonecznego płaskiego (rys. 9) polega na absorpcji krótkofalowego promieniowania słonecznego przez warstwę absorbera pokrywającą płytę stalową, miedzianą lub aluminiową wyposażoną w system przepływu czynnika grzewczego, która po podgrzaniu jest źródłem emisji promieniowania w zakresie długofalowym (podczerwonym) odbijanym następnie do wnętrza kolektora przez przezroczyste pokrycie, które jest przepuszczalne dla promieniowania krótkofalowego. Powstaje w ten sposób efekt cieplarniany.



Rys. 9. Zasada działania płaskiego kolektora słonecznego [10]

Fig. 9. Principle of flat plate solar collector [10]

Przykłady praktycznych rozwiązań technicznych budowy różnych typów kolektorów słonecznych przedstawiono na rysunku 10.

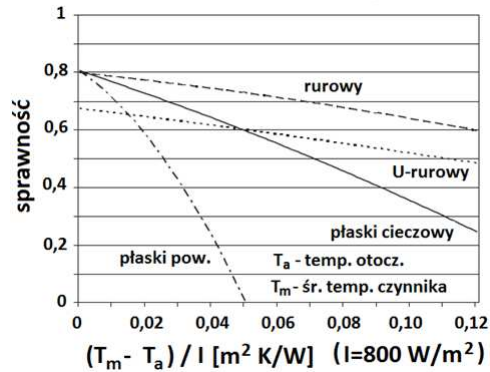


Rys. 10. Rozwiązania techniczne różnych typów kolektorów słonecznych [10]

Fig. 10. Technical solutions for various type of solar collectors [10]

W celu porównania ze sobą różnych typów kolektorów słonecznych wprowadza się parametr η zwany sprawnością, rozumiany jako stosunek energii pobranej przez czynnik roboczy kolektora do energii promieniowania słonecznego padającego prostopadłe na powierzchnię kolektora.

Sprawność różnych typów kolektorów słonecznych w funkcji różnicy średniej temperatury T_m czynnika roboczego kolektora i temperatury otoczenia T_a odniesionej do standardowego natężenia promieniowania słonecznego $I = 800 \text{ W/m}^2$ widoczna jest na rysunku 11.



Rys. 11. Sprawność energetyczna wybranych typów kolektorów słonecznych [7]

Fig. 11. Energetic performance of selected types of solar collectors [7]

Warto zauważyć (rys. 11), że sprawność kolektorów słonecznych jest tym większa, im mniejsza jest różnica temperatury otoczenia i średniej temperatury czynnika.



Rys. 12. Widok stanowiska laboratoryjnego do badań płaskiego kolektora słonecznego wraz z wymiennikiem ciepła

Fig. 12. View of laboratory stand for flat plate solar collector investigations with heat exchanger

W Zakładzie Aerodynamiki i Termodynamiki Instytutu Techniki Lotniczej WML WAT studenci w ramach ćwiczeń laboratoryjnych z przedmiotu termodynamika przeprowadzają w sposób praktyczny badania płaskiego kolektora słonecznego na stanowisku doświadczalnym zakupionym od firmy Phywe, do którego dołączono wymiennik ciepła własnej konstrukcji (rys. 12).

Ciekawym rozwiązaniem widocznym na rysunku 13 jest słoneczna elektrownia wieżowa GEMASOLAR o mocy 19,9 MW położona niedaleko Sewilli w Hiszpanii. W górnej części wieży o wysokości 140 m znajduje się zbiornik roztopionej soli, na którym jest ogniskowane promieniowanie słoneczne przez układ 2650 luster paraboloidalnych o powierzchni 120 m² każdy, śledzących położenie Słońca, zajmujących obszar koncentryczny wokół wieży o powierzchni 185 ha. Roztopiona sól w zbiorniku osiąga temperaturę 565°C i służy do wytworzenia pary wodnej zasilającej turbiny elektrowni. Nadwyżka ciepła jest magazynowana w dolnym zbiorniku, przez co możliwa jest praca elektrowni przez całą dobę.



