



Energia odnawialna Jak z niej korzystać?



Niniejszy dokument został opublikowany dzięki pomocy finansowej Unii Europejskiej. Za treść tego dokumentu odpowiada Podlaska Fundacja Rozwoju Regionalnego, poglądy w nim wyrażone nie odzwierciedlają w żadnym razie oficjalnego stanowiska Unii Europejskiej.

Copyright by: Podlaska Fundacja Rozwoju Regionalnego

Białystok 2007

Wydawca

Podlaska Fundacja Rozwoju Regionalnego
ul. Starobojarska 15
15-073 Białystok
Tel. +48 85 740 86 83, fax +48 85 740 86 85
e-mail: pfr@pfr.pl
www.pfr.pl

Skład i druk

Wydawnictwo Prasa Podlaska
ul. Św. Mikołaja 1
15-419 Białystok
tel. +48 85 748 95 93



BIOMASA

JAKO SUROWIEC ENERGETYCZNY

Wstęp

Zapotrzebowanie na energię jest bezpośrednią pochodną rozwoju gospodarczego, stąd też w ciągu najbliższych kilkunastu lat przewidywany jest dalszy znaczny wzrost jej konsumpcji. We wszystkich rozpatrywanych scenariuszach przewiduje się, że po 2020 roku następować będzie zmniejszanie udziału paliw konwencjonalnych: ropy naftowej, gazu ziemnego i węgla, stosownie do wyczerpywania się zasobów i związanego z tym wzrostu cen energii. Ich miejsce zajmować będą odnawialne źródła energii (OZE). W Polsce wśród OZE największe znaczenie ma biomasa, która może być używana na cele energetyczne w procesach bezpośrednio spalania (np. drewno, słoma, osady ściekowe), przetwarzana na paliwa ciekłe (np. estry oleju rzepakowego, alkohol) bądź gazowe (np. biogaz rolniczy, biogaz z oczyszczalni ścieków, gaz wysypiskowy). Powszechne jej wykorzystanie na cele energetyczne może stymulować rozwój wsi i rolnictwa. Wypełnienie tylko zobowiązań wynikających z czterech Dyrektyw Unii Europejskiej (2001/77/WE, 2003/30/WE, 2003/54/WE, 2003/96/WE) do 2010 roku może skutkować popytem na surowce rolnicze z powierzchni około 1 mln ha gruntów rolnych, a w 2020 roku zapotrzebowanie to co najmniej ulegnie podwojeniu. Tworzy to szansę nie tylko na dodatkowe dochody z produkcji rolniczej, ale także nowe miejsca pracy i czystsze środowisko.

Biomasa stanowi trzecie, co do wielkości na świecie, naturalne źródło energii. Według definicji Unii Europejskiej biomasa oznacza podatne na rozkład biologiczny produkty oraz ich frakcje, odpady i pozostałości przemysłu rolnego (łącznie z substancjami roślinnymi i zwierzęcymi), leśnictwa i związanych z nim gałęzi gospodarki, jak również podatne na rozkład biologiczny frakcje odpadów przemysłowych i miejskich (Dyrektywa 2001/77/WE). Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 9 grudnia 2004 r. biomasa to stałe lub ciekłe substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, które ulegają biodegradacji, pochodzące z produktów, odpadów i pozostałości z produkcji rolnej, leśnej oraz przemysłu

przetwarzającego ich produkty, a także części pozostałych odpadów, które ulegają biodegradacji [Dz. U. Nr 267, poz. 2656].

Rola odnawialnych źródeł energii w Polsce, po przyjęciu proekologicznych dokumentów politycznych i rozwiązań prawnych, stale wzrasta i jest zamierzona głównie na wykorzystanie biomasy. Głównymi przesłankami aktywnego rozwoju odnawialnych źródeł energii są:

- wzrost bezpieczeństwa energetycznego (zmniejszenie zależności od importu energii),
- redukcja emisji CO₂ z sektora energetycznego,
- tworzenie nowych miejsc pracy,
- rozwój regionalny, mający na celu osiągnięcie większej społecznej i ekonomicznej spójności pomiędzy poszczególnymi regionami Unii Europejskiej,
- wzrost konkurencyjności gospodarki europejskiej na rynkach trzecich.

Udział ilościowy energii elektrycznej w Polsce ze źródeł odnawialnych w całkowitej sprzedaży w latach 2001-2010 ma wynosić nie mniej niż:

2,40% w 2001 r.;	3,60% w 2006 r.;
2,50% w 2002 r.;	4,20% w 2007 r.;
2,65% w 2003 r.;	5,00% w 2008 r.;
2,85% w 2004 r.;	6,00% w 2009 r.;
3,10% w 2005 r.;	7,50% w 2010 r.

Już w pierwszych latach obowiązywania tych norm, wystąpiły problemy z ich spełnieniem. Przeprowadzone kontrole (nadzór nad przestrzeganiem tego obowiązku powierzono Prezesowi Urzędu Regulacji Energetyki) wykazały, że w 2001 r. znacząca część przedsiębiorstw zajmujących się obrotem energią elektryczną nie wypełniła tego obowiązku. Główną przyczyną była niewystarczająca ilość takiej energii na rynku, która zapewniłaby wszystkim zobowiązanym przedsiębiorstwom możliwość jej zakupu w wymaganej rozporządzeniem ilości. W kolejnych latach realizacja tego obowiązku może być jeszcze trudniejsza, z uwagi na rosnący popyt oraz konieczność dostosowania polskiego prawa do rygorystycznych Dyrektyw (2001/77/WE i 2003/54/WE).



BIOPALIWA STAŁE	BIOMASA BIOPALIWA GAZOWE	BIOPALIWA CIEKŁE
<ul style="list-style-type: none"> - pozostałości z rolnictwa: słoma zbóż, rzepak, siano, łęty, - drewno opałowe: ścinki, kora, wióry, zrębki, trociny, - odpady z produkcji zwierzęcej, - osady ściekowe odwodnione, - rośliny energetyczne drzewiaste i trawiaste, 	<ul style="list-style-type: none"> - biogaz rolniczy z fermentacji gnojowicy i odpadów rolniczych, - gaz drzewny, - gaz wysypiskowy z fermentacji odpadów komunalnych, - biogaz z fermentacji osadów ściekowych, - biogaz z fermentacji odpadów przetwórstwa spożywczego, 	<ul style="list-style-type: none"> - biodiesel - olej rzepakowy: - etanol, - metanol - biooleje, - oleje po smażeniu z placówek żywienia zbiorowego,

Tabela 1. Możliwości energetycznego wykorzystania biomasy [Wojciechowski 2004]

Możliwości energetycznego wykorzystania biomasy przedstawiono w tabeli 1, są one uzależnione od metody konwersji i obejmują postać stałą, gazową i ciekłą.

Najważniejsze jej źródła to:

- drewno pochodzące z lasów, przesiek, sadów, specjalnych upraw oraz odpadowe z przemysłu drzewnego (drewno kawałkowe, trociny, wióry, zrębki, kora),
- nasiona roślin oleistych przetwarzane na estryfikowane oleje stanowiące materiał pędny,
- ziemniaki i zboża przetwarzane na alkohol etylowy dodawany do benzyn,
- słoma i inne pozostałości roślinne, stanowiące materiał odpadowy przy produkcji rolniczej,
- odpady powstające w przemyśle rolno-spożywczym,
- gnojowica lub obornik wykorzystywane do fermentacji metanowej,
- organiczne odpady komunalne,
- organiczne odpady przemysłowe, np. w przemyśle papierniczo-celulozowym.

Szacuje się, że obecny udział energii pozyskiwanej z odnawialnych źródeł w bilansie energetycznym Polski wynosi ok. 2,5%, czyli 104 PJ, przy całkowitym zużyciu energii pierwotnej w 1998 r. wynoszącym ok. 4 000 PJ. Udział odnawialnych źródeł energii w światowym bilansie energetycznym wynosi ok. 18%. Światowa Komisja Rady Energetycznej przewiduje do roku 2020 wzrost udziału energii odnawialnej do 21,3% (scenariusz pesymistyczny) lub nawet do 29,6% (scenariusz optymistyczny). Unia Europejska do roku 2010 planuje zwiększenie udziału OZE w bilansie energetycznym krajów członkowskich do 12%. Tak wysoki udział nośników odnawialnych w bilansie energetycznym wymaga uruchomienia i stosowania mechanizmów wspierających rozwój odnawialnych źródeł energii.

Strategia Rozwoju Energetyki Odnawialnej zakłada zwiększenie udziału energii ze źródeł odnawialnych w bi-

lansie paliwowo-energetycznym kraju do 7,5% w 2010 r. i do 14% w 2020 r. w strukturze zużycia nośników pierwotnych. W Polsce najważniejszym odnawialnym źródłem energii jest biomasa. Ma ona 98% udział w rynku energii odnawialnej [EC BREC, 2000] i ocenia się, że jej wykorzystanie będzie stale wzrastać.

Głównymi zaletami wdrażania odnawialnych źródeł energii są: decentralizacja krajowego sektora energetycznego, zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego kraju, stworzenie szansy rozwoju lokalnych społeczności na utrzymanie niezależności energetycznej, rozwoju regionalnego i stworzenie nowych miejsc pracy, a także przyczynienie się do poprawy stanu środowiska. Szacuje się, że emisja gazów cieplarnianych zostanie zredukowana o ok. 18 mln ton oraz zostanie stworzonych ok. 30-40 tys. miejsc pracy [www.biomasa.org].

Zasoby oraz możliwości pozyskiwania i przetwarzania biomasy

Znaczenie biomasy w bilansie energetycznym Polski wyraźnie wzrosło po wstąpieniu do UE, kiedy poszukując możliwości realizacji polskich zobowiązań odnośnie udziału energii pozyskiwanej z odnawialnych źródeł, zwrócono szczególną uwagę na biomasę. Zasoby biomasy w Polsce są zbliżone do potencjału Unii Europejskiej, ale wykorzystanie jest różne. W krajach Unii Europejskiej wykorzystanie biomasy jest szacowane na ok. 16%, podczas gdy w Polsce wynosi on zaledwie 4%-8% i wynika głównie z energetycznego wykorzystania słomy, drewna i odpadów drzewnych.

Potencjalne zasoby biomasy można podzielić na dwie grupy:

- plantacje roślin uprawnych z przeznaczeniem na cele energetyczne,
 - rośliny drzewiaste szybko rosnące (np. wierzba, topola),



- wieloletnie byliny dwuliścienne (np. topinambur, ślázowiec pensylwański, rdesty), trawy wieloletnie (np. trzcina pospolita, miskanty),
- organiczne pozostałości i odpady, a w tym pozostałości roślin uprawnych.

Biomasę stałą pozyskuje się z odpadów: leśnych, rolniczych, przemysłu drzewnego, zieleni miejskiej oraz niewielkie ilości z segregowanych organicznych odpadów komunalnych.

Potencjał techniczny biopaliw stałych oszacowano na ok. 407,5 PJ w skali roku. Składają się na niego nadwyżki biomasy pozyskanej w rolnictwie (ok. 195 PJ), w leśnictwie (101 PJ), w sadownictwie (57,6 PJ) oraz odpady drzewne z przemysłu drzewnego (53,9 PJ). Ponad 11% drewna pozyskiwanego z Lasów Państwowych wykorzystywane jest do wytwarzania energii, jednak możliwy jest wzrost potencjału drzewnego w lasach (tabela 2).

Sortyment	Zużycie [mln m ³]	
	obecne	możliwości wzrostu
Papierówka	0,8	0,4-1,5
Drewno opałowe	1,4	0-0,2
Drewno małowymiarowe	0,9	0,5-1
Pozostałości zrębowe:		
- drobnica gałęziowa		
- chrust		
- drewno pniakowe	0,00	0,20,51,3
Razem	3,1	1,1-2,9

Tabela 2. Zasoby drewna leśnego na cele energetyczne [Grzybek 2004]

Zasoby biomasy rolniczej możliwej do wykorzystania na cele energetyczne zależne są od upraw zbóż i rzepaku. Podaje się, że z 1 ha uprawy różnych zbóż można zebrać od 10 do 14 t·ha⁻¹ s.m. słomy. Średnie plony suchej masy siana z łąk wynoszą ponad 12-15 t·ha⁻¹, a w dobrych warunkach nawet więcej. Z traw rodzimych najlepiej plonuje trzcina pospolita, bowiem jej plony wycenia się na 12-30 t·ha⁻¹. Należy nadmienić, że przytoczone wartości stanowią nadwyżkę traw zbędnych jako pasza lub specjalnie uprawianych do celów energetycznych [Grzybek 2004].

W przyszłości uzupełnieniem bilansu podaży biomasy na rynku energetycznym może być jej pozyskiwanie z plantacji wieloletnich roślin rodzimych, takich jak wierzb krzewiasta (*Salix* spp.), jak również z gatunków aklimatyzowanych w Polsce, np.: ślázowca pensylwańskiego (*Sida hermafrodita* Rusby), czy też miskanta (*Miscanthus* spp.). Obecnie obserwuje się duże zainteresowanie tymi gatunkami w wielu krajach Europy. Wymienione gatunki

zalicza się do wysoko produktywnych roślin wytwarzających lignino-celulozową biomasę o potencjalnym plonie suchej masy 30 t·ha⁻¹·rok⁻¹. Produkcja biomasy tych roślin i jej przetwarzanie stwarza możliwość wykorzystania części gruntów rolniczych [Szczukowski, Tworkowski 2006].

Szacuje się, że powierzchnia użytków rolnych odłogowanych lub mało intensywnie wykorzystanych rolniczo w Polsce wynosi ok. 1,6-1,8 mln ha. Pomimo iż w znacznej części są to gleby mało urodzajne, to jednak połowa z nich nadaje się pod uprawę roślin energetycznych, które przy prawidłowej agrotechnice i nawożeniu, mogą zapewnić zadawalające plony biomasy. Aby uzyskać powierzchnie upraw energetycznych ok. 600-800 tys. ha konieczne jest wdrożenie mechanizmów spierających plantatorów roślin energetycznych, głównie w zakresie finansowego wsparcia zakładania plantacji, a przede wszystkim właściwego zorganizowania „rynku biomasy”.

Aktualnie w Polsce powierzchnie wieloletnich roślin energetycznych szacuje się na ok. 4 tys. ha, w tym połowę areału stanowią plantacje wierzb energetycznej. Potencjalną podaż biomasy z plantacji roślin energetycznych określa się na poziomie ok. 50 mln ton o wartości energetycznej ok. 400 mln GJ, co jest równoważne energetycznie 20% węgla zużywanego aktualnie w krajowej energetyce (1.900 mln GJ · 0,2 = 380 mln GJ). Pozyskanie takiej ilości biomasy wiązałoby się z przeznaczeniem na ten cel od 1,3 do 1,5 mln hektarów użytków rolnych. Bazą do zakładania potencjalnych plantacji roślin energetycznych mógłby być ciągle rosnący obszar odłogowanych użytków rolnych, oraz część ekstensywnie wykorzystywanych użytków zielonych [Szczukowski, Tworkowski 2006]. Także warunki klimatyczne w Polsce o charakterze przejściowym, z dostateczną liczbą opadów 500-700 mm w okresie wegetacji są sprzyjające do uprawy roślin energetycznych [Dubas 2005].

Podstawowe źródła biomasy w Polsce (rys. 1-3) wskazują na znaczny potencjał biomasy z różnych źródeł [Gaj 2004].

Zapotrzebowanie na biomasę przez energetykę zawodową

Realizacja zobowiązań Polski odnośnie spełnienia udziału 7,5% energii z odnawialnych źródeł w bilansie energetycznym Polski, oprócz działań o charakterze promocyjnym i wspierającym, wymaga także działań w zakresie monitoringu i bilansowania zużycia przez rozproszonych, indywidualnych użytkowników odnawialnych nośników energii. Wskazuje na to ciągły brak jednolitego systemu bilansowania zużycia biomasy słomy i drewna przez indywidualnych użytkowników kotłowni do spalania słomy i drewna.





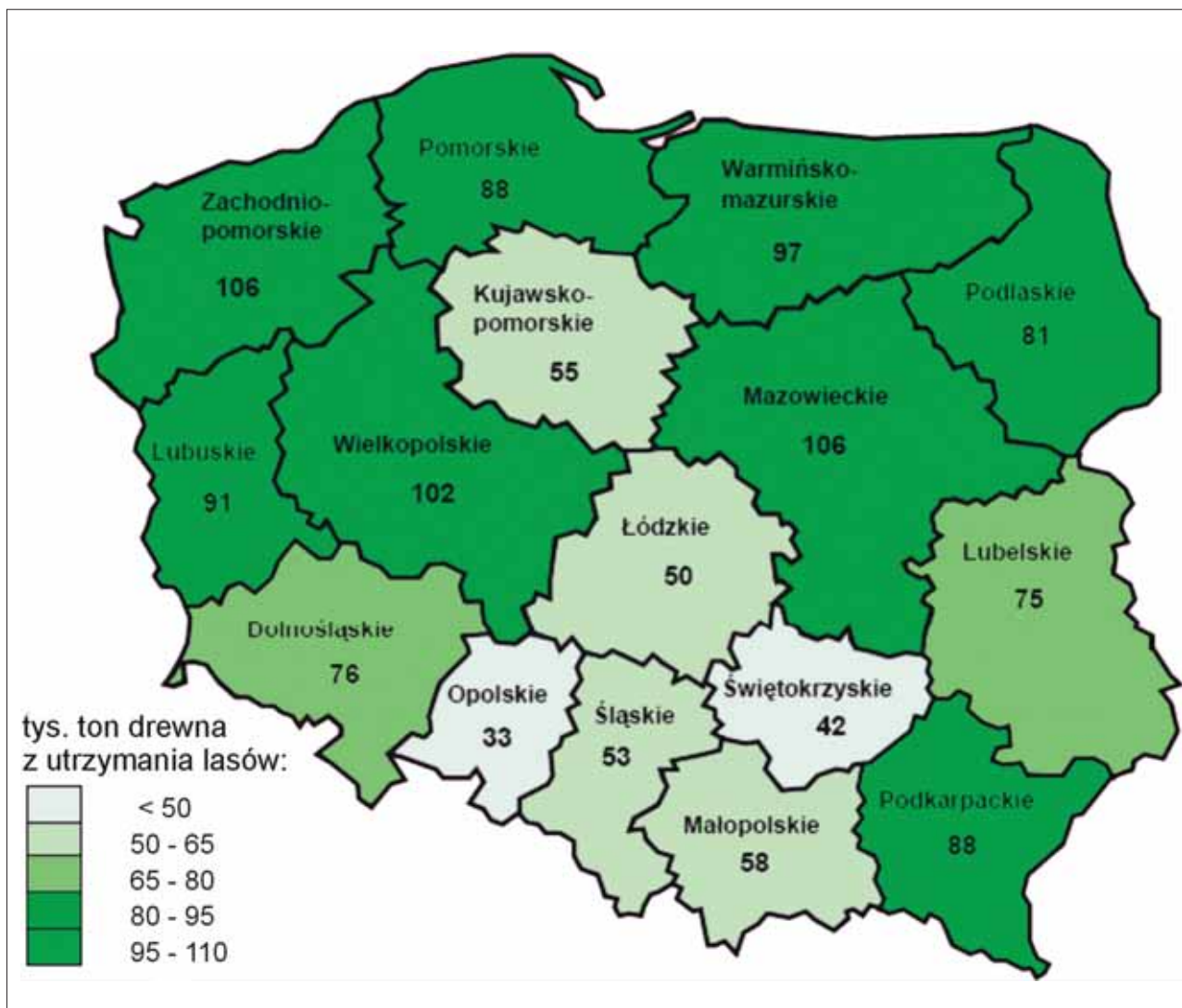
Rys. 1. Zasoby słomy na cele energetyczne [Gaj 2004]

Jednakże spełnienie zobowiązań Polski odnośnie udziału odnawialnych źródeł energii w bilansie energetycznym Polski wymaga niewątpliwie włączenia do tych działań elektrowni i elektrociepłowni tzw. energetyki zawodowej. Rozporządzenia Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 30 maja 2003 roku w sprawie szczególnego zakresu obowiązku zakupu energii elektrycznej i ciepła z odnawialnych źródeł energii, pokazało prawdziwy obraz rynku biomasy w Polsce, a właściwie jego brak [Grzybek 2006].

