

Artur SKOCZEK\*

## Perspektywy wzrostu wykorzystania energii elektrycznej z systemów fotowoltaicznych

**STRESZCZENIE.** W artykule przedstawiono obecny stan rozwoju rynku modułów fotowoltaicznych. Ze względu na wysoką cenę modułów rozwój tej technologii produkcji energii elektrycznej jest związany ściśle z wprowadzoną w kilku krajach rządową polityką wspierania rozwoju odnawialnych źródeł energii. Programy te opierają się na systemach kredytów oraz preferencyjnych taryfach skupu energii wyprodukowanej w systemach fotowoltaicznych. Również w Polsce rozwojowi fotowoltaiki towarzyszyć muszą odpowiednie rozwiązania systemowe, bez których to źródło energii elektrycznej postrzegane będzie jako rozwiązanie nieekonomiczne, bez szans na upowszechnienie.

**SŁOWA KLUCZOWE:** energia odnawialna, fotowoltaika, moduły fotowoltaiczne

### Wprowadzenie

Technologia wytwarzania energii elektrycznej na drodze efektu fotowoltaicznego (ang. *Photovoltaic* — *PV*) jest jedną z najbardziej dynamicznie rozwijających się technologii pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych przełomu XX i XXI wieków. Ma to związek zarówno z intensyfikacją prac nad rozwojem energetyki odnawialnej, jak i wielkim postępem technologii wytwarzania krzemowych układów scalonych na potrzeby współczesnej elek-

---

\*Dr inż. — Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Roman NEY

troniki. Zainteresowanie systemami PV wzrasta ze względu na to, że przetwarzają one promieniowanie słoneczne bezpośrednio na energię elektryczną, bez ubocznej produkcji zanieczyszczeń, hałasu i innych czynników wywołujących niekorzystne zmiany środowiska.

Pierwszym poważnym zastosowaniem ogniw fotowoltaicznych było zasilanie satelitów w końcu lat pięćdziesiątych (Pietruszko 2000). W dzisiejszych czasach ogniwa PV prawie całkowicie zasilają satelity używane zarówno do celów telekomunikacyjnych, badawczych, jak i wojskowych. Zapotrzebowanie na wysoce niezawodne i lekkie źródła energii dla zastosowań kosmicznych było siłą napędową rozwoju technologii fotowoltaicznej w jej początkowym okresie, a postęp techniczny w latach sześćdziesiątych pozwolił na coraz częstsze wykorzystanie systemów fotowoltaicznych w zastosowaniach naziemnych. Jednak dopiero wzrost cen energii, wywołany kryzysem naftowym w połowie lat siedemdziesiątych, spowodował zwiększenie zainteresowania tą formą pozyskiwania energii (Pietruszko 2000).

Systemy fotowoltaiczne posiadają wiele korzystnych cech wyróżniających je spośród innych alternatywnych źródeł energii:

- ✧ energia elektryczna jako najbardziej „wygodna” forma energii wytwarzana jest w sposób bezpośredni (efekt fotowoltaiczny),
- ✧ pracy zainstalowanych modułów fotowoltaicznych nie towarzyszy emisja żadnego rodzaju zanieczyszczeń i hałasu,
- ✧ posiadają budowę modułową (istnieje możliwość dostosowania mocy elektrowni fotowoltaicznej do nowych potrzeb poprzez zwiększenie ilości zainstalowanych paneli),
- ✧ energia słoneczna jest dostępna wszędzie, w skali całego globu, w mniejszej lub większej ilości; systemy PV do zasilania urządzeń elektronicznych instaluje się nawet w okolicach podbiegunowych,
- ✧ w zasadzie są bezobsługowe, odpowiednio zaprojektowane nie wymagają konserwacji w ciągu długiego okresu użytkowania; mogą pracować bezawaryjnie przez 20—30 lat, a wielu producentów daje 25-letnią gwarancję na zachowanie parametrów sprawnościowych produkowanych przez siebie ogniw.

Naziemne zastosowania ogniw fotowoltaicznych można podzielić na trzy podstawowe obszary: mobilna elektronika powszechnego użytku, systemy autonomiczne i systemy dołączone do sieci elektroenergetycznej.

Autonomiczne systemy fotowoltaiczne o mocy od kilku W do kilku kW są używane na obszarach znacznie oddalonych od sieci elektroenergetycznej, tam gdzie konieczna jest generacja energii w sposób czysty, cichy i niezawodny, a podłączenie do sieci elektroenergetycznej jest zbyt kosztowne i/lub bardzo trudne do realizacji. Systemy autonomiczne muszą być wyposażone w odpowiedni system magazynowania energii wyprodukowanej w ciągu dnia. Profesjonalne autonomiczne systemy wykorzystywane są do zasilania automatycznych urządzeń, takich jak: oświetlenie i telefony awaryjne na autostradach, boje nawigacyjne, latarnie morskie, przekaźnikowe stacje telekomunikacyjne i stacje meteorologiczne. Wieloletnie doświadczenia potwierdziły, iż wolnostojące systemy fotowoltaiczne są niezawodne, opłacalne i nie wymagają obsługi.

Najszybciej rozwijającym się segmentem zastosowań fotowoltaiki są systemy podłączone do sieci elektroenergetycznej. Tego typu systemy podzielić można na duże systemowe instalacje o mocach od kilkudziesięciu kW do kilku MW oraz małe systemy o mocach kilku kW, instalowane na dachach prywatnych domów. Ze względu na wysoką cenę takich systemów w przeliczeniu na jednostkową moc, ich rozwój związany jest ściśle z programami wspomagającymi, wprowadzonymi w kilku państwach na świecie, z których najbardziej zaawansowane są programy „słonecznych dachów” w Stanach Zjednoczonych (milion słonecznych dachów), Niemczech (100 000 słonecznych dachów) i Japonii (70 000 słonecznych dachów).