Rys. 13. Widok koncentratora parabolicznego rynnowego (na lewo) skupiającego promieniowanie słoneczne na wieży elektrowni GEMASOLAR o mocy 19,9 MW (na prawo) [11]

Fig. 13. View of gutter parabolic concentrator (left) focusing sunlight on the tower power plant GEMASOLAR (right) of power 19.9 MW [11]

Innym ciekawym rozwiązaniem są stawy słoneczne (rys. 14). Są to zbiorniki najczęściej słonej wody o głębokości od jednego do 5-6 m. Typowy staw o głębokości 1 m ma 6-8 warstw płynu o zróżnicowanym stężeniu, gdzie rozróżnia się [12]:

- strefę akumulacji, w warstwie przydennej, gdzie występuje temperatura dochodząca nawet do 100°C oraz największe stężenie soli,
- strefę bezkonwekcyjną,
- strefę przypowierzchniową o temperaturze ok. 30°C, zależnej najbardziej od temperatury powietrza.

Współczesny typowy staw słoneczny absorbuje w ciągu doby ok. 10 kWh/m² energii słonecznej. Przykładowo staw słoneczny o pow. $A = 1400 \text{ m}^2$ pozwala na uzyskanie mocy rzędu 6 kW.

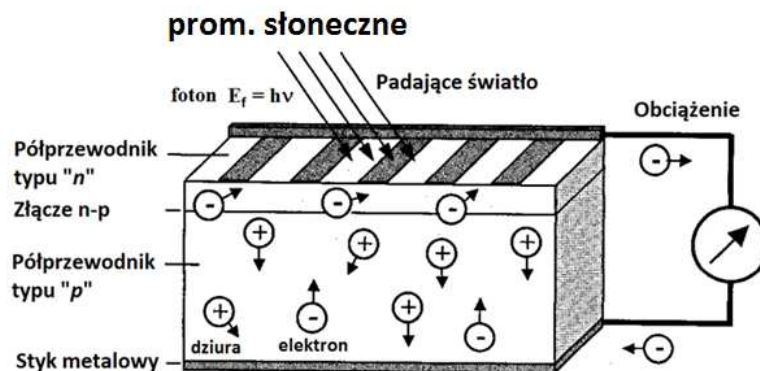


Rys. 14a. Schemat stawu słonecznego [13]

Fig. 14a. Sketch of solar pond [13]

Rys. 14b. Staw słoneczny, Australia
Pyramid Hill [14]Fig. 14b. Solar pond, Australia,
Pyramid Hill [14]

Koszt budowy 0,7 ha stawu słonecznego waha się od 200 do 300 tys. dolarów australijskich [14]. Energia promieniowana słonecznego docierająca do powierzchni Ziemi może być bezpośrednio zamieniana w prąd elektryczny w oparciu o odkryte przez Antoniego Cezara Becquerela w 1839 roku zjawisko fotowoltaiczne, które zostało potwierdzone w 1876 roku przez Adama i Daya na granicy dwóch ciał stałych. Polega ono na generacji par elektron – dziura na złączu dwóch półprzewodników typu *p* i *n* w wyniku oświetlenia go strumieniem fotonów o energii większej od szerokości przerwy energetycznej (rys. 15).

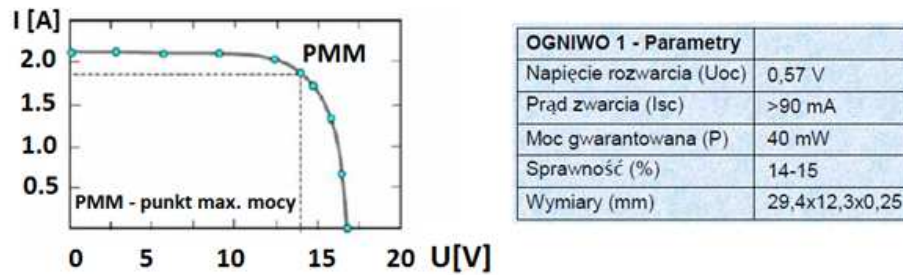


Rys. 15. Schemat ogniw fotowoltaicznych [3 – zmodyfikowano]

Fig. 15. Scheme of photovoltaic cell [3 – modified]

Ogniw fotowoltaiczne można łączyć szeregowo lub równolegle w moduły, a moduły w panele. Napięcie, jakie można uzyskać w warunkach standardowych, to znaczy w temperaturze $T = 25^{\circ}\text{C}$ przy gęstości mocy promieniowania słonecznego $q = 1000 \text{ W/m}^2$, z pojedynczego ogniw fotowoltaicznego, wynosi około 0,5 V.

