

Weronika Kruszelnicka

Natalia Kozłowska

Dr inż. Adam Mroziński

Wydział Inżynierii Mechanicznej

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. J. i J. Śniadeckich w Bydgoszczy

**ANALIZA EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ I EKONOMICZNEJ PODGRZEWANIA WODY  
UŻYTKOWEJ PRZEZ INSTALACJĘ ZASILANĄ MODUŁAMI FOTOWOLTAICZNYMI****STRESZCZENIE**

*W referacie przedstawiono zagadnienie wykorzystania w Polsce i w Europie instalacji fotowoltaicznych (PV). Systemy PV będą miały w niedalekiej przyszłości znaczny udział w globalnej produkcji energii elektrycznej. Będzie to istotnie wpływało na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych oraz na poprawę stanu środowiska naturalnego. W pracy przedstawiono budowę i wyniki badań realizowanych na laboratoryjnej instalacji PV, zlokalizowanej w Laboratorium Inżynierii OZE Wydziału Inżynierii Mechanicznej UTP w Bydgoszczy wykorzystywanej do podgrzewania wody użytkowej.*

**Słowa kluczowe:** odnawialne źródła energii, efektywność, fotowoltaika

**ANALYSIS OF ENERGY AND ECONOMIC EFFICIENCY OF WATER HEATING SYSTEM POWERED BY  
PHOTOVOLTAIC MODULE****SUMMARY**

*This paper presents the problem of the use of the Polish and European photovoltaic systems (PV). PV systems will be in the near future, a significant share of global electricity production. This will be a significant effect on the reduction of greenhouse gas emissions and to improve the environment. The paper presents the design and the results of laboratory tests performed on PV installations, located in the Engineering Laboratory Department of Mechanical Engineering RES UTP in Bydgoszcz used to heat water.*

**Keywords:** renewable energy, efficiency, photovoltaic

**1. WPROWADZENIE**

Współcześnie coraz więcej uwagi poświęca się pozyskiwaniu energii ze źródeł innych niż konwencjonalne: węgiel kamienny i brunatny, ropa naftowa oraz gaz ziemny. W centrum uwagi znajdują się więc źródła o ogromnym potencjale, których zasoby nie ulegają wyczerpaniu i dostępne są w każdym miejscu na kuli ziemskiej: słońce, wiatr, energia geotermalna oraz energia pływów morskich.

W Polsce można zauważyć zwiększające się zainteresowanie odnawialnymi źródłami energii. Biorąc pod uwagę względy ekonomiczne, energetyczne oraz ekologiczne, wykorzystywanie instalacji nie opartych na tradycyjnych źródłach (j.w.) jest naturalne i coraz częściej stosowane [1].

Wprowadzony przez Unię Europejską pakiet 3x20 zakłada, że do 2020 r. nastąpi redukcja emisji gazów cieplarnianych o 20% przy jednoczesnym wzroście efektywności energetycznej o 20% oraz udziale odnawialnych źródeł energii (OZE) w ogólnej produkcji energii na poziomie 20%.- dla Polski udział OZE powinien wynosić 15%. W sytuacji zmieniającego się klimatu, ale także globalnej konkurencji ekonomicznej czy konfliktów na tle surowcowym, warto przyrzeć się dokładniej przyjętym założeniom [2].

Bardzo wiele uwagi poświęca się instalacjom wykorzystującym energię promieniowania słonecznego ze względu na jej globalną dostępność i ogromny potencjał energetyczny. Szacuje się, że energia promieniowania słonecznego przechodząca przez atmosferę i docierająca do powierzchni lądów wynosi ok.  $27 \cdot 10^9$  MW [1]. Energia słoneczna przetwarzana jest na dwa rodzaje energii: energię elektryczną oraz energię ciepłą. Energię ciepłą wykorzystuje się najczęściej do podgrzewania ciepłej wody za pomocą kolektorów solarnych. Spadek cen systemów fotowoltaicznych w perspektywie kilku lat może spowodować, że koszt pozyskania energii ciepłej z instalacji fotowoltaicznej może być porównywalny z kosztami instalacji kolektorów fototermicznych. W takiej sytuacji w wielu wypadkach skończy się zasadność montażu kolektorów skoro systemy fotowoltaiczne produkują bardziej użyteczny rodzaj energii, jaką jest prąd i realizują podgrzewanie wody w porównywalnej cenie. Już obecnie w okresie letnim w Polsce system fotowoltaiczny połączony z grzałką elektryczną wpiętą w zasobnik może konkurować cenowo z droższymi instalacjami opartymi o kolektory próżniowe rurowe. Szczególnie celowe wydaje się stosowanie tego typu rozwiązań w układach wydzielonych (turystyka, agroturystyka itp.) [13].