Poza programami wspomagającymi, konieczne jest zapewnienie odbioru wyprodukowanej energii elektrycznej po preferencyjnej cenie, zapewniającej szybki zwrot nakładów inwestycyjnych. Dzięki wprowadzeniu specjalnych taryf odsprzedaży energii do sieci elektroenergetycznej (ang. *feed-in tariff*), opłacalne dla inwestorów stają się również większe instalacje PV. W chwili obecnej uruchomiono już kilka dużych systemów o mocach przekraczających 1 MWp, głównie w Niemczech i Stanach Zjednoczonych, ale również w Holandii, Hiszpanii i Włoszech.

Systemy PV mają również ogromny potencjał do zasilania urządzeń na obszarach nie podłączonych jeszcze do sieci elektroenergetycznej — głównie na terenie państw afrykańskich (ok. 1/3 ludności na świecie nie ma dostępu do prądu elektrycznego). Dziesiątki tysięcy gospodarstw domowych na całym świecie bazuje obecnie na systemach fotowoltaicznych, wykorzystując je do pokrycia większości lub całości swojego zapotrzebowania na energię elektryczną (Pietruszko 2000). Systemy PV instalowane są w szkołach i szpitalach, w ramach programów pomocy krajom Trzeciego Świata.

Ciągłe doskonalenie technologii produkcji krzemowych płytek, głównego komponentu większości systemów, ma bezpośredni wpływ na zmniejszanie kosztów produkcji systemów fotowoltaicznych i poprawianie ich parametrów sprawnościowych. Większe środki przeznaczone na badania i rozwój (ang. *R&D Research and Development*) powodują przyspieszenie tempa rozwoju wielu odmiennych technologii wytwarzania ogniw fotowoltaicznych. Klasyczne krystaliczne ogniwa fotowoltaiczne, jako najbardziej dojrzała i rozpowszechniona technologia, wykazują najwyższe sprawności konwersji, ale okupione jest to najwyższymi kosztami zarówno energetycznymi, jak i finansowymi. Na skalę laboratoryjną sprawność krzemowych ogniw zbliża się już asymptotyczne do wartości wyznaczonej teoretycznie. Ogniwa produkowane na skalę masową mają sprawności około 14—18%.

W chwili obecnej przemysł PV oparty jest głównie na krzemie monokrystalicznym i polikrystalicznym (ponad 80% produkcji). Podstawowymi zaletami tej technologii są: możliwość wykorzystania doświadczeń z bardzo dobrze rozwiniętego przemysłu wytwarzania układów scalonych, relatywnie wysokie sprawności przetwarzania promieniowania słonecznego oraz bardzo dobra stabilność parametrów. Jednakże ogniwa takie są stosunkowo grube, więc do ich produkcji zużywane są duże ilości drogiego materiału, a proces technologiczny jest wysoce energochłonny. Znaczne obniżenie kosztów ogniw krystalicznych przyniesie zredukowanie grubości płytek krzemowych przez ograniczenie ilości zużywanego

materiału półprzewodnikowego. Duże nadzieje wiąże się z rozwojem następnej generacji ogniw PV, opartej na technologiach znanych szeroko jako technologie „cienkowarstwowe”. Dzięki stosowaniu bardzo cienkich warstw (w granicach pojedynczych mikrometrów) redukuje się masę drogiego materiału półprzewodnikowego, a możliwość montażu na tanich podłożach o dużej powierzchni powoduje znaczne obniżenie kosztów. Ogniwa cienkowarstwowe charakteryzują się mniejszą sprawnością od najlepszych ogniw z krzemu krystalicznego. W przyszłości jednak, wraz z rozwojem tej technologii, spodziewane jest zwiększenie ich sprawności, a produkcja na skalę masową spowoduje drastyczny spadek cen. Obecnie, najbardziej zaawansowane ogniwa cienkowarstwowe wykonane są z krzemu amorficznego (a-Si) i jego stopów (a-SiGe, a-SiC). Technologia pojedynczych, podwójnych i potrójnych ogniw jest dobrze rozwinięta i skomercjalizowana. Ogniwa potrójne osiągnęły w skali laboratoryjnej sprawność 13%. Technologia cienkich warstw na bazie krzemu amorficznego (a-Si) jest powszechnie stosowana już od wielu lat w produktach wymagających małej mocy zasilania (kalkulatory kieszonkowe, zegarki, radia, zabawki itp.). Coraz bardziej zaawansowane technologicznie stają się ogniwa cienkowarstwowe wykonane z innych związków półprzewodnikowych, takich jak: CdTe (tellurek kadmu), CIS (selenek indowo-miedziowy) i innych. Takie moduły produkowane są już komercyjnie, a ich udział w strukturze rynku PV ciągle wzrasta.

Obok technologii wykonania ogniw na bazie materiałów półprzewodnikowych, trwają prace nad zastosowaniem komponentów organicznych, takich jak polimery. Te technologie mają szansę w przyszłości nie tylko dorównać sprawnością klasycznym fotoogniom krzemowym, ale także być znacznie tańsze i mniej energochłonne od nich w produkcji.

Innym kierunkiem badań są ogniwa fotowoltaiczne wykonane w technologii QD (ang. *Quantum Dot*). Mają one szansę przełamać limit sprawności obliczony przez W. Shockley i H.J. Queisser, osiągając sprawności kwantowej konwersji energii dochodzące do 66%.