Decydującą rolę na tym rynku odgrywało jedynie drewno opałowe uzyskiwane z wyřębu lasu, z zasobów Lasów Państwowych. Realizacja Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 19 grudnia 2005 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej oraz zakupu energii elektrycz-

nej i ciepła wytworzonych z odnawialnych źródeł energii – wskazuje na całkowity brak przygotowania rynku biomasy, który przede wszystkim powinien być zorganizowany wokół dużych jednostek energetycznych. Rozwój rynku biomasy jest uzależniony od powierzchni plantacji, uzyskiwanych plonów oraz opłacalności produkcji odnoszonej do cen podstawowych płodów rolnych jak zboża, buraki, rzepak.

W przypadku dużych jednostek produkcyjnych powyżej 5 MW mocy, do energii wytworzonej z odnawialnych źródeł energii zalicza się energię elektryczną lub ciepło, kiedy udział wagowy biomasy pochodzącej z upraw energetycznych lub odpadów i pozostałości z produkcji rolnej oraz przemysłu przetwarzającego jej produkty, a także części pozostałych odpadów, które ulegają biodegradacji, z wyłączeniem odpadów i pozostałości z produkcji leśnej, a także przemysłu przetwarzające-



Rys. 2. Zasoby biomasy pozyskiwanej z lasów [Gaj 2004]

go jej produkty, w łącznej masie biomasy dostarczonej do procesu spalania wynosi nie mniej niż: 5% w 2008 r., 10% - 2009 r., 20% - 2010 r., 30% - 2011r., 4,0% - 2012 r., 50% - 2013 r. i 60% w 2014r. [Grzybek 2006].

W zakładzie energetyki zawodowej nastawionej na współspalanie biomasy lub biogazu z innymi paliwami, do energii wytwarzanej z odnawialnych nośników zalicza się: część energii elektrycznej lub ciepła odpowiadającą udziałowi energii chemicznej biomasy lub biogazu w energii chemicznej paliwa zużywanego do wytwarzania energii, obliczana na podstawie rzeczywistych wartości opalowych tych paliw.

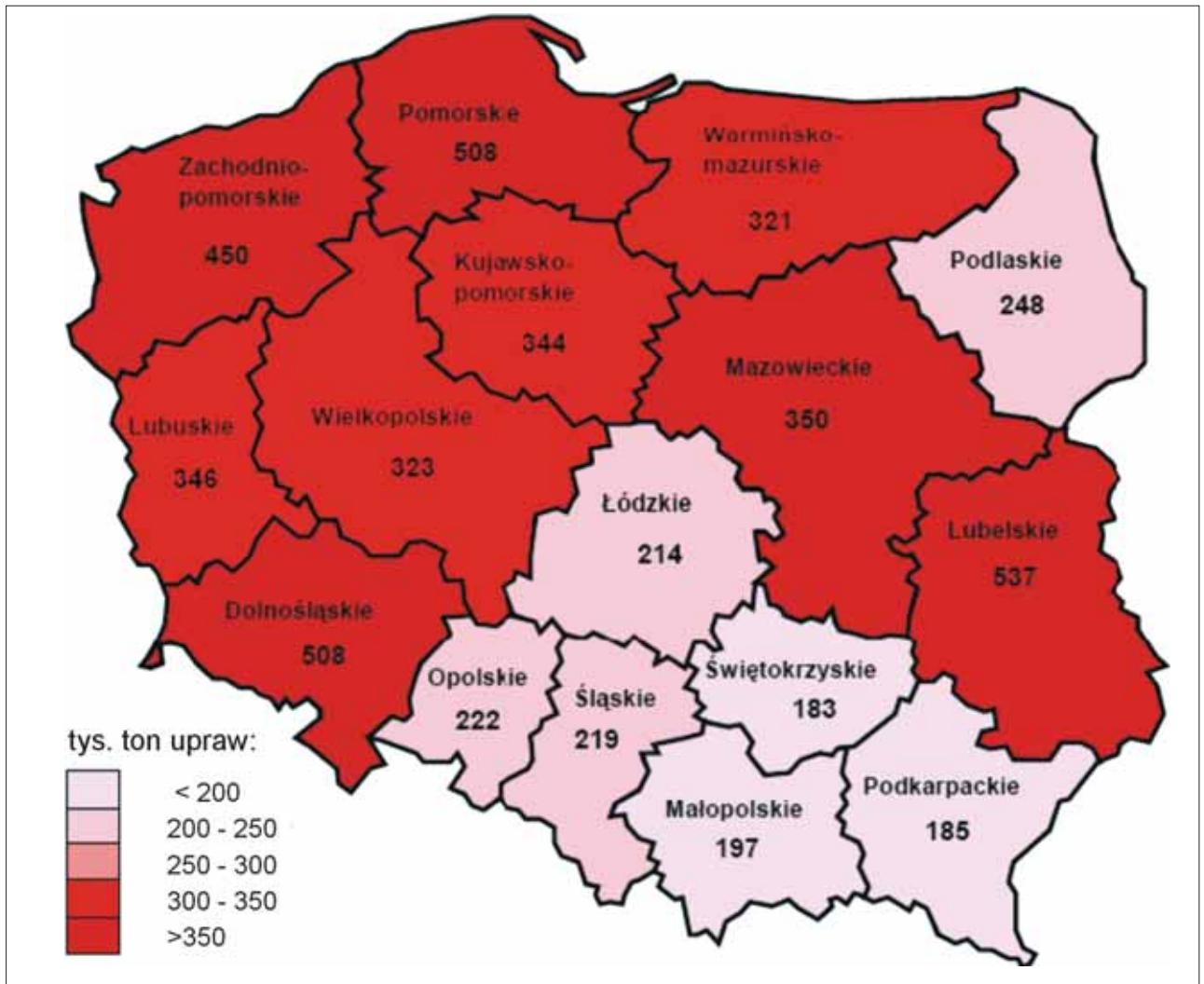
Dotychczasowe zainteresowanie elektrociepłowni współspalaniem biomasy jest mało optymistyczne, głównie w aspekcie nie przygotowania rynku biomasy a także braku wypracowanych zasad determinujących relacje po-

między zakładami energetycznymi a dostawcami biomasy. Występują także duże problemy tzw. bezpośredniego współspalania węgla i biomasy, gdyż w kotłach brak jest odpowiedniej instalacji zapewniających jednorodnej mieszanki węgla i biomasy. Jednorodność mieszanki jest konieczna dla zapewnienia optymalnych warunków współspalania, kiedy występuje duża zmienność wilgotności i zawartości popiołu. Pewnym rozwiązaniem może być stosowanie biomasy jednorodnej o stałych parametrach fizykochemicznych oraz o stosunkowo wąskim zakresie zmian wilgotności.

Szacuje się, że ilość biomasy zużywanej w energetyce zawodowej będzie stopniowo wzrastać, tak że w 2010 r. osiągnie wartość ok. 1000000 ton rocznie.

W ostatnich czasie wiele mówi się o wykorzystaniu paliw ciekłych uzyskiwanych z biomasy. Pozyskany alkohol metylowy i etylowy pochodzenia roślinnego w wielu kra-





Rys. 3. Zasoby biomasy z upraw energetycznych [Gaj 2004]

jach służy jako dodatek do paliw tradycyjnych. Idealnym surowcem do produkcji paliw roślinnych są rośliny uprawiane na terenach skażonych. Także wykorzystanie tzw. biogazu powstałego w wyniku fermentacji biomasy ma przed sobą przyszłość. Poziom rozwoju technicznego biogazowni na świecie jest zróżnicowany. Najwięcej biogazowni rolniczych jest na kontynencie azjatyckim (Chiny 6 - 7 mln, Indie ok. 1 mln, szereg działa również w Tajlandii i Wietnamie). Są to przeważnie proste technicznie biogazownie wykonane tanimi sposobami gospodarskimi w nie izolowanych podziemnych komorach fermentacyjnych. Najbardziej zaawansowane technologicznie biogazownie powstają w Europie. Obecnie uważa się, że w Niemczech i Danii są najbardziej zaawansowane technologicznie biogazownie na świecie. Biogazownie duńskie produkują obecnie ponad 260 GWh energii elektrycznej rocznie. W Niemczech obecnie działa około 1800 biogazowni rolniczych zlokalizowanych głównie na fermach indywidualnych pracujących w większości na nawóz i inne odpady organiczne. Inwestycje

w tym sektorze wynoszą 10 mln euro rocznie.

Stosowanie biopaliw w warunkach polskich wymaga ciągłej promocji tego rodzaju paliwa. Nowe technologie energetyczne wykorzystujące drewno, odpady biologiczne są jeszcze na etapie badawczym. Jednakże już można powiedzieć, iż efekty środowiskowe wykorzystania biomasy na cele energetyczne to znaczne ograniczenie emisji dwutlenku węgla i tlenków siarki do atmosfery. Ponadto w obliczu nadchodzącego kryzysu energetycznego, zwłaszcza deficytu na rynku ropy naftowej, to alternatywa zapewniająca niezależność na rynku paliw.

Potencjał produkcyjny biopaliw płynnych w Polsce w kontekście uwarunkowań dyrektywy 2003/30/EC

Zdolności produkcyjne sektora biopaliwowego w Polsce są sukcesywnie rozwijane, tak, że w 2006 r. w zakresie

Wyszczególnienie	Rok					
	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Ustalenia dyrektywy						
– udział biokomponentów [E]	2,00	2,75	3,50	4,25	5,00	5,75
Bioetanol [O]	3,20	4,41	5,61	6,81	8,01	9,21
Estry [O]	2,12	2,92	3,71	4,51	5,30	6,10

Tabela 3. Minimalny udział biopaliw (bioetanolu i estrów) w ogólnym zużyciu paliw ciekłych, zgodnie z ustaleniami Dyrektywy 2003/30/EC [w %, E - według wartości energetycznej, O - objętościowo]

bioetanolu, potencjał produkcyjny jest szacowany na ok. 490 mln l/rok, zaś zdolności produkcyjne estrów z rzepaku są szacowane na ok. 200-700 mln l/rok. Pierwszy raz od wielu lat w 2006 r. wzrasta produkcja bioetanolu oraz liczba czynnych gorzelni rolniczych. Zgodnie z dyrektywą Komisji Europejskiej (2003/30/EC), zaakceptowaną przez Radę UE i przegłosowaną przez Parlament Europejski, udział biopaliw w strukturze zużycia paliw transportowych w krajach członkowskich UE powinien wynieść w 2005 r. nie mniej niż 2%, zaś w 2010 r. nie mniej niż 5,75% (tabela 3) [Kupczyk, Szlachta 2006].

Uzyskanie wskaźnika wykorzystania biopaliw transportowych w Polsce na poziomie 0,5% za rok 2005 przy relatywnie niezłych zdolnościach produkcyjnych, wskazuje na istnienie ciągle szeregu barier natury prawnej w rozwoju sektora biopaliwowego [Kupczyk 2006]. Ważnym krokiem jest niewątpliwie wejście w życie Ustawy Paliwowej od 1.01.2007 r.

Znaczna zawilość uwarunkowań prawnych i fiskalnych, przy braku poparcia społecznego spowodowały istotne opóźnienia rozwoju rynku biopaliw i biokomponentów w Polsce.

Największych szans na energetyczne zagospodarowanie biomasy, należy upatrywać w jej wykorzystaniu w postaci paliw stałych (drewno opałowe, słoma, zrębki itp.) w lokalnych źródłach ciepła. Na wsi na obszarach o dużej lesistości powszechnie wykorzystywane jest drewno do ogrzewania domów jednorodzinnych. Potwierdzają to także coraz liczniejsze przykłady zrealizowanych w mniejszej lub większej skali inwestycji, najczęściej przez samorządy (Lubań, Frombork, Czernin, Grabowiec, Nowa Dęba). Wykorzystanie biopaliw stałych wymaga jednak zastosowania specjalnych urządzeń oraz organizacji produkcji, zbioru i dostaw. Wynika to przede wszystkim z niższej wartości energetycznej, szczególnie odniesionej do jednostki objętości, w porównaniu do konwencjonalnych nośników energii [Roszkowski, 2001]. Niskie „nasytowanie” energetyczne nie pozostaje bez wpływu na koszty inwestycyjne. Przeprowadzone badania wykazały, że instalacja urządzeń umożliwiających wykorzystanie biomasy jako źródła energii, jest droższa od tradycyjnych kotłowni na węgiel

czy gaz, ale częściowo rekompensowana znacznie niższymi kosztami eksploatacyjnymi [Gradziuk, 1999]. Głównym powodem zainteresowania gospodarstw domowych czy samorządów wykorzystaniem biomasy na cele energetyczne jest ograniczanie wydatków na drożące węgiel, gaz czy olej opałowy. W tab. 4 zamieszczono równoważniki energetyczne słomy, drewna oraz zrębków w odniesieniu do podstawowych paliw kopalnych. Obliczono je metodą porównawczą przyjmując następujące uśrednione wartości opałowe:

Węgiel	27,0 MJ/kg
Olej opałowy	36,0 MJ/l
Gaz LPG	25,0 MJ/l
Gaz ziemny	9,0 MJ/m ³
Słoma	14,4 MJ/kg
Drewno	15,0 MJ/kg
Zrębki drzewne	10,4 MJ/kg

Przeprowadzona tą metodą wycena biopaliw przedstawia się bardzo korzystnie. Przedstawiona powyżej bardzo uproszczona kalkulacja wskazuje, jak ogromne środki finansowe można zatrzymać w lokalnym środowisku (gospodarstwie, wsi, gminie). Wystarczy tylko przestrzegać zasady, że „paliwa kopalne mają stanowić uzupełnienie bilansu energetycznego gospodarstwa czy gminy”.

Wykorzystanie surowców rolniczych w energetyce to nie tylko nowe rynki zbytu, wzrost przychodów w gospodarstwach rolnych, ale przede wszystkim perspektywy zwiększenia zatrudnienia nie tylko na wsi. W Polsce brak badań dotyczących zależności pomiędzy produkcją energii z odnawialnych źródeł a rynkiem pracy. W warunkach niemieckich OZE generują 4 razy więcej stano-

Wyszczególnienie	Słoma	Drewno	Zrębki
	Jednostka miary		
Węgiel [kg]	533	556	385
Olej opałowy [l]	400	416	289
Gaz LPG [l]	576	600	416
Gaz ziemny [m ³]	497	517	359

Tabela 4. Równoważniki energetyczne 1 tony wybranych biopaliw w odniesieniu do podstawowych paliw konwencjonalnych [Gradziuk 2004]



wisk pracy niż energetyka węglowa [Renner, 2000]. Prognozy dla Unii Europejskiej przygotowane w 1996 roku [TERES II, 1996], przewidują, że do 2020 roku powstanie 900 tys. nowych stanowisk pracy, w tym 515 tys. osób będzie zatrudnionych przy produkcji biopaliw. Tak, więc to jeszcze jeden istotny argument przemawiający za energetycznym wykorzystaniem surowców rolniczych.

Wszystkie akty prawne mają „zachęcać” do większego zainteresowania produkcją „zielonej energii”. Oczywiście stwarza to ogromne szanse na zbyt części plodów rolnych, uruchomienie szeregu lokalnych inicjatyw gospodarczych i generowanie dodatkowych dochodów dla rolników oraz stałe miejsca pracy. Należy jednak przypomnieć, że odnawialne źródła energii mają charakter lokalny i największe korzyści ekonomiczne i ekologiczne możemy uzyskać wykorzystując je najbliżej miejsc w których się one znajdują, np. do ogrzewania domów jednorodzinnych lub w lokalnych systemach grzewczych.

Podsumowanie

Od początków dziejów ludzkości istniała potrzeba stosowania różnorodnych źródeł energii. Podstawowym źródłem energii były, są i będą paliwa, z których w wyniku procesu spalania wyzwolana jest energia cieplna. Ponieważ wykorzystanie energii stanowi podstawę rozwoju gospodarczego, społecznego i poprawy warunków życia, nieuniknionym zjawiskiem będzie dalszy wzrost zapotrzebowania na energię. Konieczność wyprodukowania olbrzymich ilości energii wiąże się z wieloma negatywnymi skutkami, z których najważniejszymi są wyczerpywanie zasobów paliw kopalnych i postępująca degradacja środowiska naturalnego.

Ograniczona wielkość zasobów naturalnych, w tym zasobów o charakterze paliw oraz ograniczona zdolność przyjmowania przez środowisko naturalne zanieczyszczeń stanowią podstawę podejmowania działań na rzecz substitucji paliw kopalnych odnawialnymi źródłami energii.

Jednocześnie w krajach najwyżej rozwiniętych gospodarczo pojawiły się nadwyżki surowców rolniczych, nastąpiło pogorszenie opłacalności i zmniejszenie dochodów rodzin gospodarujących na roli, wzrosła powierzchnia odlogów i gruntów czasowo wyłączonych z produkcji rolniczej oraz obszarów o ponadnormatywnym zanieczyszczeniu substancjami toksycznymi.

Przy ograniczonych rynkach zbytu na produkty żywnościowe, w gospodarstwach rolnych, jak i poza nimi muszą pojawić się nowe formy działalności. Rolnictwo, bowiem jest takim działem, który przechowuje całe bezrobocie utajone i co najmniej 1/3 bezrobocia rejestrowanego. Największe szanse stwarza sektor paliwowo-energetyczny, który już w 1997 roku był odbiorcą 43% produ-

kowanego w Polsce spirytusu oraz znacznych ilości paliw stałych (głównie drewna i jego odpadów). Konwencjonalne zasoby będą coraz częściej zastępowane odnawialnymi źródłami energii, spośród których obecnie największe znaczenie przypisuje się biomase. Powszechne jej wykorzystanie na cele energetyczne może stymulować rozwój wsi i rolnictwa. Wypełnienie tylko zobowiązań wynikających z czterech Dyrektyw Unii Europejskiej (2001/77/WE, 2003/30/WE, 2003/54/WE, 2003/96/WE) do 2010 roku może skutkować popytem na surowce rolnicze z powierzchni około 1 mln ha gruntów rolnych, a w 2020 roku zapotrzebowanie to, co najmniej ulegnie podwojeniu. Stąd też produkcja surowców energetycznych i energii to nie tylko dbałość o interesy rolnictwa, ale także bezpieczeństwo energetyczne, ochronę środowiska, miejsca pracy oraz rozwój gospodarczy.

Literatura

- Dubas J., W. 2005: Możliwości i ograniczenia produkcji biomasy pochodzącej z roślin energetycznych z przeznaczeniem jej na cele energetyczne. www.biomas.org.
- Gaj H., 2004: Potencjały i koszty redukcji emisji CO₂ w technologiach produkcyjnych. Konferencja „Handel emisjami od strony prawnej, organizacyjnej i technicznej”.
- Grzybek A. 2006. Wykorzystanie biomasy w energetyce systemowej. *Wiś Jutra*, 8/9(97/98), s. 5-7.
- Grzybek A., 2004: Stan i kierunki przemian wykorzystania energii i odnawialnych zasobów energii w rolnictwie- ekspertyza. IBMER Warszawa.
- Gradziuk P., 2004: Uwarunkowania prawne dotyczące wykorzystania odnawialnych źródeł energii ze szczególnym uwzględnieniem biomasy. *Roczniki Naukowe SERiA*, t. VI, z. 3, s. 83-87.
- Gradziuk P., 2003, red.: *Biopaliwa*. Wydawnictwo „Wiś Jutra” Warszawa, s. 114.
- Gradziuk P., Wojtaszek Z., 2002: Alternatywne wykorzystanie gruntów rolniczych na cele niezwiązane z produkcją żywności. W: *Procesy dostosowawcze produkcji roślinnej w Polsce w kontekście integracji z Unią Europejską*. Wydawnictwo „Wiś Jutra sp. z o. o.”, Warszawa, s. 213.
- Gradziuk P., 1999: Analiza kosztów i efektywności wykorzystania słomy na cele energetyczne w gospodarstwach rolnych. *Roczniki Nauk Rolniczych*. Seria G, t. 88-z. 1, s.159-165.
- Kupczyk A., 2006: Zbyt słabe impulsy. *AgroEnergetyka*, nr 2 (16): s. 7-9,
- Kupczyk A., Szlachta J., 2006: Polski potencjał produkcyjny biopaliw płynnych w Polsce w kontekście uwarunkowań dyrektywy 2003/30/EC. *Wiś Jutra*, 8/9 (97/98), s. 12.
- Praca zbiorowa, 2005: Raport dla Komisji Europejskiej wynikający z art. 4(1) dyrektywy 2003/30/WE Parla-



mentu Europejskiego i Rady w sprawie wspierania użycia w transporcie biopaliw lub innych paliw odnawialnych za 2004 r. Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi we współpracy z Ministerstwem Gospodarki i Pracy, Ministerstwem Finansów, Ministerstwem Nauki i Informatyzacji, Ministerstwem Środowiska i Ministerstwem Infrastruktury: 1-58.