Sprawność konwersji energii wynosi w przypadku ogniwa wykonanego z krzemu polikrystalicznego od 14 do 15%. Sprawność ta może ulec zwiększeniu nawet do 22% przy wykorzystaniu do tego celu arsenku galu GaAs. Przykładowa charakterystyka prądowo-napięciowa modułu ogniwa paliwowych oraz parametry ogniwa fotowoltaicznego uzyskane w warunkach standardowych przedstawiono na rysunku 16, a jedno z praktycznych zastosowań paneli fotowoltaicznych pokazano na rysunku 17. Całkowita powierzchnia paneli zasilających w energię elektryczną Międzynarodowy Park Biznesu w Doxford (Wielka Brytania) wynosi 646 m². Z powierzchni tej osiągnięta jest moc szczytowa 73 kW, co w ciągu całego roku przekłada się na 55 MWh [16].



Rys. 16. Charakterystyka (I-U) modułu ogniwa fotowoltaicznych (na lewo) oraz parametry ogniwa fotowoltaicznego w warunkach standardowych (na prawo) [15]

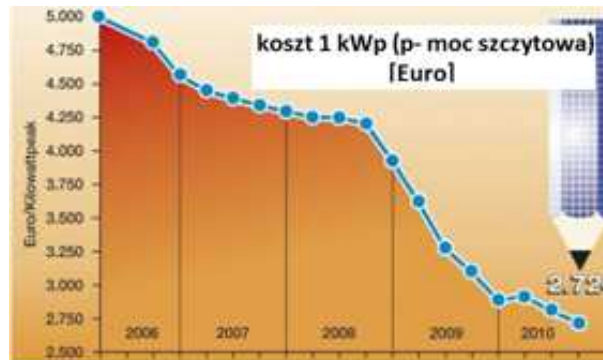
Fig. 16. (I-U) characteristics of photovoltaic cell module (left) and parameters of photovoltaic cell under standard conditions [15]



Rys. 17. Międzynarodowy Park Biznesu, Doxford (Wielka Brytania) zasilany panelami fotowoltaicznymi o mocy szczytowej 73 kW [16]

Fig. 17. International Business Park at Doxford (GB) powered by photovoltaic panels with a peak power of 73 kW [16]

Koszt uzyskania 1 kWp (kilowat mocy szczytowej) z instalacji fotowoltaicznej (wymagana powierzchnia około 10m^2), co w skali jednego roku odpowiada około 800 kWh/rok, wyniósł w Niemczech w 2006 roku 5 tys. euro, a pod koniec 2010 roku koszt ten spadł, dzięki prowadzonej polityce energetycznej rządu Niemiec, do poziomu 2724 euro (rys. 18). Zainstalowana moc instalacji fotowoltaicznych na koniec 2010 roku wyniosła na świecie 36 GW, w tym w Europie 28 GW, a w Polsce niestety tylko 2 MW. Wynika z tego, że w tym obszarze konwersji energii jesteśmy daleko w tyle. Przewiduje się, że w 2020 roku zainstalowana na świecie moc pochodząca z ogniw fotowoltaicznych wzrośnie niemal 10-krotnie do poziomu 350 GW.



Rys. 18. Koszty (w euro) instalacji fotowoltaicznych w Niemczech w latach 2006-2010 [17]

Fig. 18. The costs (in euro) of photovoltaic installations in Germany in 2006-2010 [17]

Studenci Wydziału Mechatroniki i Lotnictwa WAT w ramach przedmiotu termodynamika wykonują ćwiczenie laboratoryjne dotyczące badania ogniwa i baterii słonecznej (rys. 19).



Rys. 19. Stanowiska laboratoryjne do badań ogniwa fotowoltaicznego i baterii słonecznych

Fig. 19. Laboratory stand for investigations of photovoltaic cell and solar batteries

Krótkie podsumowanie w postaci zestawienia wad i zalet energetyki opartej na wykorzystaniu energii promieniowania słonecznego zawiera tabela 2.