Ceny ogniw stanowią większość kosztów związanych z instalacją systemów PV. Na pozostałe koszty składają się dodatkowe elementy systemu BOS (ang. *Balance Of Systems*) tj.: elektronika sterująca, przewody elektryczne, fundamenty i mocowania, transport i instalacja. Wiele kosztów związanych z instalacją systemów PV można znacząco obniżyć, integrując je z konstrukcją budynku już w fazie projektowania — moduły fotowoltaiczne jako element poszycia dachowego, elementy elewacji budynku itp. Dla odbiorników przystosowanych do napięcia sieciowego i w systemach podłączonych do sieci konieczne staje się wykorzystanie falowników. Główną ich funkcją jest zamiana napięcia stałego na zmienne o określonych parametrach jakościowych (napięcie, częstotliwość, kształt przebiegu wyjściowej fali zmiennonapięciowej).

Systemy autonomiczne muszą być wyposażone dodatkowo w akumulatory energii elektrycznej. Najprostszym sposobem magazynowania energii produkowanej w małych systemach PV jest wykorzystanie akumulatorów ołowiowo-kwasowych podobnych do powszechnie stosowanych w samochodach, lecz charakteryzujących się dłuższą żywotnością (5—10 lat). Naładowany akumulator dostarcza energię elektryczną do obciążenia, gdy nie ma promieniowania słonecznego lub jest ono niewystarczające. System wolnostojący musi być

wyposażony również w kontroler ładowania baterii akumulatorów, ograniczający głębokość i szybkość rozładowania. Koszt wysokiej jakości akumulatorów jest znaczny. Stanowi on, poza samymi modułami, najdroższy komponent tego typu systemów.

Podstawowym celem badań i rozwoju fotowoltaiki jest uzyskanie energii elektrycznej w cenie porównywalnej z cenami energii uzyskanej z konwencjonalnych źródeł energii. Ponieważ fotowoltaika jest technologią czystą i wytwarzaniu energii elektrycznej nie towarzyszy emisja żadnych zanieczyszczeń, może ona stać się ekonomicznie atrakcyjna pod warunkiem włączenia w koszty produkcji energii z paliw kopalnych również kosztów zewnętrznych (ang. *External Costs*) — kosztów ochrony środowiska.

Jednak podobnie jak z wytworzeniem każdego produktu, również z wytworzeniem systemu fotowoltaicznego związana jest określona ilość energii potrzebna do wyprodukowania samych ogniw, modułów oraz komponentów dodatkowych. Większość energii wykorzystywanej w procesie produkcyjnym to energia elektryczna. W związku z istniejącą strukturą wytwarzania energii elektrycznej, która opiera się głównie o paliwa kopalne, z uruchomieniem instalacji PV powiązać można emisję określonej ilości dwutlenku węgla. Dopiero po kilku, kilkunastu latach (w zależności od lokalizacji systemu oraz struktury wytwarzania energii w kraju, w którym wyprodukowane zostały moduły) ogniwa wyprodukują ilość energii równą ilości energii potrzebnej do ich wytworzenia. Ten okres określić można mianem czasu zwrotu energetycznego. Czas ten ulega ciąglemu skracaniu, dzięki wprowadzaniu nowych, mniej energochłonnych technologii produkcji (głównie rozwój technologii cienkowarstwowych) oraz powolnej zmianie struktury wytwarzania energii na korzyść odnawialnych źródeł energii.

Szczególnym zainteresowaniem cieszy się rozwój rozproszonych systemów PV podłączonych do sieci. Są to głównie systemy instalowane przez prywatnych inwestorów w ramach określonych rządowych programów wspomagających. W okresie kiedy ilość produkowanej przez system energii jest niższa od zapotrzebowania, energię pobiera się z sieci, natomiast przez pozostały czas nadwyżka energii przekazywana jest do sieci elektroenergetycznej. Systemy te dołączane są do sieci poprzez specjalnie zaprojektowany falownik. W systemach tego typu nie wymagane są akumulatory, ponieważ ich funkcję przejmuje sieć elektroenergetyczna, która jest w stanie przyjąć energię wyprodukowaną przez system. Ich wydajność zależy więc od mocy promieniowania słonecznego. Spadek kosztów budowy systemów fotowoltaicznych może również oznaczać zwiększenie zainteresowania instalacją dużych elektrowni PV o mocach powyżej kilkuset kWp. Największy na świecie system podłączony został do sieci elektroenergetycznej w Hemau w Niemczech w kwietniu 2003 roku. Jego moc szczytowa wynosi 4 MWp. Ilość systemów o mocy przekraczającej 1 MWp na świecie osiągnęła liczbę 25 (tab. 1). Łączna moc pięciu największych systemów, zarówno w Niemczech jak i w Stanach Zjednoczonych, przekracza 10 MWp.