- Renner M., 2000: Energy Alternatives and Jobs. Renewable Energy World 2000, vol. 3, No 6, s. 25-32.
- Szlachta J. i in., 1999: Niekonwencjonalne źródła energii. Wydawnictwo AR Wrocław, s. 112-120,
- Szlachta J., Luberański A., 2005: Energia z biomasy. Informacje dla praktyków. Seminarium, Opole DLG-Agrofood, s.3-5,
- Szczukowski S., Tworkowski J., 2006: Zmiany w produkcji i wykorzystaniu biomasy w Polsce. Praktyczne aspekty wykorzystania odnawialnych źródeł energii. Plan energetyczny województwa podlaskiego.
- TERES II, 1996: The European Renewable Energy Study – The Prospects for Renewable Energy in 30 European Countries from 1995 to 2020.
- Wojciechowski H., 2004: Układy kogeneracyjne z organicznym obiegiem Rankinea wykorzystujące biomasę. IV europejskie dni oszczędzania energii, Wrocław.
- www.biomasa.org Biomasa jako paliwo.



Wykorzystanie energii geotermalnej

Wstęp

Źródła energii odnawialnej są jedynymi z tych, które mogą okazać się alternatywą dla paliw kopalnych, stanowiących źródła energii konwencjonalnej. Znajomość technologii źródeł odnawialnych jest pomocna dla wyjaśnienia kwestii jakie źródła odnawialne i w jakim stopniu mogą one uczestniczyć w zaspokajaniu przyszłych potrzeb energetycznych naszej cywilizacji [Ciechanowicz, Szczukowski, 2006].

Odnawialne źródła energii można podzielić na globalnie dostępne i lokalnie dostępne w poszczególnych krajach lub regionach. Podstawowe, globalnie dostępne źródła energii odnawialnej spełniają warunek wymaganej ciągłej dostawy mocy w każdym położeniu geograficznym, natomiast podstawowe, lokalnie dostępne spełniają ten warunek w określonych położeniach na kuli ziemskiej. Jak z tego wynika, odnawialnymi źródłami energii ogólnie dostępnymi są jedynie: energia słoneczna w postaci promieniowania słonecznego oraz energia wnętrza skorupy ziemskiej, czyli energia geotermalna [Ciechanowicz, Szczukowski, 2006].

Energia geotermalna

Jak już wspomniano, jedynym globalnym, odnawialnym źródłem energii cieplnej jest ciepło skorupy ziemskiej docierające tam z głębi ziemi na zasadzie przewodzenia. Jest ono teoretycznie dostępne w każdym punkcie powierzchni Ziemi, albo w postaci tzw. suchych źródeł geotermicznych, albo w postaci wód geotermalnych. Wykorzystanie suchych źródeł geotermicznych związane jest z umieszczeniem na odpowiedniej głębokości odpowiednich powierzchni wymiany ciepła.

Zgodnie z definicją geologiczną, energia geotermalna jest nadwyżką energii cieplnej w stosunku do energii odpowiadającej średniej temperaturze powierzchni Ziemi. Przyjmuje się, że średnia temperatura powierzchni Ziemi wynosi 15 oC. Rzeczywiste wartości zmieniają się w zależ-

ności od szerokości geograficznej, pory roku i dnia oraz są wynikiem ustalenia się równowagi cieplnej między najważniejszymi trzema strumieniami ciepła:

- doprowadzonego przez promieniowanie ze Słońca,
- doprowadzonego przez przewodzenie lub konwekcję z jądra Ziemi,
- wypromieniowanego do przestrzeni kosmicznej.

W jądrze Ziemi zachodzi rozpad pierwiastków promieniotwórczych, którego efektem jest wysoka temperatura, dochodząca do 6000 oC. Temperatura ta maleje w miarę zbliżania się do powierzchni Ziemi, w zależności od rodzaju skał i warunków geologicznych od 15 do 80 K na jeden kilometr. Przeciętnie, przyjmuje się, że gradient temperatury skorupy ziemskiej wynosi 25 K/km.

Całkowity strumień energii zgromadzonej w skorupie ziemskiej szacuje się na około 35 TW. Pojemność cieplna globu ziemskiego o masie całkowitej około $5,6 \cdot 10^{27}$ kg i przy średnim cieple właściwym 0,8 kJ/kg·K wynosi około $4,5 \cdot 10^{27}$ kJ/K. Gdyby do celów grzewczych wykorzystać tylko tyle energii, aby średnia temperatura wnętrza Ziemi obniżyła się tylko o 0,0001 K to, przy prognozowanym w najbliższym czasie rocznym światowym zużyciu energii cieplnej na poziomie około $2 \cdot 10^{18}$ kJ, energii tej starczyłoby na 223 tysiące lat [Lewandowski, 2002].

Wykorzystanie energii geotermalnej w Polsce

Dotychczasowe wyniki badań wskazują na możliwość wykorzystania energii geotermalnej w niektórych obszarach na terenie Polski, natomiast możliwości wykorzystania energii geotermicznej, jak to wynika z przytoczonych wcześniej określeń, są praktycznie na terenie całego kraju. Wody głębokich poziomów wodonośnych, są zawsze wodami gorącymi. Nie wszędzie jednak warto je eksploatować. Aby wydobyć było opłacalne musi być spełnione kilka warunków. Wody termalne muszą mieć możliwie wysoką temperaturę, niską mineralizację (duża powoduje korozję i zanieczyszczanie instalacji) i po-



winy należało na niewielkiej głębokości. Bardzo ważną jest odnawialność zasobów. Eksploatacja zbiorników wód geotermalnych podlega takim samym ograniczeniom jak eksploatacja zwykłych wód podziemnych. Z warstwy wodonośnej można wydobywać tylko tyle, na ile pozwalają zasady racjonalnej gospodarki zasobami. Często stosowane jest wtłaczanie z powrotem do złoża wody, której energia została już wykorzystana. Wody termalne zgodnie z Rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 18 grudnia 2001 r., stanowią kopalinę podstawową w rozumieniu Prawa Geologicznego i Górniczego.

W Polsce najkorzystniejsze warunki eksploatacji wód termalnych do celów grzewczych istnieją w obrębie niecki podhalańskiej. Decyduje o tym sytuacja geologiczna, wysoka temperatura na wypływie, (sięgająca 90 oC), niska mineralizacja (do 3 g/dm³), wysoka wydajność (nawet do 550 m³/h z pojedynczego ujęcia), dobra odnawialność złoża i łatwa dostępność terenu. Obszarem zasilania dla niecki podhalańskiej są Tatry. Wody opadowe, które tam wsiąkają, spływając na północ, trafiają na warstwę nieprzepuszczalnych skał fliszowych, które stanowią rodzaj klina rozdzielającego je na dwa strumienie – górny i dolny. Górny spływa na teren niecki, do utworów czwartorzędowych i spękanej górnej partii utworów fliszowych (są to wody zwykłe), natomiast dolny przepływa systemem szczelin i pustek krasowych do trzeciorzędowych skał węglanowych i mezozoicznych utworów jednostek tatrzańskich, stając się wodami termalnymi [Chowaniec, 2003].

Parametry hydrogeologiczne fliszu Karpat zewnętrznych są zdecydowanie odmienne od parametrów utworów budujących podłoże niecki podhalańskiej. Wody termalne na tym obszarze są rozpoznane punktowo, a skomplikowana budowa geologiczna ogranicza uzyskanie większych ich ilości. Występują one w zbiornikach zamkniętych i dlatego ich zasoby są ograniczone. Z dotychczasowych badań wynika, że flisz zewnętrzno-karpacki jest mało perspektywicznym kolektorem dla uzyskania wód termalnych w znaczących ilościach [Chowaniec, 2003a]. Stosunkowo korzystne warunki panują w rejonie Poręby Wielkiej, gdzie uzyskano z pojedynczego ujęcia do 12,1 m³/h wody o mineralizacji 21,8 g/dm³ i temperaturze 42 oC na wypływie. Godny uwagi jest również rejon Wiśniowej koło Strzyżowa. W Wiśniowej, na początku lat 90 – tych XX wieku, nawiercono wody termalne o temp. 84 oC i mineralizacji ok. 7,0 g/dm³ [Karnkowski, Jastrząb, 1994]. Wody termalne w Wiśniowej zostały nawiercone „przy okazji”, podczas poszukiwań ropy naftowej. Z uwagi na cel wiercenia, jak i konstrukcję otworu, nie było możliwości określenia zasobów eksploatacyjnych.

Z zasobów energii geotermalnej korzysta obecnie prawie 80 krajów, z czego ponad 30 w samej Europie. Pierwszą siłownią wykorzystująca energię geotermalną do pro-

dukcji energii elektrycznej powstała we Włoszech. Aktualnie światowym potentatem w produkcji energii elektrycznej w oparciu o geotermalne zasoby energetyczne są Stany Zjednoczone. W wielu krajach także wykorzystuje się energię geotermalną do produkcji energii elektrycznej. Do tych krajów należy zaliczyć Filipiny, Włochy, Meksyk, Japonię, Nową Zelandię i Islandię. W Polsce energię geotermalną na skalę przemysłową wykorzystuje pięć ciepłowni. Największa i zarazem najstarsza z nich działa w Bańskiej (Białym Dunajcu) na Podhalu. Pozostałe zlokalizowane są w Pyrzycach, Mszczonowie, Słomnikach i Uniejowie. Ta ostatnia już od sześciu lat ogrzewa dwie trzecie miejscowości liczącej ponad 3200 mieszkańców i wkrótce ma być wykorzystywana także do produkcji energii elektrycznej.

Pierwszy zakład geotermalny w kraju wybudował IG-SMiE PAN, w roku 1993, na Podhalu. Jako ujęcie eksploatacyjne wykorzystano otwór Bańska IG-1, o głębokości 5261 m, wykonany w Białym Dunajcu przez Oddział Karpacki Państwowego Instytutu Geologicznego. Obecnie, wodę o temperaturze ok. 86 oC, eksploatuje się dwoma otworami produkcyjnymi, a po wykorzystaniu zmagazynowanego w niej ciepła, zatłacza się z powrotem do złoża dwoma otworami chłonnymi. W sumie można pobierać 670 m³ wody na godzinę. Energia cieplna z wydobywanych wód termalnych jest odbierana za pośrednictwem wymienników ciepła. W wymiennikach ogrzewana jest woda obiegu wtórnego, która następnie jest transportowana rurociągiem przesyłowym do Zakopanego. Sieć dystrybucyjna zaopatruje nie tylko Zakopane, ale również Białą Dunajec i Bańską Niżną. Do 2005 roku planuje się dostarczenie energii cieplnej do Nowego Targu i pozostałych miejscowości wzdłuż trasy rurociągu przesyłowego.

Obecnie, wody termalne na terytorium Polski, jak już wspomniano, wykorzystywane są w pięciu zakładach geotermalnych: w Białym Dunajcu, w Pyrzycach, Mszczonowie, Słomnikach i w Uniejowie. Zakład geotermalny w Pyrzycach (zbudowany w latach 1992 – 96) wykorzystuje wody o temperaturze ok. 64 oC. Działają w nim dwa otwory eksploatacyjne i dwa otwory chłonne. Energia cieplna zasila czterestotysięczne miasto. Zakład geotermalny w Mszczonowie (2000 r.) zastąpił trzy osiedlowe kotłownie zlokalizowane w centrum miasta. Jego działalność oparta jest na energii pozyskanej z wód słodkich (mineralizacja 0,5 g/dm³) pochodzących z głębokości 1700 m. Woda, o temperaturze 40 oC, wypływa samoczynnie z otworów eksploatacyjnych, dzięki ciśnieniu panującemu w złożu. Po odebraniu ciepła jest wykorzystywana do celów użytkowych. W Uniejowie zakład geotermalny korzysta z wody o temperaturze ok. 67 oC. Instalacja stanowi przykład wykorzystania wód termalnych w połączeniu z ciepłownią olejową. Składa się z dwóch bloków: pierwszy – geotermalny – zawiera otwór produkcyjny i zatłaczający, wymienniki ciepła, filtry i



Zasoby energii geotermalnej w Polsce

Możliwość wykorzystania energii wnętrza Ziemi istnieje na ponad 60% powierzchni naszego kraju. Wody geotermalne charakteryzują się temperaturami w granicach 30 – 120 oC, co czyni je przydatnymi raczej do pozyskiwania energii cieplnej niż elektrycznej. Według danych Polskiej Akademii Nauk, potencjał techniczny zasobów geotermalnych wynosi 302000 PJ.

Potencjał zasobów energii geotermalnej w Polsce szacowany jest przez różnych badaczy bardzo rozbieżnie. Według Zimnego [2001] potencjał ten szacowany jest na 625000 PJ/rok. Jest to wartość czysto teoretyczna i zdaniem wielu innych badaczy znacznie przeszacowana. Wiśniewski oszacowuje tę wartość początkowo na 1512 PJ/rok [1997], a w późniejszych publikacjach [2002] na 200 PJ/rok. Sala i Szargut [2002] oceniają te zasoby na 257 PJ/rok, a Ministerstwo Środowiska w „Strategii redukcji emisji gazów cieplarnianych” na około 100 PJ/rok. Polska Akademia Nauk ocenia ten potencjał na 1512 PJ/rok. Zasoby energii geotermalnej poszczególnych okręgów i subbasenów istniejących na terenie Polski według Ney i Sokołowskiego (1992) przedstawione są na rysunku 1 i wyrażone w tpu/km².

Najbardziej zasobny jest okręg szczecińsko-lódzki, gdzie potencjał energii geotermalnej szacowany jest na 246000 tpu/km². Dużą zasobnością charakteryzuje się też subbasen warszawsko-grudziądzki (168000 tpu/km²) i przedkarpacki (97000 tpu/km²). Zasobne są także okręgi karpackie. Właśnie te regiony podlegają eksploatacji złóż geotermalnych na skalę przemysłową i cieszą się największym zainteresowaniem wśród potencjalnych inwestorów.

Zasoby energii geotermicznej możliwe są do pozyskania praktycznie na terenie całego kraju. Technologia pozyskania tej energii jest jednak zupełnie odmienna od technologii pozyskania energii geotermalnej i wymaga wykorzystania zupełnie innych urządzeń. Jest ona jednak opanowana i praktycznie wykorzystywana coraz powszechniej.

Zasoby energii geotermalnej w województwie podlaskim

Jak wynika z rysunku 1 województwo podlaskie pozbawione jest znaczących zasobów energii geotermalnej. Na południu województwa zaznacza się wpływ okręgu podlaskiego o wydajności 16000 tpu/km² obejmującego zaledwie kilkanaście procent województwa. Natomiast krańce zachodnie obejmujące zaledwie kilka procent województwa znajdują się w zasięgu subbasenu grudziądzko-warszawskiego charakteryzującego się dużą wydajnością, osiagająca 168000 tpu/km². Krańce tego basenu charakteryzują się niestety znacznie niższą wydajnością

niż średnia, a wartość uzyskiwanych tam temperatur nie jest zbyt wysoka. Województwo podlaskie pozwala jednak na wykorzystywanie zasobów energii geotermicznej, szczególnie jako źródła ciepła niskotemperaturowego w układach pomp ciepła i w tym kierunku powinien iść rozwój technologii i instalacji pozyskiwania ciepła wnętrza Ziemi na tym terenie.

Technologia wykorzystania energii geotermicznej jest w gruncie rzeczy bardzo prosta. Wykorzystując pompy ciepła pobieramy ciepło z gruntu w zimę żeby nas ogrzać, a latem możemy odwrócić proces i oddawać ciepło do gruntu aby chłodzić mieszkanie, ten drugi proces może być stosowany tylko w przypadku stosowania energii gruntu. Ponieważ temperatura gruntu kilka metrów w głąb powierzchni pozostaje stała, niezależna od pór roku, ok. 10 oC - jest to dużo mniej niż temperatura powietrza w lato i dużo więcej niż temperatura powietrza w zimę. Aby jednak można było tą energię wykorzystać potrzebne jest zastosowanie pompy ciepła.

Istnieje wiele różnych rozwiązań umożliwiających wykorzystanie energii geotermicznej. Do najczęściej stosowanych systemów wykorzystujących energię ciepłą gruntu lub wód gruntowych należą:

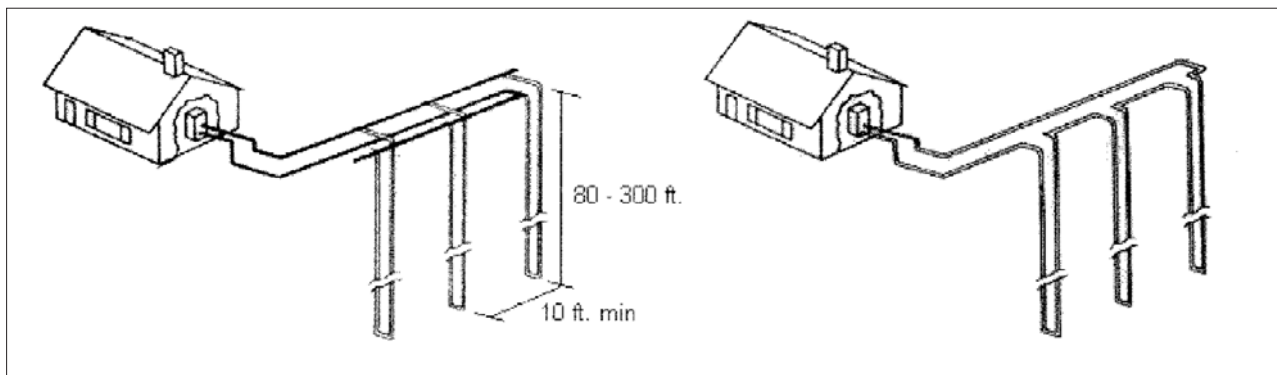
- **Systemy zamknięte**, w których układ rur, zazwyczaj z tworzywa sztucznego, wypełniony wodą lub specjalnymi niezamarzającymi płynami tworzy zamkniętą pętlę, zakopaną w gruncie, połączoną z pompą ciepła i układem wydzielania ciepła w mieszkaniu; czynnik roboczy krąży w zamkniętym obiegu; w systemie tym możemy wyróżnić układ poziomy - z rurami ułożonymi poziomo, zajmującymi większą powierzchnię - tańszy jednak w realizacji o niższej jednak sprawności, nadający się do małych budynków mieszkalnych oraz układ pionowy stosowany w przypadku braku miejsca na układ poziomy, droższy w ułożeniu, lecz bezpieczniejszy w eksploatacji. Układy te przedstawione są na rysunku 2.

Coraz więcej firm w Polsce podejmuje się kompleksowego opracowania projektów i wykonania instalacji wykorzystujących energię geotermiczną w oparciu o pompy ciepła. Instalacje takie nie są zbyt drogie, dlatego znajdują szerokie zainteresowanie indywidualnych użytkowników.

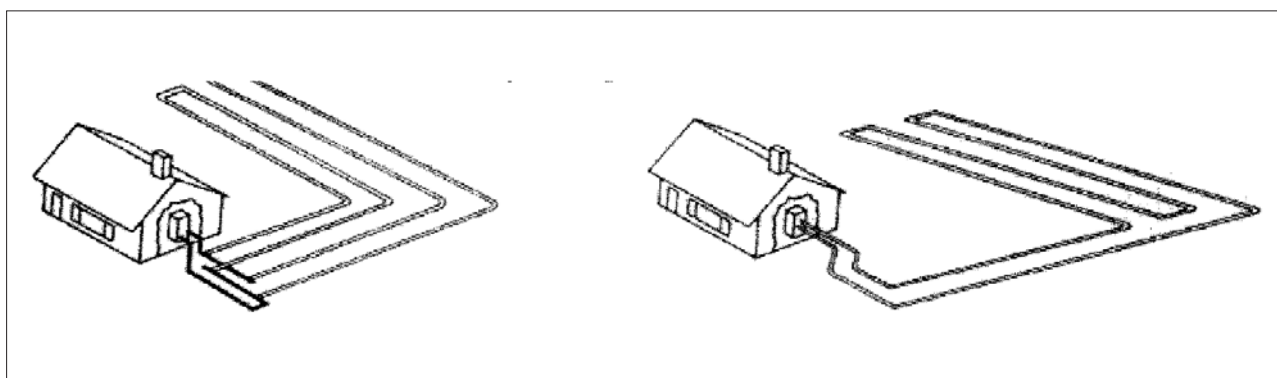
Na rysunku 3 pokazane są dwa możliwe systemy ułożenia rur w systemie poziomym „jedna obok drugiej” – tzn. rury są ułożone poziomo w pętli. Na rysunku mamy przedstawiony układ szeregowej równoległy. Maksymalna średnica rur wynosi $\frac{3}{4}$ ” do 1”, długość pętli – 150m.