Tabela 2. Wady i zalety energetyki opartej na wykorzystaniu promieniowania słonecznego

Table 2. Advantages and disadvantages of the use of energy based on solar radiation

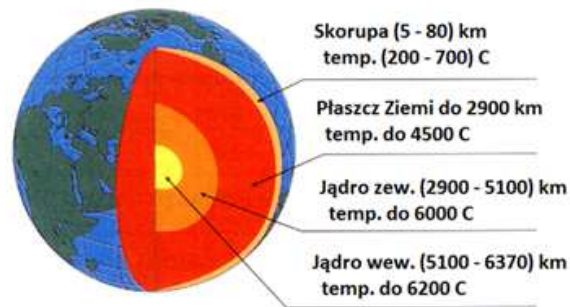
Zalety	Wady
<ul style="list-style-type: none"> – Podstawowe źródło energii odnawialnej na Ziemi; – Praktyczna dostępność energii promieniowania słonecznego pozwoliłaby na 8700-krotne zaspokojenie potrzeb ludzkości na energię w 2035 r.; – Bezpośrednia konwersja promieniowania słonecznego w prąd elektryczny (ogniwo fotowoltaiczne) bądź na ciepło (kolektor słoneczny); – Nie zanieczyszcza środowiska naturalnego 	<ul style="list-style-type: none"> – Relatywnie wysokie koszty inwestycji; – Stosunkowo mała sprawność ogniwa fotowoltaicznego (14-15%) w porównaniu z turbiną wiatrową (około 40%)

4. ENERGIA GEOTERMALNA Z WNĘTRZA ZIEMI

Kolejnym odnawialnym źródłem energii jest energia zawarta we wnętrzu Ziemi. Rozróżnia się tutaj pojęcie energii geotermicznej od energii geotermalnej. Energia geotermiczna odpowiada wewnętrznemu ciepłu Ziemi zgromadzonemu w magmie, skałach i płynach. Część tej energii zawartej w gorących suchych skałach oraz w wodzie znajdującej się w stanie ciekłym i parowym, wypełniającej znajdujące się w skorupie ziemskiej przestrzenie w formie porów i szczelin to energia geotermalna. Energia geotermalna, w zależności od temperatury nośnika oraz jego wydajności, może być wykorzystana zarówno do wytwarzania energii elektrycznej, jak i do celów grzejnych. Przyczyną panującej w jądrze Ziemi temperatury szacowanej na 2900-6200°C są [12]:

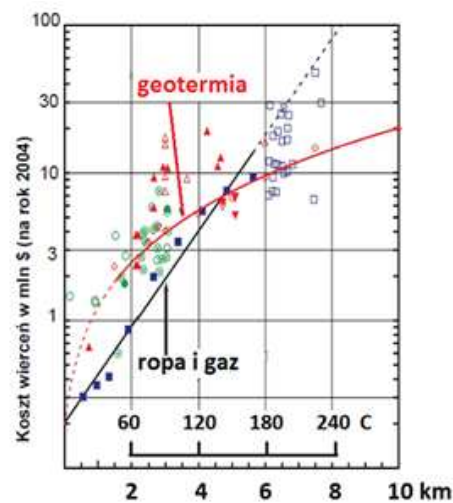
- energia rezydualna pochodząca z okresu tworzenia się Ziemi;
- samoistne źródła energii, takie jak: procesy naturalnego rozpadu izotopów U^{238} , U^{235} , Th^{232} , K^{40} i innych, ciepło krystalizacji substancji tworzących zewnętrzne jądro ciekłe oraz ciepło dyssypacji energii pływów w płynnym wnętrzu Ziemi spowodowane grawitacyjnym oddziaływaniem Ziemia – Księżyc, Ziemia – Słońce.

Na rysunku 20 przedstawiono przekrój wnętrza globu ziemskiego [18]. Średnia gęstość strumienia ciepła geotermicznego wynikającego z różnicy temperatury pomiędzy gorącym wnętrzem a chłodną powierzchnią Ziemi wynosi około 63 mW/m^2 [12]. W warstwie przypowierzchniowej skorupy ziemskiej o grubości do 10 km, na każde 33 m temperatura wzrasta o 1 K. Praktyczne wykorzystanie energii geotermalnej wymaga poniesienia określonych nakładów finansowych. Jak wynika z rysunku 21, średni koszt odwiertu na głębokość 4 km, na której to temperatura wynosi około 120°C , wyniósł w 2004 około 3 mln USD. Warto w tym miejscu podkreślić, że produkcja energii elektrycznej jest opłacalna, gdy temperatura medium grzejjego wynosi co najmniej 120°C .