W dziedzinie fotowoltaiki Niemcy są państwem o największej zainstalowanej mocy w Europie. Na świecie tylko Stany Zjednoczone i Japonia przewyższają ten kraj pod względem całkowitej mocy zainstalowanych systemów fotowoltaicznych. Przykładowo, już w 1998 roku Japonia posiadała 133 MWp zainstalowanej mocy, a Stany Zjednoczone

TABELA.1. Zestawienie 25 największych instalacji fotowoltaicznych na świecie

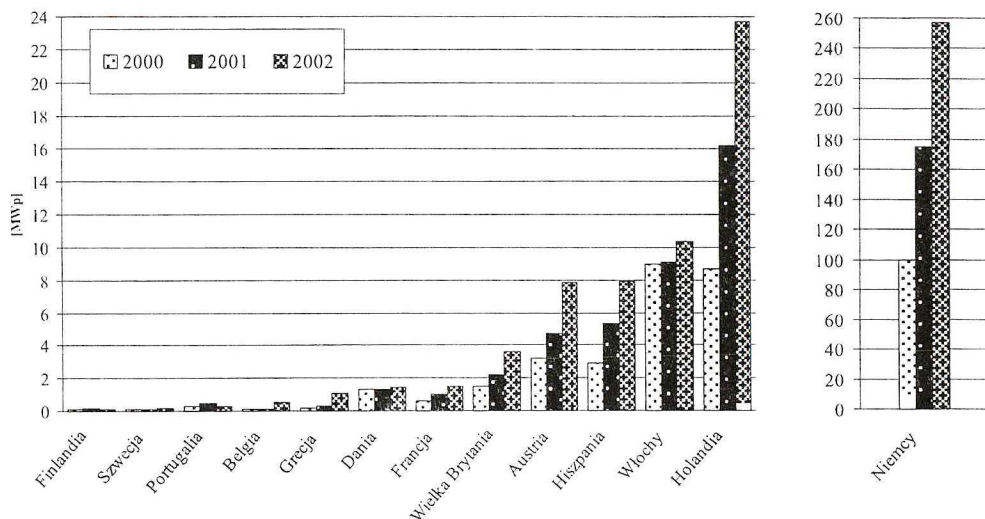
TABLE 1. 25 biggest photovoltaic power plants installed worldwide

| Moc<br>[MWp] | Lokalizacja                              | Wykonawca                         | Rok<br>uruchomienia |
|--------------|------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| 4            | Niemcy, Hema                             | SunTechnics Solartechnik GmbH     | 2003                |
| 3,9          | Stany Zjednoczone, Rancho Seco, CA       | Arco, Siemens Solar, UPG          | 1984—2000           |
| 3,78         | Stany Zjednoczone, Tucson, AZ            | GlobalSolar Inc.                  | 2001—2003           |
| 3,3          | Włochy, Serre                            | ENEL                              | 1995                |
| 2,3          | Holandia, Haarlemmermeer                 | Shell Solar                       | 2002                |
| 2,1          | Niemcy, Munich                           | Siemens Solar, Shell Solar,       | 1997—2002           |
| 2            | Stany Zjednoczone, Prescott, AZ          | APS                               | 2001—2003           |
| 2            | Niemcy, Neustadt                         | Pfalzsolar GmbH, RWE Schott Solar | 2003                |
| 1,75         | Niemcy, Passau                           | SunTechnics Solartechnik GmbH     | 2002                |
| 1,7          | Niemcy, Oberötzdorf-Untergriesbach       | SunTechnics Solartechnik GmbH     | 2003                |
| 1,6          | Niemcy, Marktstetten/Oberpfalz           | SunTechnics Solartechnik GmbH     | 2001                |
| 1,5          | Niemcy, Relzow                           | Ecotec Solar GmbH                 | 2001                |
| 1,4          | Niemcy, Saarbrücken                      | Voltwerk AG, City Solar AG        | 2004                |
| 1,3          | Stany Zjednoczone, Twenty-nine Palms, CA | BP SolarSeptember                 | 2003                |
| 1,18         | Hiszpania, Tudela                        | EHN                               | 2002                |
| 1,18         | Stany Zjednoczone, Santa Rita, CA        | PowerLight Corp.                  | 2002                |
| 1,1          | Niemcy, Meerane                          | EEProMarch                        | 2004                |
| 1,1          | Hiszpania, Toledo                        | BP Solar, Nukem GmbH              | 1994                |
| 1            | Niemcy, Fürth                            | GWU SolarDecember                 | 2003                |
| 1            | Stany Zjednoczone, Farmingdale, NY       | ShellSolarPowerLight Corp.        | 2002—2003           |
| 1            | Niemcy, Herne                            | Pilkington Solar                  | 1999                |
| 1            | Włochy, Vasto                            | ANIT                              | 1994                |
| 1            | Stany Zjednoczone, Davis, CA             | PVUSA                             | 1990                |
| 1            | Holandia, Amersfoort — Nieuwland         | Ecofys and ENEL                   | 1998—1999           |
| 1            | Stany Zjednoczone, San Diego, CA         | D&J Electric                      | 2002                |

Źródło: Lenardic 2004

100 MWp (Sprau 2000). W Niemczech rozwojowi fotowoltaiki patronują programy: 100 000 Słonecznych Dachów i ustawa o Priorytecie Wykorzystania Energii Odnawialnych (ang. *Priority of Renewable Energy — REL*). Wzrost mocy rocznie instalowanych systemów podłączonych do sieci elektroenergetycznej w Europie w latach 2000—2002 przedstawia rysunek. 1.