Kolejną możliwością jest układ poziomy z rurami „jedna nad drugą” również w formie równoległej jak i szeregowej przedstawiony na rysunku 4. Daje on lepsze





Rys. 2. Układy pionowe wykorzystujące energię geotermiczną



Rys. 3. Układy poziome wykorzystujące energię geotermiczną

wykorzystanie powierzchni, lecz zmusza do wykonania głębszych rowów – ponieważ również górna rura musi znajdować się poniżej poziomu przemarzania gruntu – a odległość między rurami, zarówno w układzie „jedna obok drugiej” jak i „jedna nad drugą” powinna być większa niż 1,25m.

W celu jeszcze lepszego wykorzystania ciepła gruntu stosuje się układy przedstawione na rysunku 5, z czterema rurami w dwóch wariantach.

- Układ zamknięty, w którym jednak pobierane jest ciepło wody z dna rzeki lub jeziora. Tak jak na rysunku 3 lecz rury ułożone są na dnie rzeki lub jeziora.
- Układ otwarty, w którym woda gruntowa lub woda ze źródła termalnego pobierana z ziemi przepływa przez pompę ciepła, oddając swoją energię, a następnie jest wylewana na zewnątrz; system ten wymaga jednak zarówno źródła wody gruntowej jak i zbiornika na wodę wykorzystaną; jeżeli zbiornikiem będzie jakiś zbiornik wody powierzchniowej, to pojawiają się wątpliwości natury ekologicznej, związane z lokalnym obniżeniem poziomu wód gruntowych i wzrostem zasolenie wód powierzchniowych - chyba, że wykorzystana woda będzie wtłaczana z powrotem w to samo

miejsce z którego była pobrana.

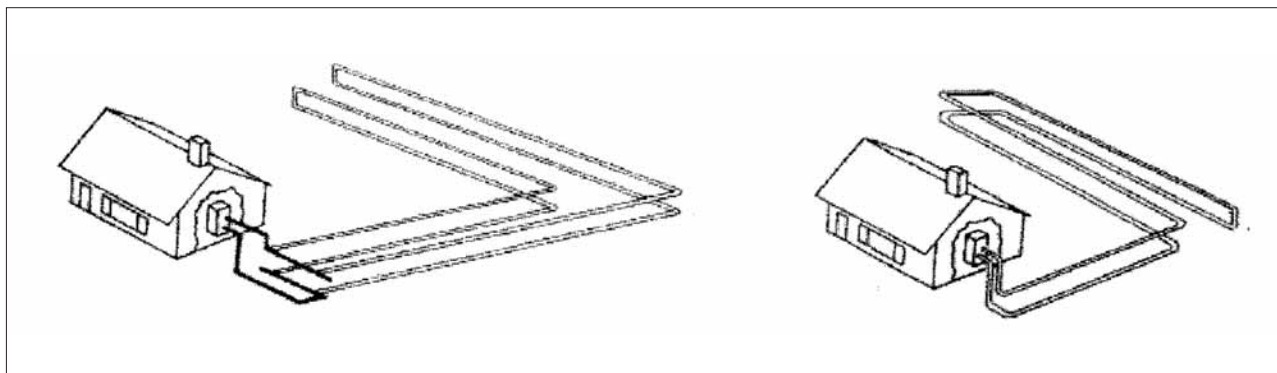
- Systemy z wykorzystaniem wód powierzchniowych. Systemy te wymagają blisko położonego zbiornika wodnego, w którym umieszczony jest wymiennik, przekazujący ciepło do pompy ciepła. W ten sposób wykorzystywana jest stała temperatura wody. W przeciwieństwie do systemów wykorzystujących ciepło z wód gruntowych, systemy te nie potrzebują kosztownych odwiertów.

Pompy ciepła znajdują zastosowanie w systemach:

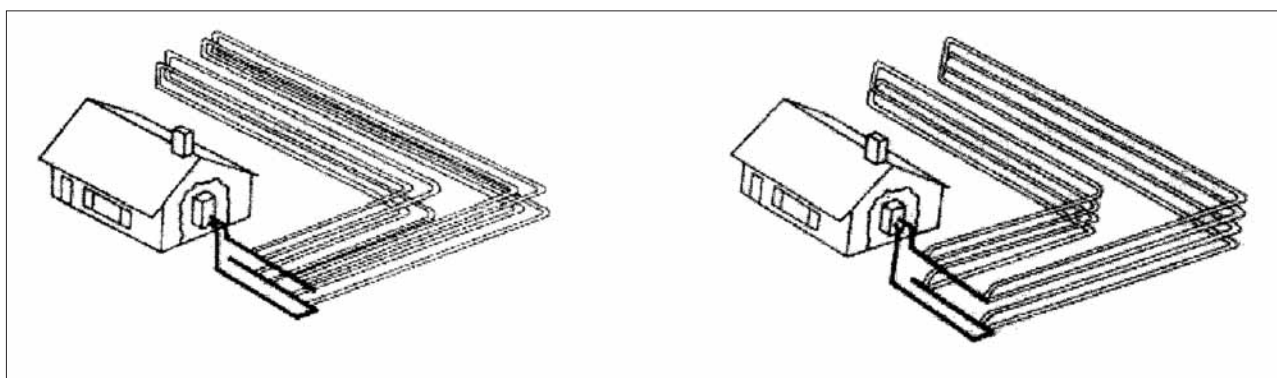
- ogrzewania podłogowego
- podgrzewania ciepłej wody użytkowej
- klimatyzacji
- podgrzewania wody basenowej,
- innych zastosowań do celów komunalnych.

Literatura:

1. Bujakowski W., 2003 – Energia geotermalna – przegląd polskich doświadczeń. Systemy energetyczne wykorzystujące czyste, odnawialne źródła energii na przykładzie energii geotermalnej: s. 97 – 108. Kraków.
2. Chowaniec J. 2003 – Wody podziemne niecki podha-



Rys. 4. Układy poziome z rurami „jedna nad drugą” do wykorzystania energii geotermicznej



Rys. 5. Układ czterech rur na rów w dwóch wariantach.

- łańskiej. Współczesne problemy hydrogeologii. Tom XI, cz. 1: s. 45 – 53. Gdańsk.
3. Chowaniec J. 2003a – Wody mineralne uzdrowisk województwa podkarpackiego. Technika Poszukiwań Geologicznych. Geosynoptyka i Geotermia. Zeszyt 4: s. 23 – 32. PAN IGSMiE. Kraków.
 4. Ciechanowicz W., Szczukowski S., 2006 – Paliwa i energia XXI wieku szansą rozwoju wsi i miast. Oficyna Wyd. WIT, Warszawa.
 5. Górecki W., - red., 1990 – Atlas wód geotermalnych Niżu Polskiego. Kraków. Dowgiałło J., Karski A., Potocki I., 1969 – Geologia surowców balneologicznych. Wyd. Geol. Warszawa.
 6. Karnkowski P., Jastrząb M., 1994 - Wody geotermalne w depresji strzyżowskiej Karpat. Przegl. Geol. vol. 42 nr 2, p. 121 - 123. Warszawa.
 7. Kępińska B., Łowczowska A., 2002 – Wody geotermalne w lecznictwie, rekreacji i turystyce. Studia, Rozprawy, Monografie 113: s. 1 – 78. Wyd. IGSMiE PAN. Kraków.
 8. Lewandowski W. M., 2002 – Proekologiczne źródła energii odnawialnej. WNT Warszawa.
 9. Majorowicz J., 1971 – Przebieg wartości stopnia geotermicznego w Polsce w przedziale głębokości 200 – 2500 m. Kwart. Geol., t. 15, nr 4.
 10. Pazdro Z., Kozerski B., 1990 – Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol. Warszawa. Stenz E., 1954 – Wstęp do geofizyki. Warszawa.
 11. Wiśniewski G., 2001 – Dylematy wdrażania krajowej strategii rozwoju energii odnawialnej. Konferencja „Odnawialne źródła energii u progu XXI wieku. IB-MER Warszawa, s. 42-49.
 12. Zimny J., 2001 – Polska samowystarczalna energetycznie?, Rynek Instalacji, Nr 11, s. 61-64.



PRZYKŁADOWA KALKULACJA MONTAŻU POMPY CIEPŁA

1. Dane wejściowe do wyceny i doboru urządzeń:

- powierzchnia użytkowa: 154 m²
- powierzchnia zabudowy: 146 m²
- kubatura: 913 m³
- wysokość do kalenicy: 8,9 m
- kąt nachylenia dachu: 40 stopnia
- Dom zamieszkuje czteroosobowa rodzina
- Zapotrzebowanie na ciepło (obliczenia IBP): 48,3 kWh/m² na rok; 16,1 kWh/m³ na rok
- Ogrzewanie podłogowe
- Dolne źródło: kolektor gruntowy, gleba spójna, wilgotna

2. Dobór urządzeń:

- Urządzenie szwedzkiego producenta pomp ciepła, pompa ciepła FIGHTER 1240-8kW
- Łączny koszt inwestycji: 44 110 (poziomy kolektor gruntowy), 50 610 (pionowy kolektor gruntowy)
 - 1) Cena produktu: Pompa ciepła FIGHTER 1240-8kW - koszt urządzenia: 31 110 zł brutto
 - 2) Cena wykonania kolektora gruntowego poziomego lub pionowego:
 - a) Poziomy kolektor gruntowy o długości 410 m (gleba spójna, wilgotna) – Całkowity koszt wykonania metra bieżącego kolektora poziomego wynosi około 25 zł/mb, co daje łączny koszt wykonania poziomego kolektora gruntowego około 10 500 zł brutto
 - b) Pionowy kolektor gruntowy o długości 130 m (gleba spójna, wilgotna), 1 odwiert o głębokości 130m lub 2 odwierty po 70 m – Całkowity koszt wykonania metra bieżącego kolektora pionowego wynosi około 125 zł/mb, co daje łączny koszt wykonania pionowego kolektora gruntowego około 17 000 zł brutto
 - 3) Cena montażu: koszt montażu około 2500 zł
- Koszty eksploatacji (obliczenia wykonane w programie VP DIM 2.2.2, NIBE):

Roczne zużycie energii elektrycznej potrzebnej na ogrzanie domu i przygotowanie ciepłej wody użytkowej wynosi 4913 kWh/a co przy cenie energii elektrycz-

nej na poziomie 0,40 zł/kWh daje roczny koszt 1965 zł brutto (z czego 2025 kWh/a, czyli 810 zł brutto to roczny koszt przygotowania ciepłej wody użytkowej).

3. Charakterystyka produktu

FIGHTER 1240 to gruntowa pompa ciepła wyposażona w 160 litrowy dwupłaszczowy podgrzewacz wody, która stanowi kompletnie wyposażone urządzenie przeznaczone do ogrzewania domów jednorodzinnych i przygotowania ciepłej wody użytkowej. FIGHTER 1240 ma wbudowany moduł elektryczny 9 kW, który może być włączony przy zapotrzebowaniu mocy grzewczej wyższym, niż moc samej pompy ciepła. Urządzenie to może współpracować z każdym rodzajem niskotemperaturowej instalacji grzewczej, np. grzejnikami, konwektorami, ogrzewaniem podłogowym lub ściennym. Dostępnych jest pięć typów tego modelu o mocy 5, 6, 8, 10, 12 kW. Rekordowo wysoki współczynnik COP o wartości nawet 5,0 (B0/W35) gwarantuje efektywną i ekonomiczną pracę urządzenia. Pompy ciepła NIBE mają 2-letnią gwarancję z możliwością przedłużenia do 5 lat.

Materiał udostępniony przez:

NIBE-BIAWAR Sp. z o.o.

15-703 Białystok

Al. Jana Pawła II 57

www.biawar.com.pl



Energia słoneczna

– dostępność, możliwości wykorzystania, korzyści

Wstęp

W dobie coraz bardziej kurczących się zasobów paliw kopalnych, celowym i wręcz nieodzownym staje się potrzeba zwrócenia uwagi na inne źródła energii, w tym na energię promieniowania słonecznego. Energia ta, w pełni odnawialna, darmowa, to zasługa naszej gwiazdy – Słońca. Niniejszy materiał to próba przybliżenia niektórych zagadnień związanych z energią promieniowania słonecznego.

1. Wielkości opisujące promieniowanie słoneczne

Najbardziej istotne wielkości opisujące promieniowanie słoneczne to [Pomierny 2003]:

- Usłonecznienie, czyli średnia liczba godzin słonecznych w okresie (dotyczy roku), w którym przewidujemy eksploatację systemu słonecznego. Usłonecznienie zależy od długości dnia, zachmurzenia oraz przejrzystości atmosfery. Średnie roczne wartości usłonecznienia dla różnych miast Polski zawarto w tabeli 1 (dane wieloletnie)

Dane zawarte w tabeli obrazują ilości godzin słonecznych w ciągu roku dla Białegostoku (1780 godzin) i Suwałk (1676 godzin), świadczące o możliwości wykorzystania energii promieniowania słonecznego na terenie województwa podlaskiego.

- Natężenie promieniowania słonecznego wyrażone w watach na metr kwadratowy (W/m^2) jest to gęstość mocy promieniowania padającego w ciągu jednej sekundy na powierzchnię prostopadłą do kierunku promieniowania. Najwyższe natężenie promieniowania odnotowano na Kasprowym Wierchu – ok. $1200 W/m^2$ i w pasie nadmorskim - ok. $1050 W/m^2$. Najczęściej wartości promieniowania słonecznego wahają się od $600-800 W/m^2$.
- Napromieniowanie całkowite to sumy energii promieniowania słonecznego wyrażone w MJ na metr kwa-

dratowy (MJ/m^2). Dla Polski przyjmuje się wartość $3600 MJ/m^2$ w ciągu roku. W promieniowaniu całkowitym udział promieniowania rozproszonego waha się od około 47% w lecie do 70% w zimie.

L.P.	Stacje meteorologiczne	Usłonecznienie w h
1	OLSZTYN	BRAK DANYCH
2	BIELSKO-BIAŁA	BRAK DANYCH
3	LUBLIN	1929
4	POZNAŃ	1875
5	KOSZALIN	1850
6	GORZÓW WIELK.	1843
7	TERESPOL	1842
8	ŁEBA	1826
9	SZCZECIN	1816
10	WROCŁAW	1785
11	BIAŁYSTOK	1780
12	ZAMOŚĆ	1760
13	KATOWICE	1752
14	TORUŃ	1731
15	KŁODZKO	1728
16	KALISZ	1720
17	KIELCE	1717
18	ŁÓDŹ	1712
19	OSTROŁĘKA	1710
20	WARSZAWA	1693
21	CZĘSTOCHOWA	1683
22	SUWAŁKI	1676
23	JELEŃ GÓRA	1642
24	SZCZECINEK	1605
25	KRAKÓW	1583
26	RZESZÓW	1581
27	ZIELONA GÓRA	1574
28	HEL	1566
29	NOWY SĄCZ	1558
30	ZAKOPANE	1458
31	ŚNIEŻKA	1314

Tabela 1. Średnie roczne wartości usłonecznienia w godzinach dla różnych miast Polski



Ekspertyza PAN „Konwersja termiczna energii promieniowania słonecznego w warunkach krajowych” [Gogół 1993] dokonała podziału Polski na 11 regionów, klasyfikując je od najlepszych pod względem możliwości wykorzystania energii promieniowania słonecznego po najgorsze:

- 1) I – Nadmorski
- 2) VII - Podlasko -Lubelski
- 3) VIII - Śląsko – Mazowiecki
- 4) IX – Świętokrzysko –Sandomierski
- 5) III – Mazursko – Siedlecki
- 6) V – Wielkopolski
- 7) II – Pomorski

- 8) XI – Podgórski
- 9) IV – Suwalski
- 10) VI - Warszawski
- 11) X – Górnośląski

2. Uwarunkowania dostępności energii promieniowania słonecznego

Gogół [2003] określa trzy podstawowe warunki wykorzystania energii promieniowania słonecznego:

- Wykorzystanie energii promieniowania słonecznego jest okresowe, zależne od klimatu i pogody, i jest nierównomierne w czasie i przestrzeni;
- Ze względu na położenie geograficzne pomiędzy 49° a



Rys 1. Mapa: Regiony helioenergetyczne Polski [Gogół 1993]



55° szerokości geograficznej północnej istnieją korzystne warunki do wykorzystania energii słonecznej w okresie od kwietnia do września;

- Prawie połowa docierającego do Polski promieniowania słonecznego to promieniowanie rozproszone.

3. Bezpośrednie formy promieniowania słonecznego

3.1. Konwersja fototermiczna

Konwersja fototermiczna to przemiana energii promieniowania słonecznego w ciepło użyteczne w systemach niskotemperaturowych. Chwieduk [2004] dokonuje podziału na dwa podstawowe typy niskotemperaturowych systemów słonecznych:

- Systemy aktywne (czynne)
- Systemy pasywne (biernie)

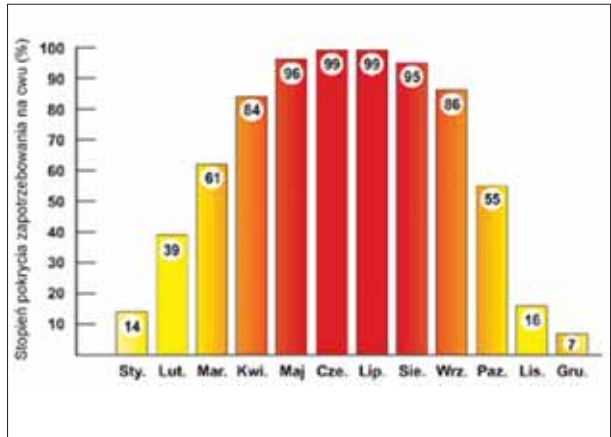
Aktywny system słoneczny to taki rodzaj instalacji, w której dzięki jej elementom składowym dochodzi do przemiany energii promieniowania słonecznego w ciepło użyteczne. Zamiana energii promieniowania słonecznego w ciepło użyteczne zachodzi w sercu tego systemu, a jest nim kolektor słoneczny. Praca kolektora jest możliwa dzięki działaniu pomp cyrkulacyjnych wymuszających obieg czynnika roboczego w całym systemie.

Aktywne systemy słoneczne w warunkach Polski służą do:

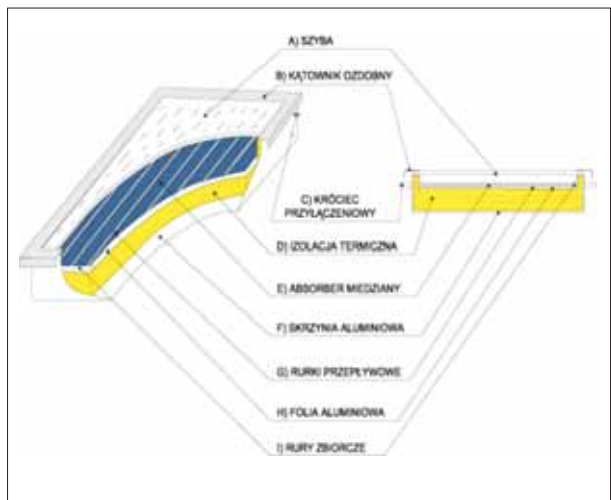
- podgrzewania ciepłej wody użytkowej,
- podgrzewania wody w basenach w okresie letnim,
- wspomagania niskotemperaturowego centralnego ogrzewania w postaci ogrzewania podłogowego lub ściennego (przy odpowiednio dobranej liczbie kolektorów) [Zawadzki 2003].