Rys. 20. Przekrój wnętrza globu ziemskiego [18]

Fig. 20. Cross-section of the interior of the globe [18]

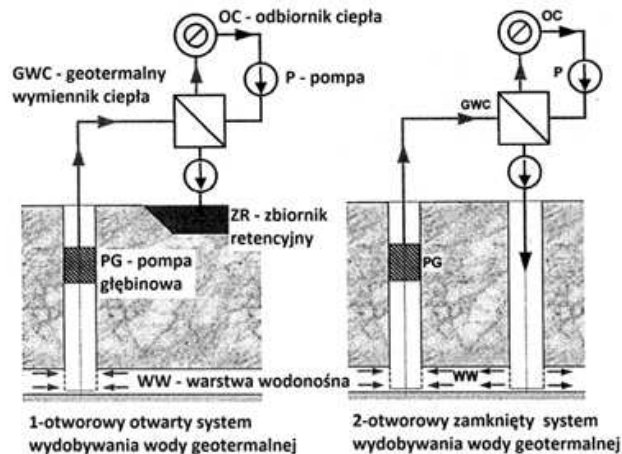


Rys. 21. Średnie koszty wierceń otworów (w mln USD) [19 – zmodyfikowano]

Fig. 21. Mean drilling costs (in mln USD) [19 – modified]

Wydobywanie wody geotermalnej do celów głównie grzewczych odbywa się w systemach eksploatacyjnych jednotworowych otwartych przy małej mineralizacji poniżej $1\text{g}/\text{dm}^3$ bądź w systemach dwuotworowych zamkniętych w przypadku wód geotermalnych zmineralizowanych powyżej $1\text{g}/\text{dm}^3$ [3].

W systemie jednotworowym (rys. 22) woda geotermalna wydobywana z warstwy wodonośnej oddaje część ciepła w geotermicznym wymienniku ciepła (GWC) do zaspokojenia celów grzewczych, po czym jako ochłodzona jest wykorzystywana do celów przemysłowych, rolniczych albo rekreacyjnych (zbiornik retencyjny). Rozwiązanie to jest dość rzadko stosowane z uwagi na możliwość wyczerpania złoża przy zbyt długim okresie eksploatacji oraz szkody w środowisku wód powierzchniowych. Ma ono jednak pewną zaletę związaną z niższymi kosztami na etapie realizacji inwestycji. Odnawialność złoża wody geotermalnej można zapewnić, stosując systemy dwuotworowe (rys. 22) składające się z otworu wydobywczego, tak zwanego produkcyjnego oraz z otworu zatłaczającego. Woda geotermalna jest wydobywana za pomocą pompy głębinowej (PG) otworem produkcyjnym, oddaje ciepło poprzez GWC odbiornikowi ciepła (OC) w postaci wody obiegowej, co wynika z wysokiej mineralizacji wody złożowej, która nie może krążyć w obiegu ciepłowniczym, a następnie schłodzona zatłaczana jest otworem zatłaczającym z powrotem do złoża.

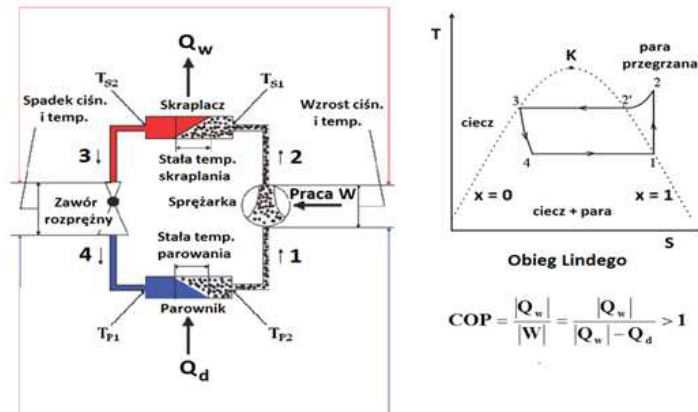


Rys. 22. Systemy eksploatacyjne wydobywania wody geotermalnej [3]

Fig. 22. Operating systems of geothermal water extraction [3]