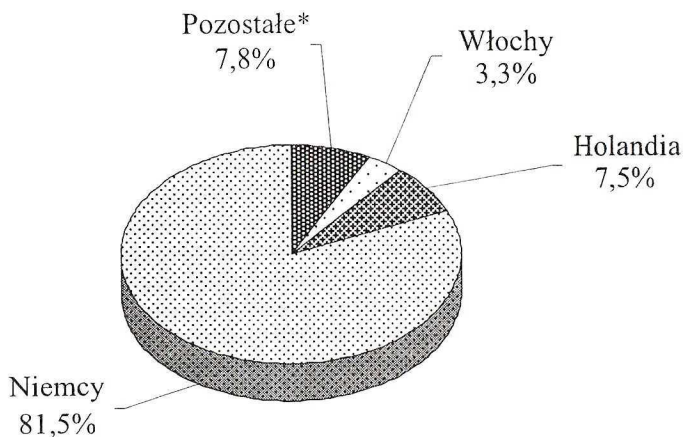
Moc systemów zainstalowanych w Niemczech jest ponad dziesięciokrotnie większa od następnego w kolejności państwa europejskiego — Holandii, która dysponuje mocą około



Rys. 1. Moc systemów dołączonych do sieci w wybranych krajach europejskich i w Niemczech, zainstalowanych w latach 2000—2002  
Źródło: Jäger-Waldau 2003

Fig. 1. Total power of grid connected photovoltaic systems in European Countries and in Germany installed annually from year 2000 to year 2002

24 MWp. Na rysunku 2 przedstawiono procentowy udział Niemiec w strukturze mocy PV zainstalowanej w Europie.



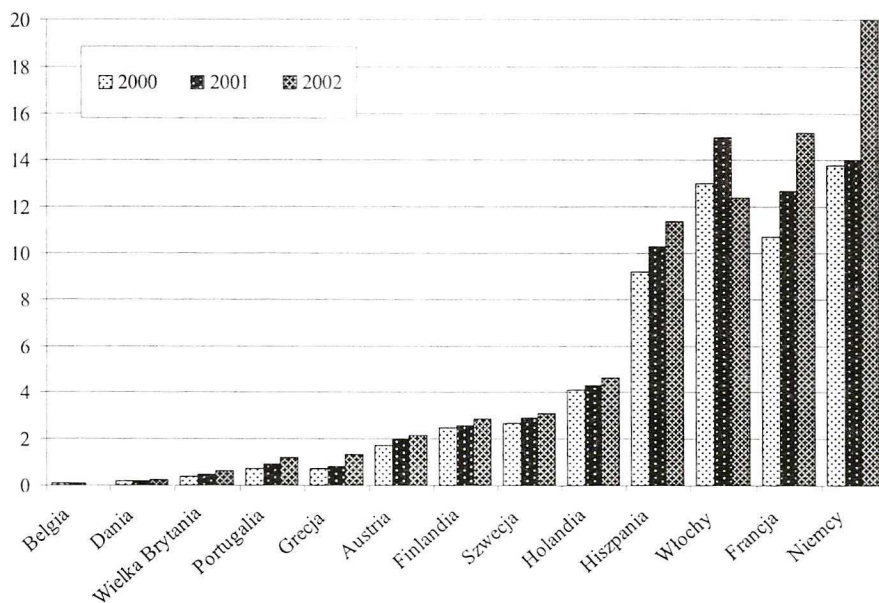
Rys. 2. Struktura mocy systemów PV podłączonych do sieci zainstalowanych w Europie do roku 2003  
Źródło: Jäger-Waldau 2003

\*Belgia, Portugalia, Dania, Grecja, Finlandia, Szwecja, Wielka Brytania, Austria, Francja, Hiszpania

Fig. 2 Selected European countries' shares in total power of installed grid connected photovoltaic systems in Europe

Niemcy przekroczyły moc 100 MWp pod koniec 2000 roku, a w roku 2004 łączna moc zainstalowanych systemów fotowoltaicznych ma przekroczyć 350 MWp (Sprau 2002).

Mniejszą mocą charakteryzują się systemy PV nie podłączone do sieci. Wzrost mocy instalowanych w Europie systemów autonomicznych przedstawiono na rysunku 3.



Rys 3. Moc systemów autonomicznych w wybranych krajach europejskich w latach 2000–2002  
Źródło: Jäger-Waldau 2003

Fig. 3. Total power of stand alone photovoltaic systems in European countries installed annually from year 2000 to year 2002

Również w dziedzinie systemów autonomicznych Niemcy posiadają największą zainstalowaną moc, ale przewaga nie jest już tak wyraźna jak w przypadku systemów zintegrowanych z siecią. Zaledwie cztery kraje europejskie: Hiszpania, Włochy, Francja i Niemcy, posiadają ponad 10 MWp zainstalowanej mocy fotowoltaicznej.

Wolnostojące systemy profesjonalne mają zwykle niskie wydajności, ponieważ pracują prawie przy stałym obciążeniu przez cały rok i powierzchnia paneli musi być wystarczająco duża, aby zapewnić dostateczną ilość energii w zimie, co powoduje, że część energii elektrycznej produkowanej w lecie jest bezużyteczna. Typowe profesjonalne systemy w Europie mają roczne współczynniki sprawności od 20 do 30% (odpowiednik przeciętnych wydajności rzędu 200–550 kW·h/kWp/rok) (Pietruszko 2000).