Na podstawie wykresu poniżej można stwierdzić, iż przy optymalnie dobranym i prawidłowo wykonanym aktywnym systemie z kolektorem słonecznym cieczowym można zmniejszyć o około 60% roczne zużycie tradycyjnych nośników energii potrzebnej do ogrzania ciepłej wody użytkowej (cwu) w domu jednorodzinnym [Zawadzki 2003]. W okresie od kwietnia do września tak dobrane instalacje są w stanie pokryć do 95% zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową.

Pasywny system słoneczny konwertuje energię promieniowania słonecznego w ciepło w sposób naturalny, niewymuszony działaniem urządzeń mechanicznych. Zamiana ta odbywa się zgodnie z procesami wymiany ciepła i masy znanymi z fizyki budowlanej. Elementami bezpośrednio odpowiedzialnymi za tę przemianę są nasze okna, ściany lub specjalnie zaprojektowane rozwiązania ingerujące w strukturę budynku. Systemy pasywne nie posiadają żadnych urządzeń elektrycznych wymuszających przepływ czynnika roboczego [Chwieduk 2004].



Rys.2 Szacunkowy stopień pokrycia zapotrzebowania na cwu optymalnie dobranej i prawidłowo wykonanej instalacji



Rys 3. Budowa kolektora płaskiego



Fot.1. Płaskie cieczowe kolektory słoneczne zamontowane na polaci dachowej



3.1.1. Aktywne systemy słoneczne

Jak podano wcześniej podstawowym elementem systemu aktywnego jest kolektor słoneczny. Jego głównym zadaniem jest zbieranie (w języku ang. collect oznacza zbierać) energii promieniowania słonecznego. Bezpośrednio za pozyskiwanie energii odpowiada absorber – płyta miedziana lub aluminiowa z połączonym układem przewodów, mającym najczęściej kształt meandryczny, w którym krąży czynnik roboczy (najczęściej to wodny roztwór glikolu propylenowego o temperaturze zamarzania do -35°C) nagrzewający się od energii słonecznej [Zawadzki 2003]. Ogrzany czynnik roboczy jest kierowany za pomocą pompy obiegowej do zasobnika z wodą. Przepływając przez węzłownicę znajdującą się w zasobniku ogrzewa zawartą w nim wodę. Zbiorniki pojemnościowe o odpowiednio grubej izolacji (50-60mm), muszą posiadać taką pojemność wody aby nagrzana w słoneczny dzień przez kolektor woda mogła wystarczyć w nocy lub pochmurny następny dzień.

W warunkach Polski i Podlasia z powodzeniem mogą być stosowane trzy rodzaje kolektorów słonecznych:

1. **Kolektory cieczowe płaskie** - to najprostsze i najbardziej rozpowszechnione kolektory słoneczne. Budowę kolektora cieczowego płaskiego przedstawia rys 2. poniżej.

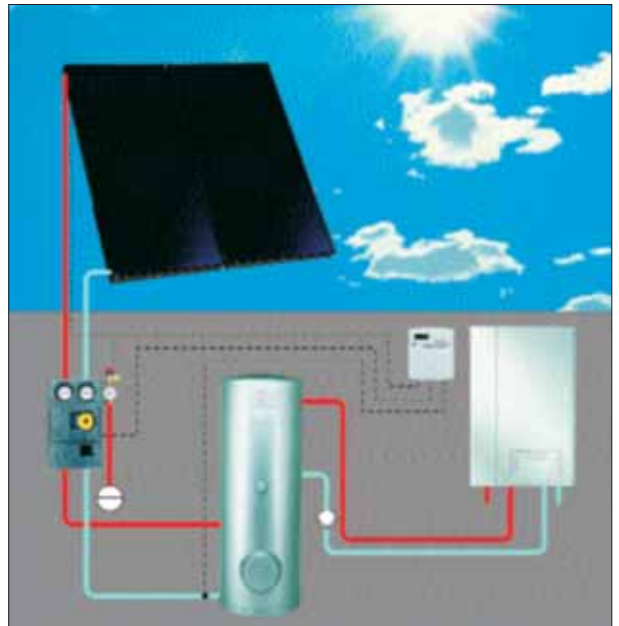
Kolektor cieczowy płaski składa się z:

- przezroczystego pokrycia (zapewniającego efekt cieplarniany) najczęściej stanowi je pakiet dwu a nawet trzech szyb hartowanych odpornych na gradobicie, w wyniku efektu szklarniowego temperatura powierzchni absorbera może przekraczać 100°C ,
- absorbera (najczęściej blachy miedzianej pokrytej powłoką selektywną, z czarnego chromu, typu Tinox, czarnego niklu). Współczynnik absorpcji dla tego rodzaju powłok wynosi (0,90- 0,95), współczynnik emisyjności (0,07-0,10),
- wymiennika ciepła (najczęściej rurki miedziane przyłutowane do absorbera lub sprasowane z nim),
- izolacji termicznej (pianka poliuretanowa lub wełna mineralna o grubości 50-60mm), jej główne zadanie to ochrona przed stratami ciepła na zewnątrz,
- obudowy aluminiowej lub z tworzywa sztucznego.

Zalety i wady instalacji z płaskim kolektorem cieczowym:

Zalety:

- Niskie koszty inwestycyjne, szybszy czas zwrotu z inwestycji. W związku z rosnącą liczbą producentów instalacji słonecznych ich koszt z roku na rok maleje. Koszty zakupu i montażu instalacji słonecznych z płaskimi kolektorami cieczowymi są na tyle atrakcyjne, że zwrot z inwestycji może zawierać się od kilku do kilkunastu lat. Przy dużym zużyciu cwu. i ogrzewaniu jej



Rys.4. przedstawia elementy składowe aktywnego systemu słonecznego do podgrzewania ciepłej wody użytkowej: kolektor lub kolektory słoneczne, zbiornik ciepłej wody użytkowej, układ sterujący, zespół pompowy, przeponowe naczynie wzbiorcze, rury łączące

energiją elektryczną można go skrócić do 3 lat [Zawadzki 2003].

Wady:

- Niższa o ok.30 procent efektywność w stosunku do kolektorów rurowych.

1. **Kolektory próżniowe,**

Kolektory rurowe często nazywane próżniowymi mają budowę bardziej złożoną niż kolektory płaskie. Każda rurka z czynnikiem roboczym została zamknięta wraz z absorberem w próżni szklanej rury o średnicy od ok.40 do 60 mm. Próżnia chroni absorber przed stratami ciepła. Bardzo często, aby lepiej wykorzystać energię słoneczną, wewnątrz rur montuje się lustro kierujące promienie słoneczne na absorber. [www. Viessmann.pl]

Zalety i wady instalacji z kolektorami próżniowymi :

Zalety:

- dużo wyższa efektywność niż kolektorów płaskich (ok.30%),
- możliwość obrotu w płaszczyźnie pionowej,
- niskie straty ciepła do otoczenia,
- wykorzystanie nie tylko promieniowania słonecznego bezpośredniego ale i rozproszonego. (okres jesień – zima),
- możliwość instalacji w pionie np.jako balustrada balkonowa.

Wady:

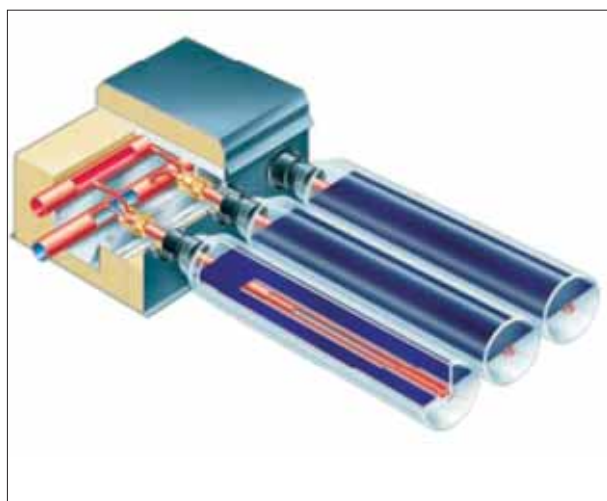
- jedyną wadą jest koszt samego kolektora, a co za tym idzie dłuższy czas zwrotu inwestycji.

2. Kolektory z rurkami ciepła (heatpipe)

Tego rodzaju kolektor jest najbardziej zaawansowanym technicznie urządzeniem. Wewnątrz szklanych rur znajdują się tzw. rurki ciepła. Każda rurka działa niezależnie. Jest wypełniona płynem, który odbierając ciepło od absorbera paruje i unosi się do głowicy kolektora. Tam jest chłodzony przez roztwór glikolu, który odebrane ciepło transportuje do zasobnika z wodą, a po ochłodzeniu płyn w rurce ciepła ulega skropleniu i spływa w dół rury, gdzie ponownie się ogrzewa. Dzięki przemianie fazowej zwiększa się sprawność kolektora.

Zalety i wady podobne jak w przypadku kolektorów próżniowych.

Czynniki wpływające na sprawność kolektorów słonecznych:

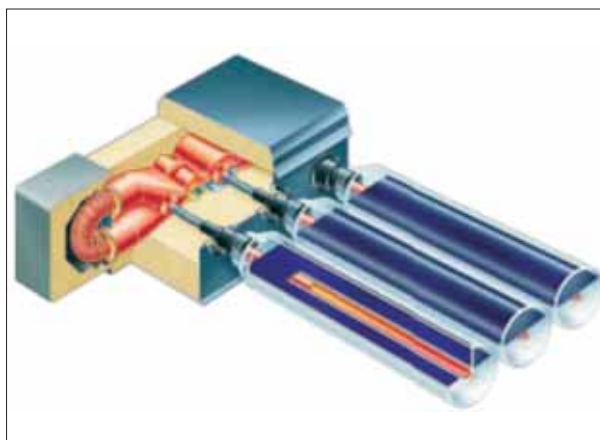


Rys 5. Budowa kolektora próżniowego



Fot.2. Kolektory próżniowe na połaci dachowej

- Optymalny kąt nachylenia kolektora do poziomu w poszczególnych miesiącach roku. W przypadku instalacji całorocznych Zawadzki [2003] zaleca kąt nachylenia kolektora do podłoża ok. 40° (Tabela 3).
- Skierowanie powierzchni absorbera w kierunku słońca na południe, odchylenie od kierunku południowego o 20° nie ma wpływu na sprawność instalacji słonecznej.
- Miejsce na kolektor nie powinno być zacieniane przez drzewa, budynki itp.
- Wielkość zbiornika do magazynowania wody ciepłej jest dobierana na podstawie zapotrzebowania dobowego zużycia wody na osobę i przemnażana przez ilość osób korzystających z ciepłej wody. Dla czterech osób przy średnim zapotrzebowaniu na wodę (75l/osobę) wyniesie 300l. [Zawadzki 2003]
- Natężenie przepływu czynnika roboczego (glikolu) przez rurociąg absorberów. Na podstawie obliczeń przeprowadzonych przez Katedrę Podstaw Inżynierii SGGW [Czekalski, Mirski 2004], można stwierdzić, iż w przypadku zbyt małej prędkości przepływu czynnika roboczego dochodzi szczególnie w miesiącach letnich do przegrzewania absorbera co obniża sprawność konwersji fototermicznej w kolektorach. Prędkość przepływu czynnika znacząco wpływa na rozkład temperatury na płaszczyźnie kolektora. Wydajność pompy powinna być dobrana przez dostawcę instalacji słonecznej a za jej prawidłowy montaż i ustawienie odpowiada autoryzowana ekipa monterska. Warto wspomnieć, iż przegrzewanie powierzchni absorbera powyżej 100°C prowadzi do stopniowego zmniejszenia trwałości absorbera.
- Grubość izolacji cieplnej na rurach z czynnikiem roboczym. Według Kulika [2005] izolacja termiczna rur powinna mieć grubość nie mniejszą niż 19 mm a czasem nawet 30-35 mm. Tak gruba izolacja znacznie zmniejsza straty ciepła na rurociągach z czynnikiem roboczym co w konsekwencji ma wpływ na sprawność kolektora. Koszt izolacji cieplnej w tym przypadku stanowi niewielki procent całkowitego kosztu systemu słonecznego.



Rys.6. Budowa kolektora z rurkami ciepła (heatpipe)



Miesiąc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Kąt nachylenia kolektora w stopniach	60	55	45	30	15	10	15	30	45	55	65	65

Tabela 2. Optymalne kąty nachylenia kolektora do poziomu w poszczególnych miesiącach [Zawadzki 2003]

3.1.2. Pasywne systemy słoneczne

Rozwiązania pasywne w projektach nowo wznoszonych obiektów zaczynają odgrywać coraz większą rolę. Dobry projekt budynku z rozwiązaniami pasywnymi charakteryzuje się [Chwieduk 2004] przede wszystkim małą ilością przeszkleń od strony północnej, aby zmniejszyć straty ciepła. Południowa elewacja budynku zaopatrzona jest w możliwie jak największą ilość przeszkleń, aby w jak największym stopniu wykorzystywać energię promieniowania słonecznego. W rozwiązaniach pasywnych dużą rolę odgrywa grubość izolacji cieplnej całości budynku (przegrody zewnętrzne, izolacja dachu, stropów, fundamentów).

Chwieduk [2004] wyróżnia dwa podstawowe systemy pasywne:

- **System zysków bezpośrednich** najtańszy i najprostszy system w którym najważniejszą rolę pełnią przeszklenia najczęściej w postaci okien. Okna stanowią bezpośrednie odbiorniki energii promieniowania słonecznego. Promieniowanie słoneczne po przejściu przez przeszklenie ogrzewa przegrody wewnętrzne i meble, które w zależności od swojej pojemności cieplnej stanowią źródła ciepła w pomieszczeniu. Zwiększanie powierzchni okien (strona południowa) wpływa znacząco na poprawienie zysków z promieniowania słonecznego ale jednocześnie powiększa straty ciepła. W czasie lata przy braku osłon w postaci żaluzji, rolet itp. może dochodzić do przegrzewania pomieszczeń poprzez silne

promieniowanie słoneczne. Stanowi to uciążliwość dla użytkowników. Aby wyeliminować gwałtowne wahania temperatury będące wadą systemu zysków bezpośrednich i jednocześnie zakumulować pozyskane ciepło wykorzystując je później, odizolowuje się wnętrze budynku od bezpośredniego oddziaływania słońca [Chwieduk 2004]. Elementy oddzielające wnętrze obiektu od promieniowania słonecznego stanowią składową bardziej złożonych systemów zysków pośrednich.

- **System zysków pośrednich** – charakteryzują niewielkie zmiany temperatury wewnątrz ogrzewanych pomieszczeń uzyskane przez zastosowanie następujących rozwiązań [Chwieduk 2004]:

1. System zysków pośrednich z lekką ścianą kolektorową,
2. System zysków pośrednich z masywną ścianą kolektorowo-magazynującą,
3. System zysków pośrednich z przestrzenią buforową:
 - oszklone werandy,
 - dobudowane loggie,
 - dobudowane do ścian budynku szklarnie,
 - ogrody zimowe.

Dwa pierwsze systemy bazują na oddzieleniu wnętrza budynku od otoczenia zewnętrznego przez odpowiednio skonstruowane ściany kolektorowe lub kolektorowo-magazynujące posiadające układ wewnętrznych kanałów,



Rodzaj ogniwa	Maksymalna uzyskana sprawność
Si monokryształ	24,7%
GaAs monokryształ.	25,2%
Si polikryształ	19,8%
Si amorficzny	12,7%
CdTe/CdS	16%
CuInGaSe2	18,2%

Tabela 3. Porównanie sprawności ogniw słonecznych najczęściej stosowanych [Bonet 2000]



Fot 5. Polikrystaliczna warstwa półprzewodnikowa CdTe (telluru kadmu) na elastycznej folii molibdenowej [Sibiński 2004]

którymi przepływa ogrzane od słońca powietrze do pomieszczenia [Chwieduk 2004].

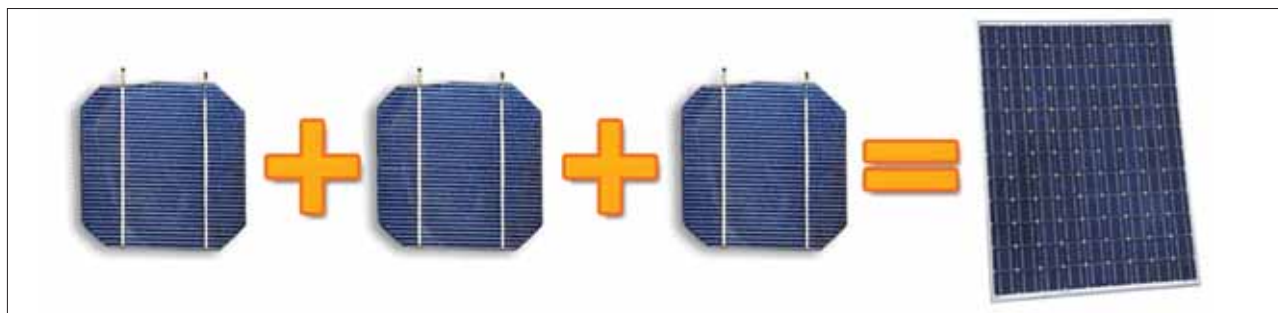
W tych rozwiązaniach, aby zintensyfikować transport ciepła często wykorzystuje się wentylatory.

Trzeci z systemów z przestrzenią buforową jak sama nazwa wskazuje spełnia rolę bufora cieplnego czyli przestrzeni gromadzącej pozyskaną energię słoneczną, przy jednoczesnym ograniczeniu strat ciepła do otoczenia. Fotografie 3 i 4 poniżej pokazują możliwości techniczne w zakresie budowy nowoczesnych przestrzeni buforowych w formie przeszklonych werand czy ogrodów zimowych.

3.2. Konwersja fotowoltaiczna

Konwersja fotowoltaiczna - jest to zamiana energii promieniowania słonecznego w prąd elektryczny w urządzeniach półprzewodnikowych zwanych potocznie ogniwami słonecznymi (ang. PV - Photovoltaic). Do budowy ogniw używa się najczęściej drogiego monokrystalicznego krzemu lub, jak ostatnio, materiałów polikrystalicznych.

W warunkach laboratoryjnych udało się osiągnąć maksymalne sprawności dla poszczególnych rodzajów materiałów półprzewodnikowych [Bonet 2000] co pokazuje tabela 3.



Fot 6.. Pojedyncze ogniwa PV połączone ze sobą składają się na moduł fotowoltaiczny



Fot.7. Moduł PV średniej mocy zasilające różne urządzenia elektryczne



Sibiński [2004] zauważa dążenie niektórych producentów ogniw słonecznych do wdrożenia prac nad rozwojem tanich cienkowarstwowych ogniw słonecznych polikrystalicznych o porównywalnej sprawności odchodząc od wysokowydajnych, ale drogich ogniw monokrystalicznych. Drugą istotną cechą tychże materiałów polikrystalicznych jaką podkreśla Sibiński [2004] jest możliwość nakładania w/w materiałów na podłoża elastyczne (np. folie). Stwarza to ogromne możliwości zastosowań praktycznych w tzw. fotowoltaice zintegrowanej z budownictwem (ang. BIPV - Building Integrated PV).

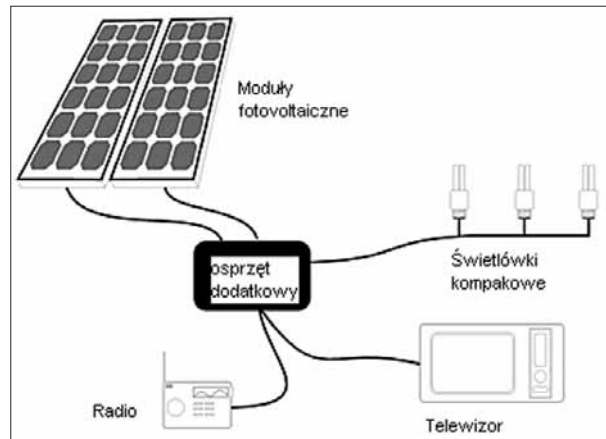
Budowa i części składowe systemu PV

Aby mówić o systemie przetwarzającym energię promieniowania słonecznego w prąd elektryczny, należy wspomnieć najpierw o ogniwie słonecznym, czyli urządzeniu o niewielkich rozmiarach zbudowanym z materiałów półprzewodnikowych zasilającym powszechnie już znane urządzenia jak: kalkulatory, lampy ogrodowe, telefony komórkowe itp. Tak małe ogniwa słoneczne zasilają prądem te urządzenia poprzez wcześniejsze naładowanie akumulatorów umieszczonych wewnątrz urządzeń.