**2. ZJAWISKO FOTOELEKTRYCZNE**

Moduły fotowoltaiczne do konwersji promieniowania słonecznego na energię elektryczną wykorzystują występowanie efektu fotoelektrycznego. Mianem zjawiska fotoelektrycznego nazywa się właśnie przemianę energii promieniowania

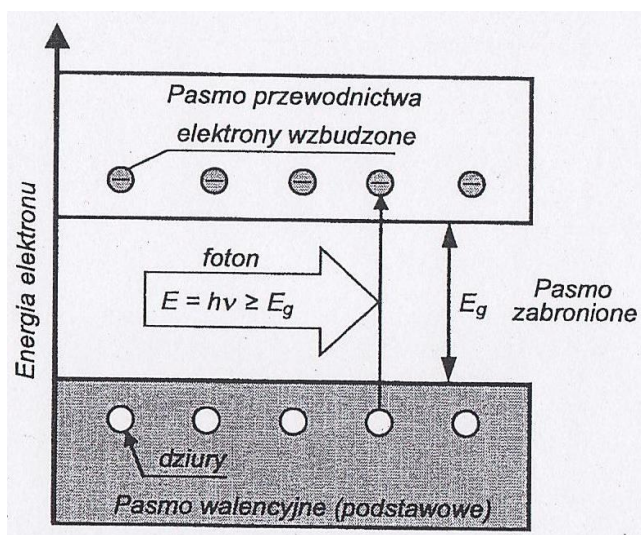
słonecznego bezpośrednio na energię elektryczną. Do tego celu konieczne jest zastosowanie odpowiednich przetworników, w tym wypadku fotoogniw-najczęściej krzemowych [4].

Promieniowanie słoneczne traktuje się jako fale lub kwanty energii. Każdy z kwantów obdarzony jest porcją energii o wartości [10]:

$$E = hf = \frac{ch}{\lambda} \quad [\text{J}] \quad (1)$$

gdzie:

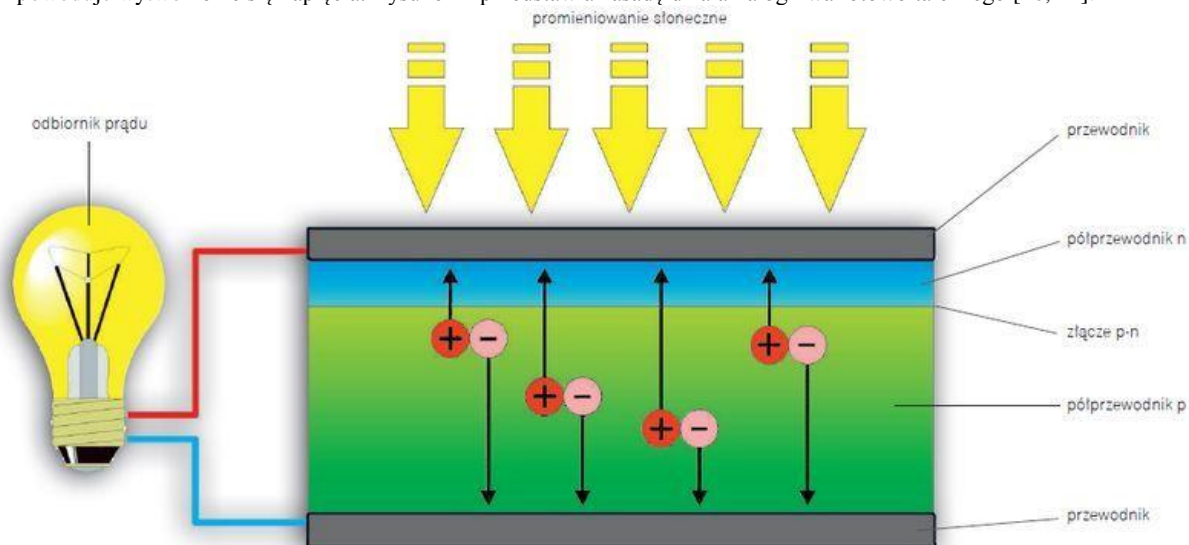
- h - stała Plancka w J·s,
- f - częstotliwość promieniowania w Hz,
- $\lambda$  - długość fali promieniowania w m,
- c - prędkość światła w próżni w m/s.



Rys. 1. Model energetyczny pasmowy półprzewodnika krzemowego [11]

Zgodnie z teorią o kwantowej naturze promieniowania fotony niosące porcję energii zderzając się z elektronami w fotoogniwach przekazują im całą swoją energię. Jeżeli dostarczona energia przewyższa wartość minimalnej energii  $E_g$  potrzebnej do przejścia elektronu na wyższy poziom energetyczny to fotoogniwo zaczyna przewodzić prąd. Na rysunku 1. przedstawiono model energetyczny półprzewodnika [10, 11].