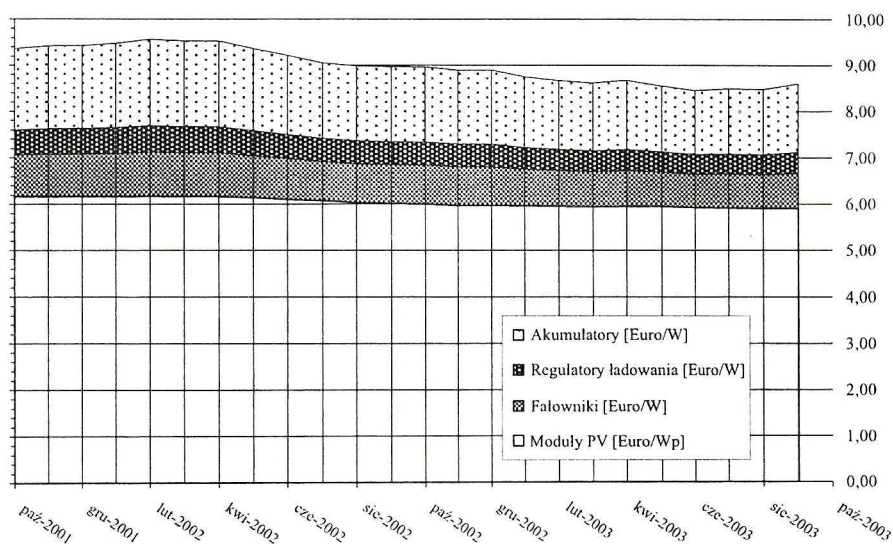
Innym rodzajem systemów są systemy hybrydowe, które stanowią kombinację systemu PV i innego systemu wytwarzania energii, takiego jak np. generator spalinowy, gazowy lub wiatrowy. Dzięki wykorzystaniu dodatkowego źródła energii panel PV w systemie hybrydowym może być mniejszy niż w systemie wolnostojącym. Dlatego w niektórych przypadkach system hybrydowy może być tańszy od analogicznego systemu PV.

# 1. Ceny systemów fotowoltaicznych

Ogniwa PV są jednym z droższych źródeł energii odnawialnej. Jest to wynikiem ograniczonej sprawności konwersji energii, wysokiego kosztu samych modułów oraz niskiej ceny skupu energii z odnawialnych źródeł energii przez zakłady energetyczne w wielu krajach.

W celu określania dynamiki zmian cen na rynku systemów fotowoltaicznych wprowadzono indeks cen poszczególnych komponentów składowych systemów fotowoltaicznych: modułów, falowników, regulatorów ładowania i akumulatorów. Indeks ten jest odzwierciedleniem sytuacji na rynku detalicznym modułów w wielu krajach, głównie w: Stanach Zjednoczonych, Niemczech, Wielkiej Brytanii, a także Brazylii, Meksyku, Australii, Francji, Szwajcarii, Grecji, Korei i Kanadzie. Przeliczniki pomiędzy walutami tych krajów a USD i Euro dokonywane są w dniu kalkulacji indeksu w odstępach miesięcznych. Przegląd obejmuje ceny kilkuset typów modułów o mocach od 3 do 200 Wp.

W przypadku niektórych modułów ceny spadają nawet do 3,38 USD/Wp za ogniwa cienkowarstwowe i 3,12 USD/Wp za krystaliczne. Podatek od sprzedaży, w zależności od kraju, waha się w granicach od 8 do 20%. Indeks cen dobrze odzwierciedla tendencję na rynku (rys. 4).



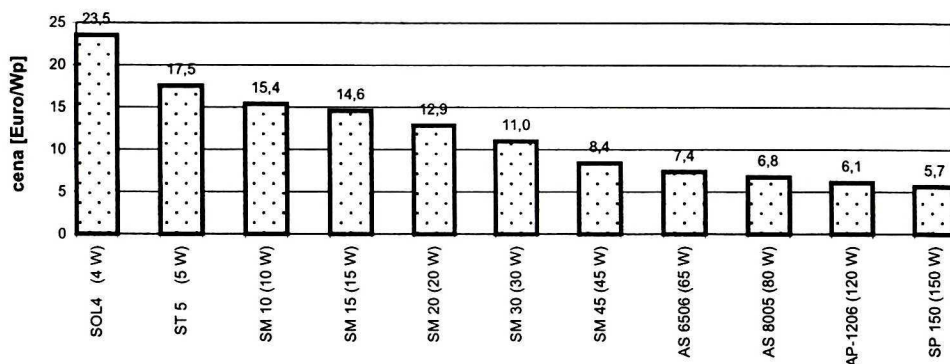
Rys. 4. Zmiany indeksu cenowego modułów fotowoltaicznych, falowników, regulatorów ładowania i akumulatorów w Europie w okresie październik 2001—październik 2003

Źródło: Solar Module Price Highlights © 2003 Solarbuzz, Inc.

Fig. 4. Price index changes of photovoltaic modules, inverters, charging controllers and batteries in Europe in period from October 2001 to October 2003

Można zauważyć, że ceny poszczególnych komponentów systemu spadły bardzo nieznacznie w okresie dwu lat. Najmniejszy spadek odnotowano dla modułów fotowoltaicznych — około 4,5%. Większy spadek cen nastąpił dla pozostałych komponentów systemu, odpowiednio około 17% dla falowników, 19% dla akumulatorów i kontrolerów ładowania.

W Polsce, z powodu niewielkiego zainteresowania fotowoltaiką, cena wyrażona w Euro/Wp jest wyższa od cen w krajach europejskich. Prywatne firmy importujące ogniwa do sprzedaży detalicznej oferują ogniwa w cenach od 5,5 Euro/Wp do około 20 Euro/Wp, w zależności od mocy modułów. Przykładowe zestawienie cen z października 2003 przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Zestawienie cen modułów o różnej mocy dostępnych na polskim rynku  
Źródło: opracowane na podstawie cen prywatnych dystrybutorów modułów PV