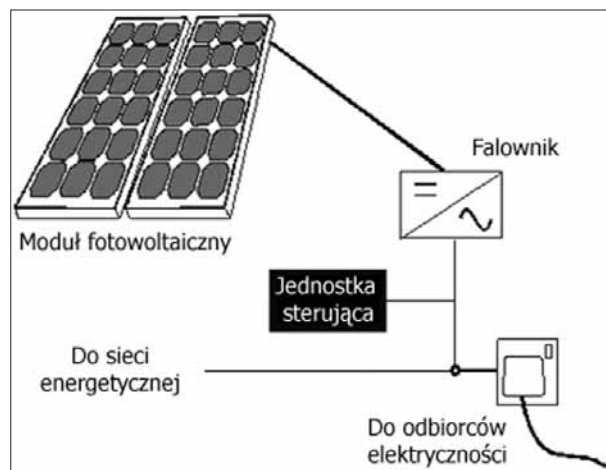
Do zasilania urządzeń potrzebujących większej mocy (telewizory, radia, pompy do wody) lub by zasilic dom, poszczególne ogniwa łączy się aby otrzymać moduły fotowoltaiczne.

Moduły fotowoltaiczne średniej mocy od 10-200W mogą zasilac różne urządzenia elektryczne fot. 7

Najprostszy system PV składa się z modułu PV, przewodów elektrycznych, akumulatora i odbiornika (rys 7).



Rys 7. Najprostszy system PV zasilający urządzenia powszechnego użytku



Rys.8. System PV połączony z siecią zasilającą w energię elektryczną



Fot 8. Moduły PV zasilające budynek



Fot 9. Moduły PV zainstalowane na połaci dachowej



Moduły o mocach od kilku do kilkudziesięciu kilowatów mogą dostarczać energię elektryczną zasilając domy, urzędy lub obiekty przemysłowe fot 8. i fot 9. Roczna produkcja energii elektrycznej w przeliczeniu na 1W mocy zainstalowanej modułu PV może wynieść około 0,92 kWh [Zapałowicz 2003].

System fotowoltaiczny umożliwiający odprowadzanie nadwyżek energii elektrycznej do sieci zasilającej przedstawia rys.8.

Zalety systemów fotowoltaicznych:

- Stanowią ekologicznie czystą technologię wytwarzania energii elektrycznej,
- Brak kosztów przesyłu i dystrybucji (energia elektryczna jest jednocześnie wytwarzana i zużywana w tym samym miejscu),
- Możliwość uniezależnienia się od tradycyjnych dostawców energii elektrycznej.

Podsumowanie

Znaczący rozwój technologii produkcji urządzeń wykorzystujących odnawialne źródła energii w ostatnich 10 latach (w tym energii słonecznej) wpłynął na zmniejszenie kosztów inwestycyjnych instalowanych systemów. Można jednoznacznie stwierdzić, że dzisiaj na przeważającym obszarze Polski i Podlasia opłacalne jest wykorzystanie kolektorów słonecznych do podgrzewania ciepłej wody użytkowej. Rozwiązania pasywne i produkcja energii elektrycznej z udziałem fotowoltaiki to niestety dziedziny, których upowszechnienie i rozwój ze względów finansowych odbywa się wolniej.

Literatura

- Chwieduk D. 2004. Energia Słoneczna. Warszawa. s.27-28.
- Czekalski D., Mirski T. 2004. Wpływ wydajności pompy obiegowej na efektywność pracy kolektorów słonecznych. „Polska Energetyka Słoneczna” 1, s.16-19.
- Gogół W. i inni 1993. Konwersja termiczna energii promieniowania słonecznego w warunkach krajowych. PAN, Warszawa.
- Gogół W. 2003. Helioenergetyka. „Polska Energetyka Słoneczna” 1, s.8-9.
- Kulik T. 2005. Podwyższenie sprawności. „Magazyn Instalatora” 3(79), s.42.
- Pomierny W. 2003. Możliwości wykorzystania energii promieniowania słonecznego do celów grzewczych w Polsce Centralnej. „Polska Energetyka Słoneczna” 1, s.14-16.
- Sibiński M. 2004. Praktyczne aplikacje ogniw słonecznych na bazie telluru kadmu. „Polska Energetyka Słoneczna” 1, s.13-15.

- Zawadzki M. 2003. Kolektory słoneczne i pompy ciepła na tak. Warszawa. s.94.
- Zapałowicz Z. 2003. Instalacje słoneczne w Katedrze Techniki Ciepłej Politechniki Szczecińskiej. „Polska Energetyka Słoneczna” 3, s.12-13.

Spis tabel

- Tab.1. Średnie roczne wartości usłonecznienia w godzinach dla różnych miast Polski [Rocznik Statystyczny 2003].
- Tab.2. Optymalne kąty nachylenia kolektora do poziomu w poszczególnych miesiącach roku [Zawadzki 2003].
- Tab.3. Porównanie sprawności ogniw słonecznych najczęściej stosowanych [Bonet 2000].

Spis rysunków

- Rys. 1. Mapa: Regiony helioenergetyczne Polski [Gogół 1993].
- Rys.2 Szacunkowy stopień pokrycia zapotrzebowania na cwu w optymalnie dobranej i prawidłowo wykonanej instalacji [www.viessmann.pl].
- Rys. 3. Budowa kolektora płaskiego [www.solarshop.pl].
- Rys. 4. Elementy składowe aktywnego systemu słonecznego do podgrzewania ciepłej wody użytkowej. [www.viessmann.pl].
- Rys.5. Budowa kolektora próżniowego [www.viessmann.pl].
- Rys.6. Budowa kolektora z rurkami ciepła (heatpipe) [www.viessmann.pl].
- Rys. 7. Najprostszy system PV zasilający urządzenia powszechnego użytku [www.solar.org.uk].
- Rys.8. System PV połączony z siecią zasilającą w energię elektryczną [www.solar.org.uk].

Spis fotografii

- Fot.1. Płaskie cieczowe kolektory słoneczne zamontowane na połaci dachowej [www.poleko.pl].
- Fot.2. Kolektory próżniowe na połaci dachowej [www.viessmann.pl].
- Fot.3 i 4. Budynek z przestrzenią buforową w szklanej werandzie [www.ogrodyzimowe.pl].
- Fot 5. Polikrystaliczna warstwa półprzewodnikowa CdTe (telluru kadmu) na elastycznej folii molibdenowej [Sibiński 2004].
- Fot 6.. Pojedyncze ogniwa PV połączone składają się na moduł fotowoltaiczny [www.ang.mu.edu].
- Fot.7. Moduł PV średniej mocy zasilające różne urządzenia elektryczne [www.solatek.com].
- Fot 8. Moduły PV zasilające budynek [Solar Design Associates].
- Fot 9. Moduły PV zainstalowane na połaci dachowej [Solar Design Associates].



PRZYKŁADOWA KALKULACJA MONTAŻU KOLEKTORA SŁONECZNEGO

Nośnik energii	Wartość opałow ₁	Cena jednostkowa	Sprawność urządzeń ₂	Koszt uzyskania 1 kWh energii
Energia elektryczna licznik jednotaryfowy ₃	-	0,41 zł/kWh	99%	0,410 zł
Miejska sieć ciepłownicza ₄	-	74,25 zł/GJ	99%	0,267 zł
Gaz płynny propan	23300	1,50 zł/m ³	90%	0,255 zł
Gaz ziemny GZ-50 ₅	38147	1,42 zł/m ³	90%	0,152 zł
Olej opałowy	37700	1,40 zł/l	90%	0,147 zł
Węgiel kamienny I kat.	29000	0,41 zł/kg	55%	0,091 zł
Kolektory słoneczne ₆	-	-	80%	0,008 zł

Wszystkie ceny zawierają VAT. Ceny, jeżeli nie podano inaczej, pochodzą ze strony internetowej www.gazownia.zgorzelec.pl; (02.07.2002 r.)

Punktem wyjścia do obliczeń, rozważań, to koszt 1 kWh ciepła uzyskanego za pomocą kolektorów słonecznych.

PRZYKŁAD I.

Założmy, że ciepło uzyskujemy z baterii 3 kolektorów. Powierzchnia czynna absorbera jednego kolektora to 1,733 m². Sprawność urządzeń, skierowanych na południe i zamontowanych na dachu o nachyleniu 45 O, wynosi 80%.

Przyjmijmy również, że napromieniowane roczne na powierzchnię płaską ustawioną pod kątem 45 O i skierowaną na południe w miejscu posadowienia kolektorów wynosi 1000 kWh/ m²/rok, natomiast usłonecznienie w tymże miejscu wynosi 1800 godzin w ciągu roku.

Do przepompowania czynnika roboczego przez kolektory, użyto pompy obiegowej 25P0r40C. Pobór mocy pompy pracującej na II biegu oraz regulatora solarnego wynosi 50W. Założmy, że pompa obiegowa i regulator pracują rocznie przez 1600 godzin.

Ponieważ 1 kWh energii elektrycznej kosztuje 0,41 zł (dane z Tabeli nr 1) łatwo obliczymy roczny koszt eksploata-

cji opisanej instalacji solarnej.

$$0,05 \text{ kW} \times 1600 \text{ h} \times 0,41 \text{ zł/kWh} = 32,80 \text{ zł}$$

W ciągu roku kolektory wytwarzają zaś następującą ilość ciepła:

$$1000 \text{ kWh/ m}^2 \times (3 \times 1,733) \text{ m}^2 \times 80 \% = 4159,20 \text{ kWh}$$

Zatem średnioroczny koszt uzyskania 1 kWh ciepła za pomocą trzech kolektorów wynosi:

$$32,80 \text{ zł} / 4159,20 \text{ kWh} = 0,0079 \text{ zł/kWh}$$

Ogrzewana woda pochłania ciepło. W wyniku tego procesu podnosi się jej temperatura. Związek między ciepłem pochłoniętym, masą wody oraz przyrostem temperatury można przedstawić za pomocą wzoru:

$$Q = m \times c_p \times (t_2 - t_1)$$

Gdzie:

- Q –ciepło pochłonięte
- m –masa wody
- c_p –średnie ciepło właściwe wody
- t₂ –temperatura końcowa
- t₁ –temperatura początkowa



Zakładamy, że chcemy odgrzać 1 kg wody o 1K. Średnie ciepło właściwe wody (przy stałym ciśnieniu, w zakresie obliczeniowej temperatury) wynosi:

$$c_p = 0,00116 \text{ kWh/kg x K}$$

Obliczenie ilości ciepła niezbędnego do ogrzania wody w zasobniku o pojemności 300 litrów od temperatury 10 0 C (283 K) do temperatury 50 0 C (323 K) wymaga określenia masy wody. Średnia objętość właściwa wody w zakresie temperatury obliczeniowej wynosi 1,0062 l/kg. Wartość ta jest nieznacznie większa, od 1, dlatego można przyjąć, że masa 1 litra wody wynosi 1 kg.

$$Q = m \times c_p \times (t_2 - t_1) = 300 \text{ kg} \times 0,00116 \text{ kWh/kg} \times \\ \times K \times (50 \text{ 0 C} - 10 \text{ 0 C}) = 13,92 \text{ kWh}$$

Teraz bez trudu można obliczyć koszty energii dowolnego pochodzenia, użytej **do ogrzania 300 l wody**. Pamiętać jednak należy, że uproszczony model matematyczny nie uwzględnia strat powstających przy przesyłaniu czynnika grzewczego pomiędzy źródłem ciepła a zasobnikiem, cwu. Koszty poszczególnych nośników energii przedstawia tabela nr 1.

PRZYKŁAD II

Do podgrzewania cwu zastosowano elektryczny pojemnościowy podgrzewacz wody o mocy 6 kW, zasilany prądem trójfazowym. 300 litrów wody jest codziennie podgrzewane od 10 0 C do 50 0 C.

Roczne zużycie energii: 13,92 kWh x 365 dni = 5080,8 kWh

Roczny koszt eksploatacji:

$$5080,8 \text{ kWh} \times 0,41 \text{ zł/kWh} = 2083,13 \text{ zł}$$

Oprócz kosztów eksploatacji, które zależą od cen poszczególnych nośników energii, trzeba rozważyć drugi składnik wpływający na opłacalność inwestycji – koszt urządzeń grzewczych.

Założmy, że do ogrzania 300 l wody użyjemy instalacji solarnej, której podstawowym elementem jest bateria trzech kolektorów.

PRZYKŁAD III.

Za trzy kolektory słoneczne, kompletny osprzęt solarny, zbiornik cwu o pojemności 300 litrów (z jedną wężownicą i grzałką elektryczną o mocy 2 kW), oraz montaż instalacji trzeba zapłacić ok. 9000 zł. Natomiast wyposażenie instalacji 300 l ogrzewacz wody o mocy 6 kW, trójfazowe przyłącze energetyczne i niezbędną armaturę hydrauliczną kosztują ok. 4000 zł.

Rocznie potrzebujemy 5080,8 kWh energii (patrz przykład drugi). Kolektory wytworzą 4159 kWh (patrz przykład pierwszy). **Uwzględniając straty przy przesyłaniu czynnika grzewczego między kolektorami a zasobnikiem ciepłej wody użytkowej (cwu) na poziomie 20% efektywnie uzyskamy 3327 kWh.**

Roczny koszt eksploatacji zestawu solarnego:

$$4159 \text{ kWh} \times 0,008 \text{ zł/kWh} = 33,27 \text{ zł}$$

Roczne oszczędności z tytułu zastosowania instalacji solarnej:

$$(3327 \text{ kWh} \times 0,41 \text{ zł/kWh}) - 33,27 \text{ zł} = 1330,80 \text{ zł}$$

Zestaw solarny zapewni ciepłą wodę przez cały rok, ponieważ zbiornik wyposażono w grzałkę. Nie ma, zatem potrzeby instalowania dodatkowego ogrzewacza. Solarna instalacja cwu jest droższa o 5000 zł od instalacji wyposażonej w ogrzewacz elektryczny. Suma ta zwróci się już po czterech latach eksploatacji zestawu solarnego.

Prosty okres zwrotu nadwyżki kosztów instalacji solarnej nad kosztami instalacji wyposażonej w ogrzewacz elektryczny:

$$5000 \text{ zł} / 1330,80 \text{ zł} = 3,76 \text{ roku.}$$

Ilość ciepła, które można uzyskać z baterii kolektorów w ciągu roku, zależy od mocy pojedynczego kolektora, ta zaś jest pochodną powierzchni czynnej absorbera, sprawności urządzenia, oraz natężenia promieniowania słonecznego.

Maksymalna moc cieplna pojedynczego kolektora o powierzchni czynnej 1,733 m² i sprawności 80%, eksploatowanego przy natężeniu 1000 W/m², wynosi:

$$P_{kol} = 1,733 \text{ m}^2 \times 1000 \text{ W/m}^2 \times 80\% = 1386 \text{ W}$$

Moc cieplna baterii słonecznych powinna być tak dobrana, aby w okresie letnim zapewnić pokrycie do 95% dziennego zapotrzebowania na ciepło danego obiektu. Tę samą ilość ciepła można jednak wytworzyć w różnym przedziale czasu.

Materiał udostępniony przez:

EkoExpert Doradztwo Ekologiczne i Gospodarcze

ul. Wyszyńskiego 2 lok. 68

15-888 Białystok

www.ekoexpert.com.pl



Możliwości wykorzystania energii wiatru

Wstęp

Rozwój technologiczny siłowni wiatrowych pozwala na szersze wykorzystanie energii wiatru do produkcji energii. Energia wiatru w silnikach wiatrowych była wykorzystywana do pompowania wody lub mielenia ziarna, do wytworzenia siły napędowej żaglowców. Wiatr jest przekształconą formą energii słonecznej. Jest to ruch mas powietrza wywołany nierównomiernym nagrzewaniem się powierzchni Ziemi. Około ¼ tej energii to ruch mas powietrza bezpośrednio przylegających do powierzchni ziemi. Biorąc pod uwagę możliwości rozmieszczenia urządzeń przetwarzających energię wiatru, niewielka część tych zasobów jest możliwa do wykorzystania. Zasoby wiatru technicznie możliwe do wykorzystania ocenia się na około 40 TW [Lewandowski 2001].

Obecnie silniki wiatrowe wykorzystuje się do napędu generatorów prądu, pomp wodnych, sprężarek powietrzna. Zwiększa się asortyment dostępnych siłowni wiatrowych począwszy od małych przydomowych elektrowni wiatrowych do bardzo dużych konstrukcji włączonych do systemu energetycznego. Moc elektryczna turbin wiatrowych dochodzi do 5MW przy średnicy wirnika ok. 130m [www.repower.de 2007]. Turbiny wiatrowe są źródłem energii pracującym całkowicie bez wytwarzania zanieczyszczeń. Jednakże podczas pracy wytwarzany jest hałas pochodzący od wirnika, którego łopaty przecinają powietrze i od przekładni. Prace rozwojowe siłowni wiatrowych zmierzają do zwiększenia sprawności oraz obniżenia poziomu hałasu wytwarzanego w trakcie pracy.

Energia wiatru

Wiatr jest zjawiskiem wynikającym z ruchu cząstek powietrza. Powstaje pod wpływem nagrzewania się powierzchni ziemi w wyniku działania promieniowania słonecznego. Energia niesiona przez wiatr jest proporcjonalna do jego prędkości w trzeciej potęgze. Przechodząc przez wirnik silnika wiatrowego prędkość wiatru

ulega zmniejszeniu od prędkości początkowej v_o do końcowej v_k . Część energii zostaje przejęta przez wirnik. Moc użyteczna wytwarzana w silniku wiatrowym, przejęta od strumienia powietrza wynika z różnicy energii kinetycznej powietrza przed i za wirnikiem.

Moc niesiona przez wiatr przechodzący przez powierzchnię kołową określoną obrotem wirnika [Lewandowski 2001]:

$$P_u = \rho \cdot \frac{\pi \cdot r^2}{2} \cdot v_s \cdot \frac{v_o^2 - v_k^2}{2}$$

Gdzie:

P – moc użyteczna wiatru [W],

ρ – gęstość powietrza [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

v_s – prędkość średnia powietrza przepływającego przez wirnik [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],

v_o – prędkość wiatru przed wirnikiem [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],

v_k – prędkość wiatru za wirnikiem [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],

r – promień wirnika [m]

Lokalizacja siłowni wiatrowych

Wybór miejsca pod lokalizację siłowni wiatrowej powinien opierać się na analizie warunków wiatrowych. Wstępna ocena może zostać dokonana w oparciu o atlasy i mapy wietrzności. Czynnikiem decydującym o powodzeniu lokalizacji siłowni wiatrowej są rzetelne informacje o prędkościach i kierunkach wiatrów w obszarze planowanej inwestycji oraz częstotliwości i długości okresów występowania wiatrów o określonych prędkościach. Prawidłowa ocena potencjału energetycznego wymaga uzyskania długookresowych informacji o parametrach wiatru. Zgodnie z przyjętymi



standardami pomiary i rejestracja parametrów wiatru powinny być prowadzone w sposób nieprzerwany przez okres co najmniej jednego roku [Latko, Latko 2007].

Do pomiaru prędkości i kierunku wiatru wykorzystywane są anemometry skrzydełkowe, ultradźwiękowe lub urządzenia wykorzystujące efekt Dopplera.

Wyniki pomiarów zapisywane są w pamięci urządzeń pomiarowych i cyklicznie przenoszone są do komputerów umożliwiających porządkowanie i analizę zebranych danych pomiarowych.

Na podstawie zgromadzonych danych pomiarowych przeprowadzane są analizy wartości prędkości wiatru i częstości występowania wiatrów o określonej prędkości oraz ocena potencjału energetycznego wiatru w badanym obszarze [Soliński 1999].

Rodzaje siłowni wiatrowych

Silniki wiatrowe służą do przekształcania energii wiatru na energię elektryczną. Podstawowym elementem każdej siłowni jest wirnik. To on zamienia energię kinetyczną ruchu cząstek powietrza w energię mechaniczną ruchu obrotowego. Następnie ruch obrotowy przekazywany jest do urządzeń wykonawczych (generator prądu elektrycznego, pompa). W zależności od położenia osi obrotu wirnika wyróżnia się siłownie z poziomą osią obrotu (HAWT) – uznawane za klasyczne oraz siłownie wiatrowe z pionową osią obrotu (VAWT).