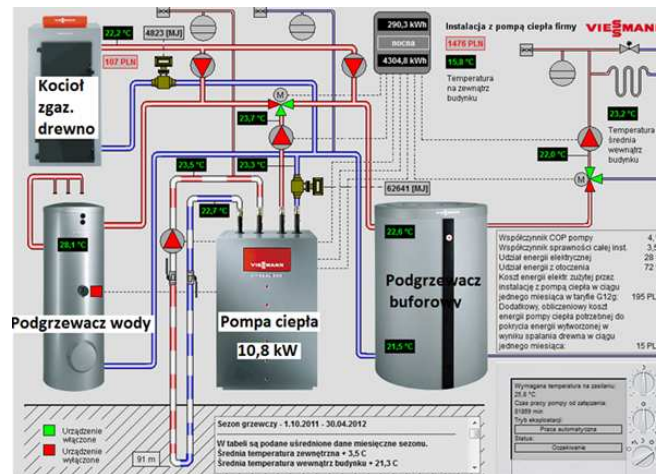
Urządzenie, które umożliwia pobieranie energii na sposób ciepła ze środowiska o relatywnie niskiej temperaturze i bardzo dużej pojemności cieplnej (powietrze, woda, grunt) do środowiska o wyższej temperaturze i małej pojemności cieplnej (np. budynek) kosztem doprowadzonej energii na sposób pracy, to pompa ciepła.

Typowa sprężarkowa pompa ciepła (rys. 23) składa się ze sprężarki wykonującej pracę kosztem doprowadzonej do niej energii elektrycznej, skraplacza, w którym następuje przekazanie energii górnemu źródłu ciepła, zaworu rozprężnego, po przejściu którego czynnik roboczy uzyskuje temperaturę niższą niż temperatura dolnego źródła ciepła i parownika, w którym czynnik roboczy pobiera ciepło z dolnego źródła ciepła. Obieg termodynamiczny sprężarkowej pompy ciepła w układzie T-S (obieg Lindego) przedstawiono na rysunku 23 (prawa strona).



Rys. 23. Schemat sprężarkowej pompy ciepła oraz obieg Lindego [19]

Fig. 23. Heat pump diagram and Linde cycle [19]



Rys. 24. Schemat instalacji grzewczej z pompą ciepła firmy Viessmann [20]
– moc 10,8 kW

Fig. 24. Diagram of the Viessmann heating system with heat pump [20]
– power 10,8 kW

Schemat instalacji grzewczej z pompą ciepła firmy Viessmann [20] widoczny jest na rysunku 24. Wskaźnik efektywności energetycznej pompy ciepła $COP = 4,11$, a współczynnik efektywności całej instalacji ma wartość 3,59. Udział energii elektrycznej wynosi 28%, a udział energii z otoczenia wynosi 72%. Koszt energii elektrycznej zużytej w ciągu miesiąca w taryfie G12g to 195 zł.

Krótkie podsumowanie w postaci zestawienia wad i zalet energetyki opartej na wykorzystaniu energii promieniowania słonecznego zawiera tabela 3.

Tabela 3. Zalety i wady energii geotermalnej z wnętrza Ziemi

Table 3. Advantages and disadvantages of geothermal energy from the Earth's interior

Zalety	Wady
<ul style="list-style-type: none"> – Odnawialny nośnik energii; – Relatywnie niski koszt produkcji ciepła; – Nie zanieczyszcza środowiska naturalnego; – Niezależność od warunków pogodowych; – Koszty eksploatacji niezależne od cen nośników energii 	<ul style="list-style-type: none"> – Wysokie początkowe nakłady inwestycyjne; – Korozja instalacji i kolmatacja złoża; – Ograniczoność terytorialna występowania wody geotermalnej

5. ZAKOŃCZENIE

W pracy przedstawiono wybrane problemy dotyczące wykorzystania energii wiatru, promieniowania słonecznego oraz energii geotermalnej zgromadzonej we wnętrzu Ziemi. Wymienione powyżej źródła energii zalicza się do grupy odnawialnych źródeł energii, to znaczy takich, które podlegają naturalnemu odtwarzaniu. Zgodnie z raportem IEA-2011, do 2035 roku światowy popyt na energię będzie wzrastał w tempie 0,8%/rok wg scenariusza 450 albo w tempie 1,3%/rok wg Scenariusza Nowych Polityk. Przykładowo, szacuje się (rys. 1), że w 2030 roku globalny popyt na energię wyniesie 16,21 Gtoe/rok, co odpowiada 188 852,3 TWh/rok, a w stosunku do całkowitego zapotrzebowania na energię w Polsce szacowanego przez Ministerstwo Gospodarki na 981,572 TWh/rok stanowi to niemal 192-krotność. Warto podkreślić, że udział OZE w globalnym bilansie energetycznym do 2035 roku będzie cechował się systematycznym wzrostem. Biorąc pod uwagę lata 2009 i 2035 szacowany wzrost OZE ma wynieść 47,7%, a paliw kopalnych 24,3% (rys. 1).