Fig. 5. Different sizes photovoltaic modules' prices in Poland

## 2. Perspektywy rozwoju i wykorzystania energii z systemów PV

Kraje europejskie, Japonia i USA, jak również duże firmy przemysłowe inwestują w badania i rozwój oraz programy demonstracyjne. Sukces pilotażowych programów „tysiący dachów” w kilku krajach europejskich spowodował rozszerzenie inicjatywy na kolejne przedsięwzięcia — „milion słonecznych dachów” w USA, „100 000 słonecznych dachów” w Niemczech i „70 000 słonecznych dachów” w Japonii. Opublikowana przez Komisję Europejską Biała Księga „Energia dla przyszłości: odnawialne źródła energii” przewiduje wyprodukowanie 1 miliona systemów fotowoltaicznych do roku 2010, z czego połowa ma być zainstalowana w krajach Unii Europejskiej. Według tego opracowania fotowoltaika będzie najbardziej dynamicznie rozwijającą się dziedziną odnawialnych źródeł energii. Raport Komisji Europejskiej „Photovoltaics 2010 — PV 2010” przewiduje, że w roku 2010 głównym zastosowaniem fotowoltaiki będą systemy domowe małej skali podłączone do sieci oraz telekomunikacja. Raport przygotowany przez Europejskie Stowarzyszenie Przemysłu Fotowoltaicznego (EPIA — *European Photovoltaic Industry Association*), uważany przez analityków zajmujących się rozwojem fotowoltaiki za ramowe wytyczne dotyczące rozwoju tego sektora, przewiduje dynamiczny wzrost udziału energii solarnej w strukturze energii elektrycznej. Optymistyczne prognozy na następne dekady przewidują roczną produkcję energii elektrycznej na poziomie 276 TW·h w roku 2020 i ponad 9 PW·h w roku 2040. Wraz

ze wzrostem ilości produkowanej energii zwiększy się znacząco również ilość nowych miejsc pracy związanych z produkcją, instalacją i utrzymaniem systemów PV, do ilości 2,3 miliona w roku 2020. Zestawienie wybranych prognozowanych danych statystycznych zaprezentowano w tabeli 2.

TABELA 2. Prognozy rozwoju sektora fotowoltaicznego na świecie do roku 2020 i 2040

TABLE 2. Forecasts of photovoltaic industry development till year 2020 and 2040

| Prognoza na rok 2020                                    |                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Światowa produkcja energii elektrycznej z systemów PV   | 276 TW·h rocznie                                                                                        |
|                                                         | 30% całkowitego zapotrzebowania w Afryce                                                                |
|                                                         | 10% całkowitego zapotrzebowania w krajach OECD w Europie                                                |
|                                                         | 1% całkowitej produkcji energii elektrycznej na świecie                                                 |
| Całkowita moc zainstalowanych systemów PV               | 207 GWp                                                                                                 |
| Użytkownicy podłączeni do sieci na świecie              | 82 milionów                                                                                             |
| Użytkownicy podłączeni do sieci w Europie               | 35 milionów                                                                                             |
| Użytkownicy systemów autonomicznych na świecie          | 1 miliard                                                                                               |
| Potencjalna ilość miejsc pracy na świecie (pełne etaty) | 2,3 miliona                                                                                             |
| Wartość inwestycji fotowoltaicznych rocznie             | 75 miliardów dolarów                                                                                    |
| Koszt modułów fotowoltaicznych                          | USD/Wp                                                                                                  |
| Sumaryczna redukcja emisji CO <sub>2</sub> rocznie      | 664 milionów ton                                                                                        |
| Prognoza na rok 2040                                    |                                                                                                         |
| Światowa produkcja energii elektrycznej z systemów PV   | 9 113 TW·h                                                                                              |
|                                                         | 26% całkowitego światowego zapotrzebowania na energię elektryczną na świecie                            |
|                                                         | więcej niż łączne zapotrzebowanie na energię w krajach OECD w Europie i w Ameryce Północnej w 1998 roku |

Źródło: EPIA 2004

### 3. Możliwości rozwoju fotowoltaiki w Polsce

„Zasoby słoneczne” Polski kształtują się na poziomie 1000 kW·h/m<sup>2</sup>. Jest to zatem wielkość porównywalna z takimi krajami, jak Wielka Brytania, Belgia, Holandia, Dania, Niemcy, Szwajcaria. Mimo stosunkowo długiego okresu jesienno-zimowego i częstych zachmurzeń, roczne zasoby energii słonecznej w Polsce na jednostkę powierzchni są tylko o około 50% mniejsze niż w takich krajach europejskich, jak: Włochy, Grecja, Turcja, Francja, Hiszpania czy Portugalia i około dwukrotnie mniejsze niż w krajach afrykańskich, takich jak Senegal, Izrael, Egipt, Etiopia.

Jak dotąd, udział wykorzystania energii słonecznej wyprodukowanej w systemach fotowoltaicznych w całkowitym zużyciu energii elektrycznej w Polsce jest zanedbywalnie mały. Rynek energii słonecznej w Polsce znajduje się w początkowym stadium rozwoju.

Systemy PV w naszym kraju, w chwili obecnej funkcjonują jako rozwiązania mające charakter dydaktyczno-demonstracyjny, a także jako źródło zasilania np. stacji monitoringu, różnego typu sygnalizacji itp.

Pierwsi dostawcy są gotowi do otwarcia rynku. Są oni w stanie dostarczyć kompletne systemy dla klientów zainteresowanych energią słoneczną. Tak zwany „zielonoenergetyczny” dekret Ministra Gospodarki został opublikowany celem rozwoju rynku energii odnawialnych. Dystrybutorzy energii są zobowiązani do nabywania od 2,4% w roku 2001 do 7,5% w roku 2010 tzw. „zielonej energii” i sprzedaży jej w swojej ofercie klientom. Termin „zielona energia” odnosi się do energii pozyskiwanej ze źródeł wodnych, wiatrowych, biogazu, biomasy, energii geotermalnej, fotowoltaicznej i słonecznej.