Siłownie wiatrowe z poziomą osią obrotu wirnika - HAWT

Budowę typowej konstrukcji elektrowni wiatrowej ilustruje Rys. 2., natomiast na Rys. 3. przedstawiono budowę

profesjonalnej elektrowni wiatrowej o mocy 2 MW pracującej na potrzeby sieci energetyki zawodowej.

Najważniejszym elementem siłowni wiatrowej jest wirnik przekształcający energię wiatru w energię mechaniczną przekazywaną do generatora. Zazwyczaj wykonuje się wirniki trójpłatowe chociaż występują również konstrukcje dwupłatowe i jednopłatowe. Większość płatów wykonana jest z włókna szklanego wzmocnionego poliestrem. Każda łopata składa się z dwóch powłok przymocowanych do belki nośnej. Wiatr działający na powierzchnię płata powoduje powstanie siły nośnej, która wprawia wirnik w ruch [Jagodziński 1959].

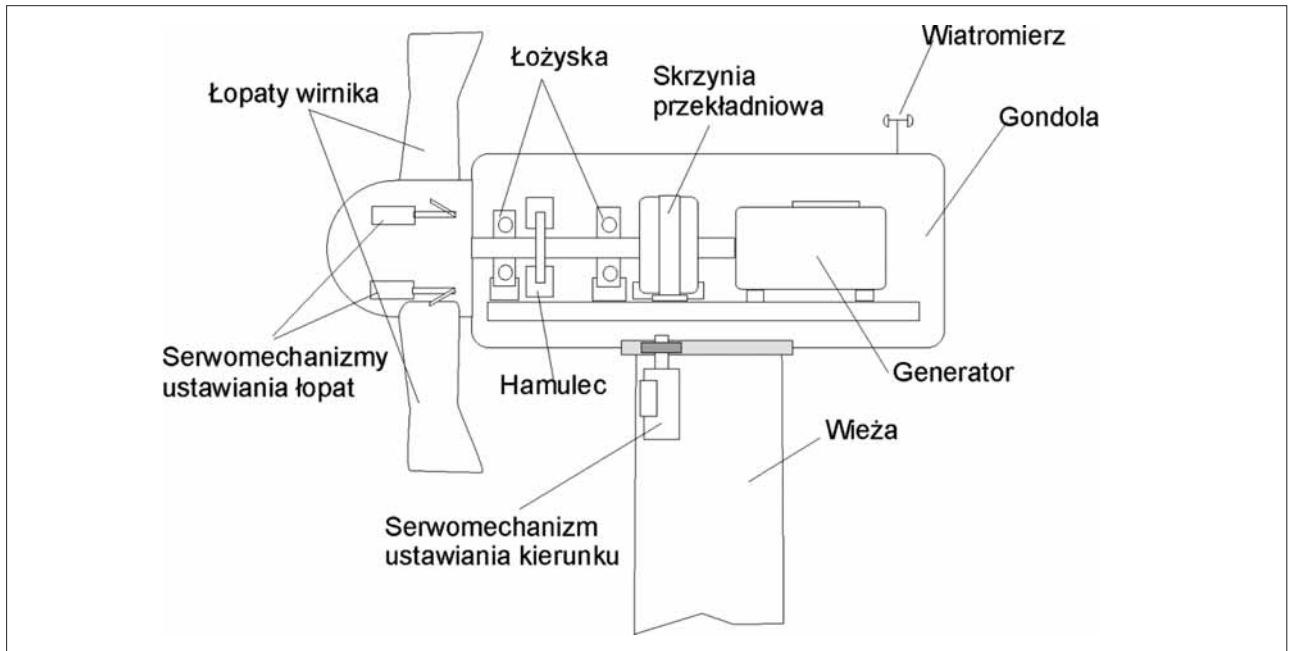
W niektórych rozwiązaniach istnieje ponadto możliwość zmiany kąta ustawienia łopat wirnika dzięki zastosowaniu siłowników hydraulicznych. Wirnik osadzony jest na wale wolnoobrotowym, którego obroty poprzez skrzynię przekładniową przekazywane są do wału szybkoobrotowego. Wał szybkoobrotowy połączony jest z wałem generatora. Spotykane są też układy pracujące bez przekładni. Najczęściej wirnik obraca się z prędkością 15-30 obr./min., przekładnia zwiększa tą prędkość obrotową 50-krotnie do 1500 obr./min. Stopień przełożenia zależy od typu prądnicy zastosowanej w elektrowni.

W czasie rozruchu generatory łączone są do sieci przez układy tyrystorowe, które następnie są bocznikowane stycznikami. Mikroprocesorowy system sterowania monitoruje stan siłowni i pobiera dane do obliczeń i sterowania. Generator, transformator, przekładnia i urządzenia sterujące umieszczone są w gondoli. Ponadto gondola zawiera układy smarowania, chłodzenia, hamulec tarczowy itp. Gondola i wirnik obracane są w kierunku wiatru przez silniki i przekładnię zębatą znajdującą się na szczycie wieży, na której umieszczona jest gondola. Wieża wykonana jest ze stali lub z betonu zbrojonego, w kształcie rury, rzadziej stalowa o konstrukcji kratownicowej.

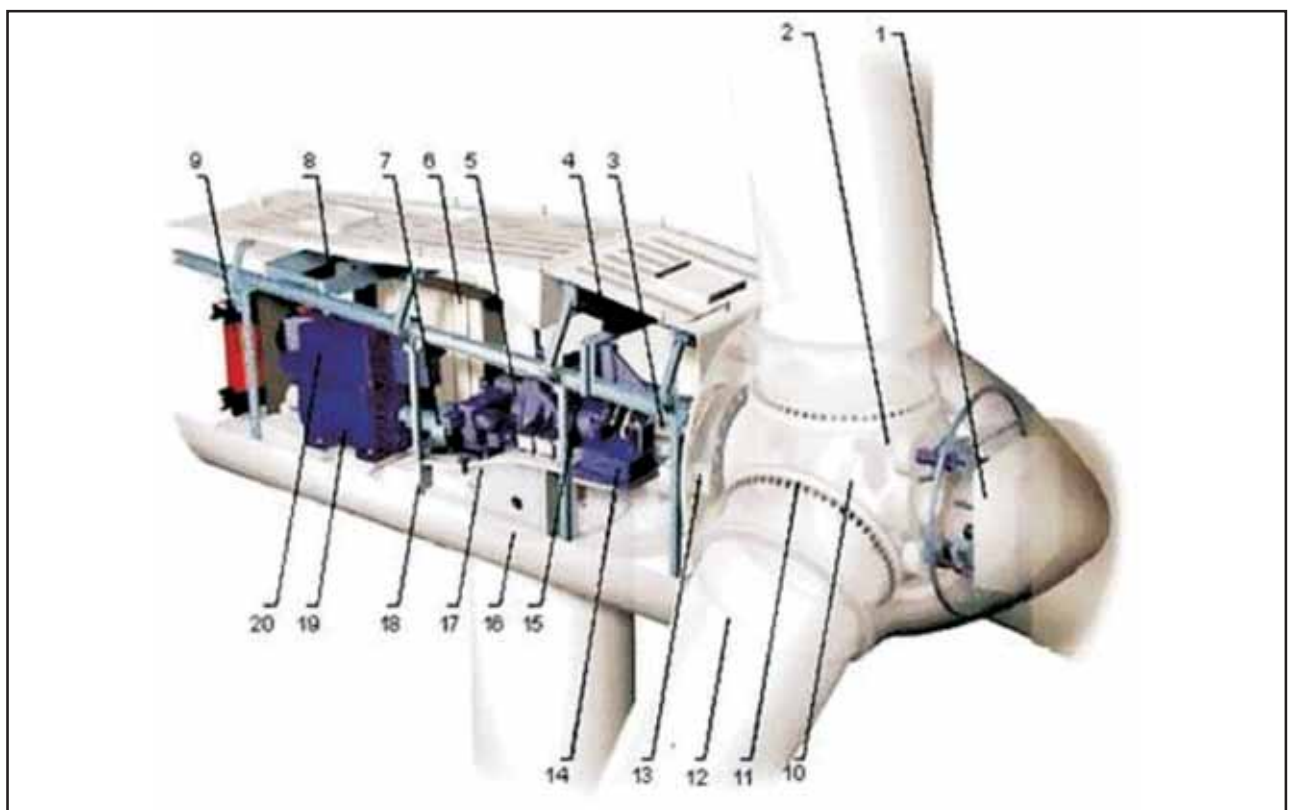


Rys. 1. Mierniki kierunku i prędkości wiatru LB-746 i LB-747 firmy Label oraz ultradźwiękowy czujnik prędkości i kierunku wiatru WMT50 firmy Vaisala





Rys. 2. Uproszczony schemat budowy siłowni wiatrowej



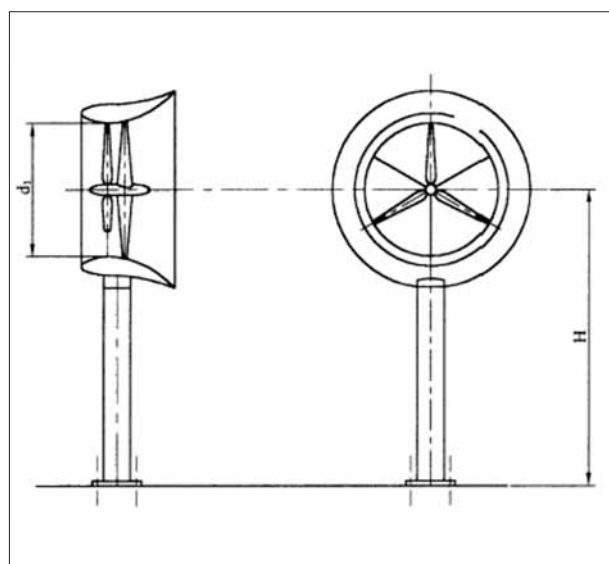
Rys. 3. Budowa elektrowni wiatrowej (model V80-2.0MW firmy Vestas)

1) kontroler 2) mechanizm ustawiania łopat 3) główny wał 4) chłodnica oleju 5) przekładnia 6) wieloprocessorowy układ sterowania 7) hamulec postojowy 8) dźwign dla obsługi 9) transformator 10) piasta łopaty 11) łożysko łopaty 12) łopata 13) układ hamowania wirnika 14) układ hydrauliczny 15) tarcza układu hamowania wirnika 16) pierścień układu kierunkowania 17) fundament 18) koła zębate układu kierunkowania 19) generator 20) chłodnica generatora powłok przymocowanych do belki nośnej.

Przedstawione powyżej urządzenia dużej mocy wyposażane są w układy automatyki sterowane komputerowo. Urządzenia mniejszych mocy, przeznaczone dla małych, indywidualnych użytkowników charakteryzują się znacznie prostszą budową. Nie są wyposażane w mechanizmy zmiany kąta ustawienia łopatek wirnika a nastawianie kierunku odbywa się poprzez wykorzystanie sił aerodynamicznych działających na chorańkę kierunkową, a nie za pomocą serwomechanizmów jak w przypadku dużych turbin wiatrowych. Zabezpieczenie przed zbyt silnymi wiatrami często realizowane jest w nich poprzez odchylenie gondoli do pionowego ustawienia osi co praktycznie oznacza wyłączenie siłowni.

Koncepcją rozwojową typowej turbiny z poziomą osią obrotu wirnika jest zastosowanie dyfuzora. Umieszczenie wirnika wewnątrz dyfuzora teoretycznie może zwiększyć sprawność przetwarzania energii wiatru na energię elektryczną. Charakterystyka pracy wirnika z dyfuzorem pozwala na uzasadnione ekonomicznie zastosowanie turbiny wiatrowej przy niższych prędkościach wiatru. Turbiny z dyszą mogą pracować przy prędkości wiatru $v < 4$ m/s. Tak więc praktycznie na całym obszarze Polski można stosować instalacje wiatrowe z wykorzystaniem turbin z dyfuzorem. Jednocześnie opłacalne może być stosowanie turbin o mniejszych średnicach przy montażu na niższych wieżach, co może znacząco obniżyć koszty instalacji.

Turbiny wiatrowe tego typu pracują o 3200 godz. rocznie dłużej niż konwencjonalne turbiny wiatrowe. Roczna produkcja energii turbiny wiatrowej z dyszą przy



Rys. 5. Turbina wiatrowa z dyfuzorem [Franković, Vrsalović 2001]

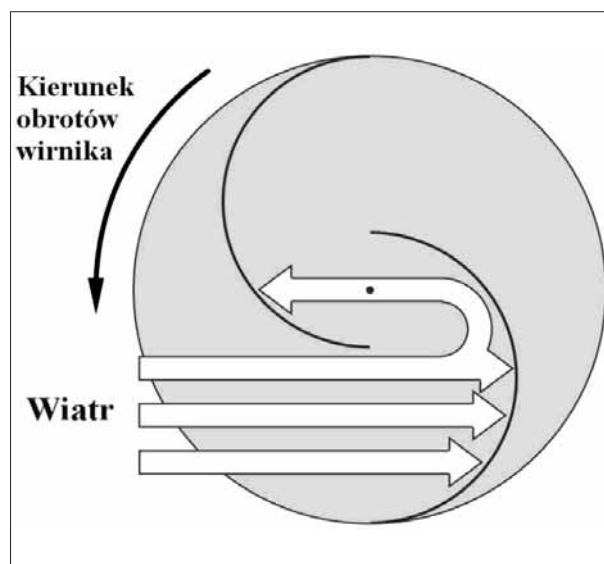
mocy $P_s=660$ kW na poziomie 4,3 GWh jest o około 3 GWh większa niż roczna produkcja energii z turbiny konwencjonalnej, produkującej rocznie 1,3 GWh. Zapewnia to efektywną pracę siłowni wiatrowych nawet w terenie o nienajlepszych warunkach wiatrowych [Franković, Vrsalović 2001]

Siłownie wiatrowe z pionową osią obrotu wirnika – VAWT

Prace nad turbinami z pionową osią obrotu nie postępowały w takim tempie jak nad turbinami z wirnikiem o poziomej osi obrotu. W porównaniu z tradycyjnymi rozwiązaniami stanowią one niewielką część pracujących obecnie instalacji. W 1931 Darrieus opatentował wirnik który jest obecnie nazywany od jego nazwiska. Na płatach wirnika powstaje siła nośna wywołująca powstanie momentu napędowego wprawiającego wirnik w ruch obrotowy. Zasada działania wirnika Darrieusa przedstawiona została na Rys. 4. Wirnik tego typu ma praktycznie zerowy moment startowy, w związku z czym konieczne jest wstępne rozpedzenie.

Przykładem wirnika o zupełnie innej konstrukcji jest rotor Savoniusa. Wykorzystane tu zostało zjawisko powstawania siły pod wpływem naporu wiatru na powierzchnię płata wirnika.

Podstawową zaletą siłowni wiatrowych z pionową osią obrotu jest brak konieczności ustawiania wirnika w kierunku wiatru. Inną cechą pozytywną jest niski poziom emitowanego hałasu oraz możliwość pracy przy niskich prędkościach wiatru.



Rys. 6. Działanie rotora Savoniusa [http://en.wikipedia.org/wiki/Savonius_wind_turbine]



Przykłady konstrukcji o małych, średnich i dużych mocach

Siłownie wiatrowe produkowane są przez wytwórców na całym świecie. Z tego powodu spotykane są turbiny wiatrowe o zróżnicowanej konstrukcji, począwszy od małych przydomowych elektrowni wiatrowych czy pomp wiatrowych o mocach od 100W do około 30kW aż po olbrzymie konstrukcje posadowione na wieżach o wysokości 120m i wirnikach średnicy 126m, generujących moc 5MW. Przykłady siłowni z poziomą osią obrotu przedstawia rysunek 6.

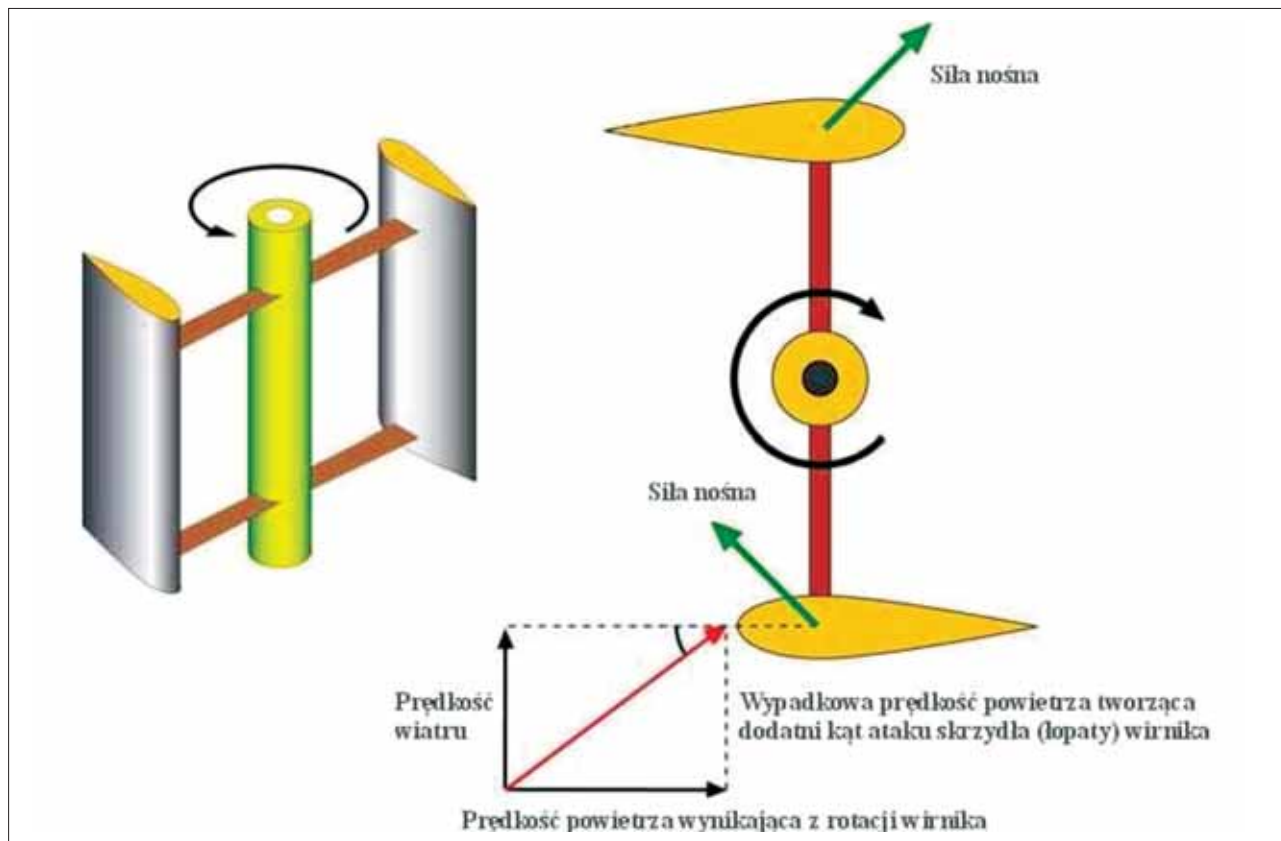
Istnieje duża różnorodność konstrukcji siłowni wiatrowych z pionową osią obrotu np. "świderekowe" turbiny fińskiej firmy WINDSIDE, będące modyfikacją tradycyjnego wirnika Savoniusa. Wirniki tych siłowni potrafią przetrwać wiatry o ekstremalnie wysokich prędkościach oraz wykorzystują wiatry nawet od 1,5 m/s. Turbiny o takiej konstrukcji praktycznie nie generują prawie żadnych dźwięków. Dla porównania tradycyjny wiatrak, w którym końcówki łopat poruszają się z szybkością 250 km/h (wirnik 52m przy 26 obr./min.) emituje hałas na poziomie 100dB. [V52-850 2007]. Przykłady siłowni wiatrowych z pionową osią obrotu przedstawione zostały na rysunku 7.

Energia na potrzeby własne czy na sprzedaż

Energia elektryczna wytworzona w siłowni wiatrowej może zostać wykorzystana na potrzeby własne zasilając obwody wydzielone lub sprzedana do przedsiębiorstwa obrotu energią czyli zasilac sieć energetyki zawodowej.