Zaspokojenie rosnącego popytu na energię w Polsce do 2030 roku nadal będzie opierało się na paliwach kopalnych, natomiast coraz większego znaczenia będą nabierały takie źródła OZE, jak biomasa, energetyka wiatrowa, geotermia i energetyka oparta na wykorzystaniu promieniowania słonecznego. Niepokojące jest obecnie to, że całkowita moc uzyskiwana w Polsce z instalacji fotowoltaicznych na koniec 2010 roku wyniosła około 2 MW, podczas gdy ma świecie było to 36 GW, a w Europie około 28 GW.

Biorąc pod uwagę pilną potrzebę redukcji emisji gazów cieplarnianych w skali światowej, wyczerpywanie się tradycyjnych paliw kopalnych oraz problemy, jakie napotyka energetyka jądrowa w sytuacjach wystąpienia klęsk żywiołowych, należy oczekiwać, że w prognozowanym okresie do 2035 roku szczególnie znaczenia będzie nabierało pozyskiwanie energii ze źródeł odnawialnych.

LITERATURA

- [1] International Energy Agency, 2011 Energy Outlook, Paris, Nov. 2011.
- [2] www.intechopen.com/books (R. Carriveau (ed.), *Fundamental and advanced topics in wind power*, Ch2 – M. Ragheb, A.M. Ragheb: *Wind turbines theory the Betz equation and optimal rotor tip speed ratio*).
- [3] Nowak W., Stachel A.A., Borsukiewicz-Gozdur A., *Zastosowania odnawialnych źródeł energii*, Wyd. Uczel. Pol. Szczecińskiej, Szczecin, 2008.
- [4] Młody Technik, nr 27, 2005.
- [5] <http://www.heiner-doerner-windenergie.de/maxivortec.jpg>
- [6] Lorenc H., *Struktura i zasoby energetyczne wiatru w Polsce*, IMGW, Warszawa, 1996.
- [7] Neupauer K., Magiera J., Analiza sprawności kolektorów słonecznych różnych typów, *Chemia Czasopismo Techniczne*, 1-Ch/2009, Z. 4, Rok 106, s. 57-65.
- [8] http://www.mg.gov.pl/files/upload/8134/Prognoza_zapotrzebowania_na_paliwa_i_energie-ost.pdf
- [9] <http://www.gazetadobryznak.pl/index.php?art=1096> (strefy nasłonecznienia w Polsce).
- [10] http://pl.wikipedia.org/wiki/Kolektor_słoneczny
- [11] http://en.wikipedia.org/wiki/Gemasolar_Thermosolar_Plant
- [12] Lewandowski W.M., *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, wyd. III zmien., WNT, Warszawa, 2006.
- [13] Szlachta (red.) J., *Niekonwencjonalne źródła energii*, Wyd. AR., Wrocław, 1999.
- [14] http://rener.pl/?page_id=118
- [15] http://we.pb.edu.pl/~kpo/ins_lato/es_wyklad4.pdf

- [16] <http://openlearn.open.ac.uk/mod/oucontent/view.php?id=397932§ion=4.2>
- [17] http://www.bsr-quick.eu/resources/QUICK_Seminar+Solar+Energy+Presentation_PL.pdf
- [18] Jelonek A. (red.), *Encyklopedia geograficzna świata*, Kraków, 1997.
- [19] http://www1.eere.energy.gov/geothermal/pdfs/egs_chapter_6.pdf
- [18] http://www.proper.com.pl/pliki/Geotermia-cieplo_wnetrza_ziemi.pdf
- [19] <http://www.fizyka.wip.pcz.pl/docs/labs/fiztech/CW7.pdf>
- [20] <http://www.viessmann.pl/pl/dom-jednorodzinny/Ogrzewanie/pompy-ciepla/wizualizacja.html>

Renewable Energy Sources – Selected Problems

Janusz ZMYWACZYK

Abstract. The paper presents selected issues on several renewable energy sources (RES) such as: wind, solar, and geothermal energy from the Earth's interior. Based on the available literature an assessment of the energy sources availability was made, then typical technical solutions to convert renewable energy into electricity and/or heat were presented, and finally some examples of contemporary wind turbines, solar panels, solar ponds and heating systems with heat pumps were shown. In addition to this the current and projected up to 2035 year global demand for energy was given and the advantages and disadvantages associated with the use of various sources of renewable energy were highlighted.

Keywords: renewable energy, wind turbines, solar panels, heat pumps