O powodzeniu niemieckiego programu rozwoju fotowoltaiki decyduje wsparcie finansowe ze strony państwa i władz lokalnych. Gwałtowny rozwój energetyki fotowoltaicznej w Niemczech stał się możliwy dzięki rządowym programom — wprowadzeniu podwójnego schematu wspomagania inwestycji, opierającego się na wysokiej gwarantowanej taryfie skupu energii pochodzącej z siłowni fotowolticznych oraz systemie kredytów na inwestycję. Te inicjatywy doprowadziły do zainteresowania się fotowoltaiką prywatnych inwestorów. Połączenie programu „100 000 słonecznych dachów” i Prawa o Energiach Odnawialnych okazało się dużym sukcesem i doprowadzało do znaczącego wzrostu nie tylko ilości instalowanych systemów PV, ale również stworzenia wielu nowych miejsc pracy, zarówno przy produkcji ogniw, jak i w całym sektorze fotowoltaicznym (projektowanie systemów, instalacja itd.).

Również w Polsce rozwój fotowoltaiki będzie możliwy tylko po wprowadzeniu odpowiednich rozwiązań systemowych. Fotowoltaika jest wciąż bardzo kosztowna i bez odpowiedniego dofinansowania, zainteresowanie ze strony prywatnych inwestorów będzie nadal znikome.

Na przykładzie Niemiec można zaobserwować bezpośredni związek między ilością instalowanych systemów a wielkością środków pomocowych ze strony władz, zarówno lokalnych, jak i państwowych. Oczywiście w Polsce, ze względu na brak środków finansowych, jeszcze bardzo długo nie będzie możliwe wprowadzenie tak wielkiego programu jak w Niemczech. Jednak biorąc pod uwagę historię rozwoju fotowoltaiki w Niemczech, można zauważyć, że program „słonecznych dachów” wdrażany był stopniowo. Początkowo, w latach 1991—1994, rząd niemiecki rozpoczął wdrażanie programu „1000 słonecznych dachów”, który doprowadził do powstania pierwszych systemów połączonych z siecią elektroenergetyczną oraz zwiększenia wielkości produkcji i uruchomienia rynku fotowoltaicznego.

Chociaż możliwości rozwoju rynku fotowoltaicznego w Polsce są ograniczone, to jednak celowe jest zwrócenie uwagi na możliwości wykorzystania energii słonecznej w aspekcie bezpośrednich korzyści dla państwa. Są to korzyści ekologiczne, ekonomiczne i społeczne. Polska zobowiązana jest do ograniczania emisji CO<sub>2</sub> do atmosfery, więc zwiększanie udziału

energii odnawialnych w strukturze energii pierwotnej (elektroenergetyka opiera się na węglu) bezpośrednio przyczyni się do obniżenia emisji.

Kolejnym aspektem rozwoju rynku PV jest tworzenie nowych miejsc pracy. Jest to szczególnie ważne w chwili obecnej, kiedy stopa bezrobocia w Polsce jest bardzo wysoka. Na przykładzie Niemiec można zauważyć, jak szybko w ostatnich latach wzrosła liczba miejsc pracy w sektorze fotowoltaicznym.

Korzystną cechą charakteryzującą systemy PV jest ich długi czas bezobsługowej pracy. Wielu producentów modułów daje wieloletnią (20—30 lat) gwarancję na swoje produkty. Umożliwia to ciągły wzrost całkowitej mocy poprzez instalowanie kolejnych systemów PV. Mimo iż fotowoltaika jeszcze bardzo długo nie będzie stanowiła żadnej konkurencji dla energetyki opartej na surowcach kopalnych, to jej udział powinien sukcesywnie wzrastać, doprowadzając w przyszłości do zmiany struktury produkcji energii oraz czyniąc energetykę przyjazną dla człowieka i środowiska naturalnego.

## Literatura

- PIETRUSZKO S.M., 2000 — Ogniwa i systemy fotowoltaiczne. Fotowoltaika Polska PVPL.
- SPRAU H.P., WEIB I., 2002 — „100.000 roofs and 99 Pfennig – Germany’s PV financing schemes and the market”. *Renewable Energy World*, January-February.
- JÄGER-WALDAU A., 2003 — PV Status Report 2003: Research, solar cell production and market implementation in Japan, USA and the European Union (EUR 20850EN). European Joint Research Centre.
- Solar Module Price Highlights © Solarbuzz, Inc. 2003 <http://www.solarbuzz.com/>
- LENARDIC D., 2004 — Top 50 photovoltaic power plants, [www.pvresources.com](http://www.pvresources.com).
- Solar Generation, Solar electricity for over 1 billion people and 2 million jobs by 2020. European Photovoltaic Industry Association, EPIA 2004.

Artur SKOCZEK

## Prospects of the utilization increase of electric energy from photovoltaic systems

### Abstract

In this paper current status of the photovoltaic modules market is presented. Regarding high modules prices, development of this technology of electricity production is closely related to governments’

policy of renewable energy sources support, introduced in few countries so far. This policy is based on low interest loans offered to investors and feed-in tariff applied to electricity produced by the photovoltaic systems. Also in Poland development of the photovoltaic market is possible only by introducing suitable system's solutions, without which this source of electric energy will be seen as uneconomic with no chances to become widespread.

**KEY WORDS:** renewable energy, photovoltaics, photovoltaic modules