Elektrownia wiatrowa wytwarzająca energię wyłącznie na potrzeby odbiorników autonomicznych dołączonych do wydzielonego obwodu jest całkowicie niezależnym źródłem energii. Źródłami energii w tego typu elektrowniach są prądnice prądu stałego lub małe prądnice prądu przemiennego, często z magnesami trwałymi (nie wymagające dodatkowych obwodów wzbudzenia). Ze względu na zależność ilości i jakości produkowanej energii od prędkości wiatru siłownie te współpracują z systemami magazynowania energii w baterii akumulatorów [Klugman-Radziemska 2006]. Schemat takiego układu przedstawiono na rysunku 8. Gdy istnieje potrzeba zasilania odbiorników prądu przemiennego, układ taki można doposażyć w przetwornicę napięcia stałego na napięcie prądu przemiennego – rysunek 9.

Generator prądu zmiennego użyty w elektrowni wiatrowej również pozwala na uzyskanie odpowied-



Rys. 5. Zasada działania wirnika Darrieusa [http://en.wikipedia.org/wiki/Darrieus_wind_turbine]



Rys. 6. Przykłady siłowni wiatrowych z poziomą osią obrotu: a) mała przydomowa elektrownia wiatrowa o mocy 10 kW BWC Excel [<http://www.bergey.com>], b) wirnik z dwoma łopatomy [<http://www.windturbinecompany.com>], c) turbiny wiatrowe GE Power na farmie wiatrowej Walchum, Niemcy [<http://www.gepower.com>], d) turbina wiatrowa firmy Vortec z dyfuzorem DAWT





Rys. 7. Przykłady siłowni wiatrowych z pionową osią obrotu: a) zmodyfikowany wirnik Savoniusa [<http://www.windside.com>], b) elektrownia wiatrowa o mocy 4MW z wirnikiem Darrieusa – Quebec [<http://www.wind-works.org>], c) zmodyfikowany wirnik Darrieusa – Francja [<http://www.wind-works.org>], d) wirnik typu H-Darrieus

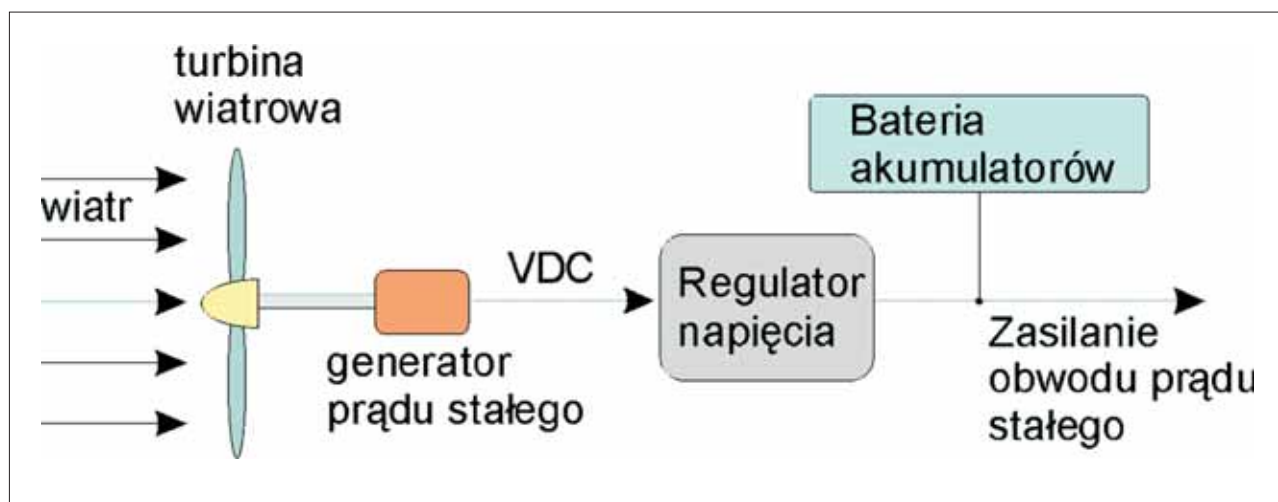
niej jakości energii prądu stałego po uprzednim wyprostowaniu i regulacji napięcia. Ponieważ prędkość obrotowa turbin wiatrowych zależna jest od prędkości wiatru, również wartość generowanego napięcia i jego częstotliwość jest zmienna. Z tego powodu stosowany jest pośredni obwód prądu stałego wyposażony w regulator napięcia współpracujący z przetwornicą napięcia stałego na napięcie przemiennie (AC/DC) – rysunek 10.

Energia elektryczna wytwarzana w elektrowniach pracujących w sprzężeniu z siecią energetyki zawodowej musi mieć takie same parametry (częstotliwość i napięcie) jak sieć, z którą elektrownia wiatrowa współpracuje. Wymusza to stosowanie odpowiednich układów i urządzeń automatycznego sterowania, które zapewnią synchronizację z siecią energetyczną – rysunek 11.

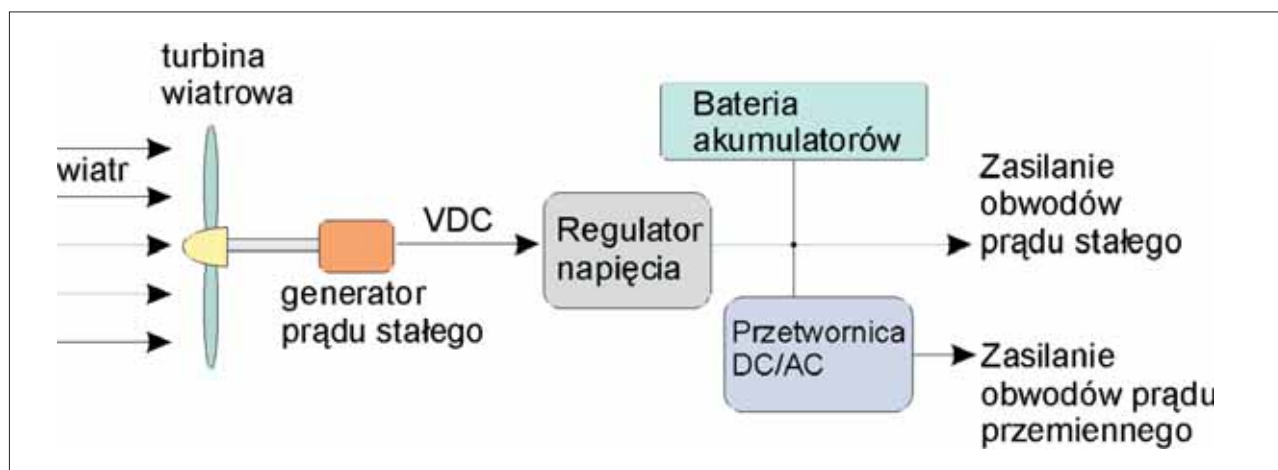
Przetwarzanie energii wiatru na energię elektryczną przy użyciu elektrowni wiatrowej z zamiarem sprzedaży tej energii wiąże się z koniecznością prowadzenia działalności gospodarczej. Działalność polegająca na wytwarzaniu energii ze źródeł odnawialnych podlega koncesjonowaniu niezależnie od mocy źródła energii. Sytuacja ta wymuszona została wejściem w życie z dniem 1 maja 2004 r. ustawy z dnia 2 kwietnia 2004 r. o zmianie ustawy - Prawo energetyczne i ustawy - Prawo ochrony środowiska.

Koncesja udzielana jest przez prezesa URE, po ocenie z punktu widzenia zapisów ustawy - Prawo energetyczne - czy wnioskodawca:

1. ma siedzibę lub miejsce zamieszkania na terytorium państwa Unii Europejskiej;
2. dysponuje środkami finansowymi w wielkości gwarantującej prawidłowe wykonywanie działalności bądź jest



Rys. 8. Schemat układu pracy systemu autonomicznego z prądnicą prądu stałego i obwodem odbiorczym prądu stałego.



Rys. 9. Schemat układu pracy systemu autonomicznego z prądnicą prądu stałego i obwodem odbiorczym prądu stałego oraz przemiennego.



- w stanie udokumentować możliwość ich pozyskania;
3. ma możliwości techniczne gwarantujące prawidłowe wykonywanie działalności;
 4. zapewni zatrudnienie osób o właściwych kwalifikacjach zawodowych,
 5. uzyskał decyzję o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu. [http://www.elektrownie-wiatrowe.org.pl/por_koncesje.htm 2007]

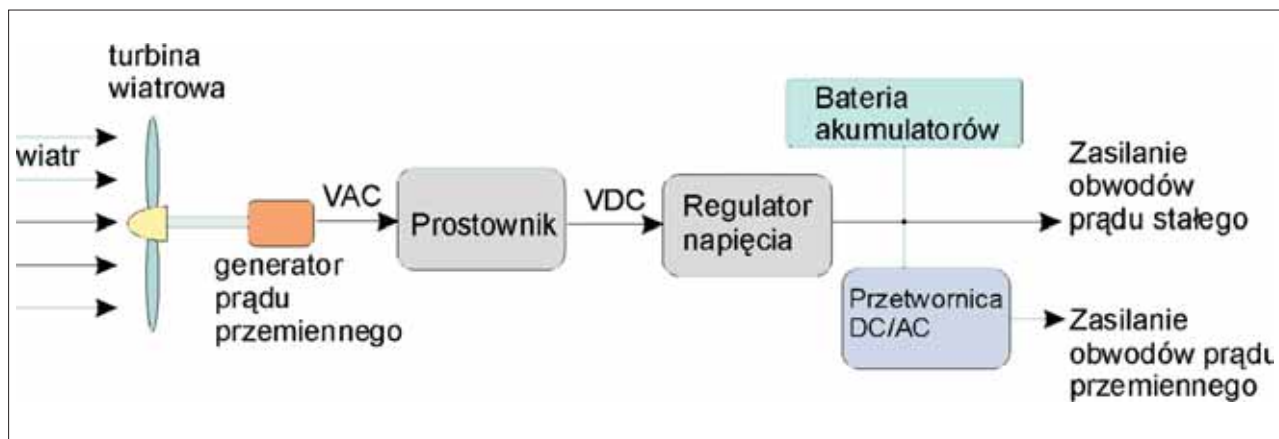
Podsumowanie

Zobowiązania jakie ciążyą na Polsce w efekcie przystąpienia do Unii Europejskiej wymuszają poszukiwanie możliwości pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych. Jednocześnie rozwój technologiczny w zakresie siłowni wiatrowych stwarza możliwości budowania instalacji przetwarzających energię wiatru na energię

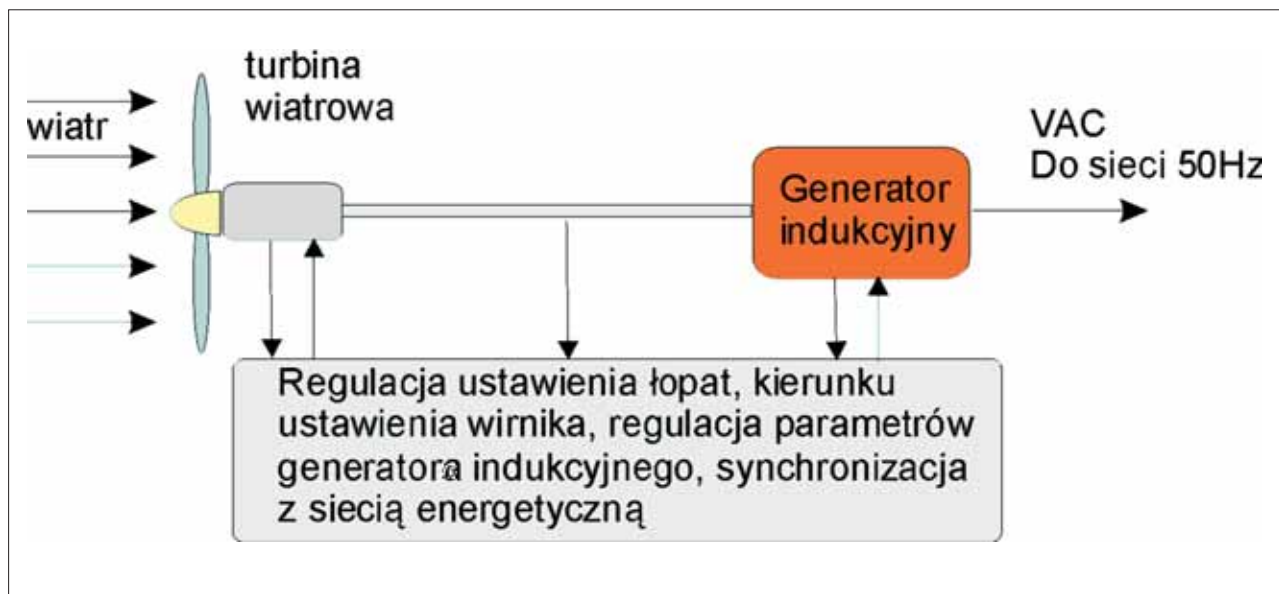
użyteczną. Wzrasta również świadomość społeczeństwa a w szczególności władz samorządowych, które coraz przychylniej podchodzą do lokalizowania na ich terenie inwestycji energetyki wiatrowej. Wpływ na to mają przepisy wymuszające zakup energii produkowanej ze źródeł odnawialnych przez przedsiębiorstwa zajmujące się obrotem energią. Dzięki temu inwestycja w energetykę wiatrową, mimo wymaganych dużych nakładów finansowych staje się atrakcyjne nawet przy nie najkorzystniejszych warunkach wiatrowych panujących na terenie Polski.

Literatura

- Franković B., Vrsalović I. 2001. New high profitable wind turbine. Renewable energy 24 (2001) 491-499



Rys. 10. Schemat układu pracy systemu autonomicznego z prądnicą prądu zmiennego



Rys. 11. Schemat układu synchronizowanego z siecią energetyki zawodowej

- Jagodziński W. 1959. Silniki wiatrowe. PWN Warszawa
- Klugman-Radziemska W. 2006. Odnawialne źródła energii. Przykłady obliczeniowe. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej
- Latko A., Latko A. 2007. Analiza warunków wiatrowych dla potrzeb energetycznych. EMPIRIA. www.windhunter.com.pl/latko.pdf
- Lewandowski W. M. 2001. Proekologiczne źródła energii odnawialnej. WNT. Warszawa
- Soliński I. 1999. Energetyczne i ekonomiczne aspekty wykorzystania energii wiatrowej. WIG SMiE PAN. Kraków
- RePower 5M. 2007 – broszura informacyjna produktu 5M firmy RePower systems
- V52-850. 2007. Vestas – broszura informacyjna produktu V52-850 firmy Vestas.
- V80-2.0MW 2007. Vestas – broszura informacyjna produktu V80-2.0MW firmy Vestas.

- http://www.elektrownie-wiatrowe.org.pl/por_koncesje.htm
- <http://www.windturbinecompany.com/>
- <http://www.bergey.com/>
- http://www.gepower.com/businesses/ge_wind_energy/en/image_gallery/walchum.htm
- http://en.wikipedia.org/wiki/Savonius_wind_turbine
http://en.wikipedia.org/wiki/Darrieus_wind_turbine
- <http://www.windside.com>
- <http://www.wind-works.org/photos/PhotosVAWTs.html>
- <http://www.repower.de> 2007





Podlaska Fundacja Rozwoju Regionalnego została utworzona w 1994 roku. Jej początkowym zadaniem było administrowanie Polsko-Brytyjskim Programem Rozwoju Przedsiębiorczości (lata 1995-1999) na terenie województwa podlaskiego oraz pobudzanie wzrostu ekonomicznego w regionie. PFRR została utworzona przez następujących fundatorów instytucjonalnych: Wojewoda Białostocki, Izba Przemysłowo-Handlowa w Białymstoku, Związek Zawodowy NSZZ „Solidarność” Region Białystok, Podlasko-Mazurskie Porozumienie Związków Zawodowych. Na przestrzeni 13 lat działalność Fundacji przyjęła kierunek zmierzający do zwiększenia konkurencyjności regionu Podlasia poprzez wspieranie przedsiębiorczości. Działalność uległa zróżnicowaniu w oparciu o następujące rodzaje usług:

Usługi doradcze świadczone przez sieć Centrów Wspierania Biznesu w Białymstoku, Łomży, Augustowie, Hajnówce, Siemiatyczach i Bielsku Podlaskim. Zakres usług obejmuje:

- proste porady udzielane przez pracowników różnych programów tematycznych dotyczących prowadzenia działalności gospodarczej na terytorium Unii Europejskiej, ofert handlowych przepisów prawnych oraz wsparcia finansowego firm,
- doradztwo specjalistyczne: diagnozy i strategię firm, wyceny przedsiębiorstw, biznesplany do instytucji kredytowych, przygotowywanie wniosków i biznes planów o dotacje z Unii Europejskiej oraz programy naprawcze dla firm.

Usługi szkoleniowe

PFRR prowadzi szkolenia przez spółkę zależną – RCS Sp. z o.o. (RCS), powołaną do życia w październiku 1995 r. Zakres usług szkoleniowych obejmuje m.in.: marketing, zarządzanie sprzedażą, systemy jakości zgodnie z normami ISO, zarządzanie zasobami ludzkimi, finanse, komunikacja interpersonalna, negocjacje, prawo pracy. RCS prowadzi doradztwo personalne dla firm poszukujących wysoko wykwalifikowanego personelu oraz organizuje programy szkoleniowe na zlecenie firm również szkolenia dofinansowane przez UE.

Usługi informacyjne

PFRR kojarzy partnerów przez organizację misji handlowych, targów turystycznych oraz wymianę ofert. Posiada liczne bazy danych o podmiotach gospodarczych polskich i zagranicznych zawierające oferty współpracy. Rozpowszechnia informacje, prowadzi szkolenia, kampanie promocyjne i informacyjne o programach pomocowych i polityce regionalnej Unii Europejskiej. Działalność informa-

cyjna prowadzona jest w oparciu o Podlaskie Centrum Euro Info, udzielające informacji przedsiębiorcom o warunkach prowadzenia działalności w Unii Europejskiej oraz Podlaską Agencję Zarządzania Energią, która prowadzi działania mające na celu popularyzację proekologicznych metod produkcji energii, zwłaszcza w oparciu o źródła.

Usługi finansowe

Podlaski Fundusz Kapitałowy Sp. z o.o.

Podlaski Fundusz Kapitałowy Sp. z o.o. przeprowadza inwestycje kapitałowe na zasadach venture capital poprzez zakup udziałów lub akcji. Sposób inwestowania dostosowany jest do indywidualnych potrzeb firmy. PFK Sp. z o.o. może zainwestować w spółkę około 800.000 zł poprzez objęcie mniejszościowego udziału w kapitale spółki, pożyczkę lub leasing środków trwałych.

Podlaski Fundusz Poręczeniowy Sp. z o.o.

Podlaski Fundusz Poręczeniowy Sp. z o.o. zabezpiecza wszystkie rodzaje kredytów i pożyczek gospodarczych, tj. obrotowe, inwestycyjne, w rachunku bieżącym i inne. Z poręczeń korzystać mogą mikro, małe i średnie przedsiębiorstwa.

Fundusz Pożyczkowy „mikroSTART” Podlaskiej Fundacji Rozwoju Regionalnego

Fundusz Pożyczkowy „mikroSTART” udziela pożyczek mikro, małym i średnim przedsiębiorcom oraz osobom rozpoczynającym działalność gospodarczą, które mogą mieć trudności z uzyskaniem kredytu bankowego.

Fundacja pełni rolę **Regionalnej Instytucji Finansowej**, która została powołana w celu obsługi programów wsparcia finansowego Unii Europejskiej skierowanych do przedsiębiorców. PFRR stanowi ogniwo systemu wdrażania programów Phare 2001, Phare 2002, Phare 2003 oraz Sektorowego Programu Operacyjnego – Wzrost Konkurencyjności Przedsiębiorstw, a także Sektorowego Programu Operacyjnego – Rozwój Zasobów Ludzkich na terenie województwa podlaskiego.

Od roku 2005 zarządzanie Fundacją oraz spółkami zależnymi odbywa się w oparciu o Zintegrowany System Zarządzania, który umożliwi właściwe wykonywanie usług w ramach Krajowego Systemu Usług dla Małych i Średnich Przedsiębiorstw, do którego Fundacja należy od roku 1999. Aktywne wspieranie rozwoju regionu Podlasia, stawia Podlaską Fundację Rozwoju Regionalnego w gronie najsilniejszych agencji rozwoju regionalnego w Polsce i daje gwarancję rzetelności i skuteczności we współpracy z partnerami.