Ogniwo słoneczne składa się ze złącza p-n, dwóch półprzewodników: typu p i typu n oraz elektrod (przewodników). W półprzewodnikach typu p występuje dziurowy typ przewodnictwa, natomiast w złączach typu n nośnikami energii są wolne elektrony. Najprościej ujmując padające promieniowanie słoneczne powoduje dostarczenie energii większej niż energia pasma przerwy zabronionej, przez co tworzą się pary elektron-dziura i warstwy przewodzące o różnym potencjale, co powoduje wytworzenie się napięcia. Rysunek 2 przedstawia zasadę działania ogniwa fotowoltaicznego [10, 11].

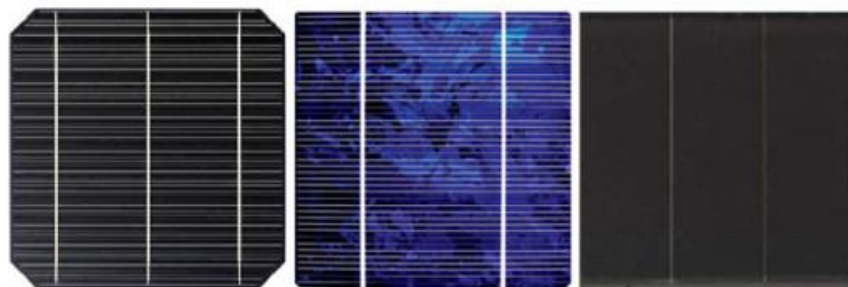


Rys. 2. Zasada działania ogniwa fotowoltaicznego [14].

### 3. BUDOWA MODUŁU FOTOWOLTAICZNEGO

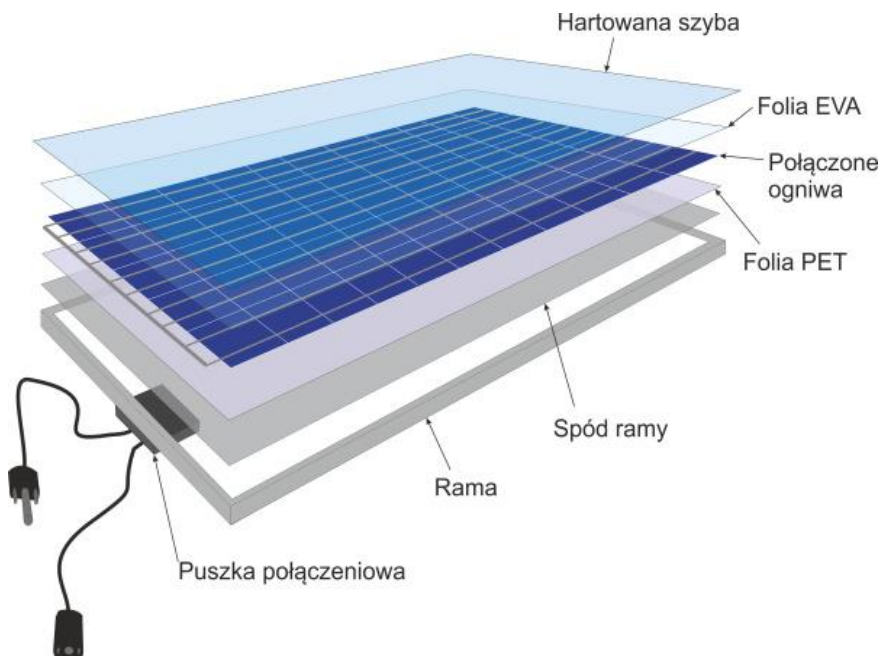
Do wytwarzania ogniw fotowoltaicznych najczęściej stosuje się krzem. W zależności od tego, w jakiej postaci pierwiastek ten jest wykorzystywany, wyróżniamy następujące rodzaje ogniw (Rys. 3) [7, 10, 11]:

- **Amorficzne.** Wykonuje się je z bezpostaciowego, niewykryształowanego krzemu. Są bardzo tanie, lecz charakteryzują się jednak niską sprawnością, bo zaledwie 6-10%. Moduły z nich tworzone mogą być zarówno elastyczne jak i transparentne, które mają częste zastosowanie jako elementy zintegrowane (daszki, balustrady budynków publicznych).
- **Polikrystaliczne.** Produkowane są z wykryształowanego krzemu, przez co charakteryzują się niebieskim odcieniem. Ich cena nie jest zbyt wysoka, a sprawność waha się w granicy 14-18%. Są one najczęściej stosowane w instalacjach domów jednorodzinnych. Wielu fachowców uznaje ten typ ogniw za najbardziej optymalne w naszym kraju.
- **Monokrystaliczne.** Powstają one z pojedynczego dużego kryształu krzemu, pociętego na cienkie płytki. Ogniwa te charakteryzują się stosunkowo wysoką sprawnością od 17 do 22% oraz długą żywotnością. Jednak ze względu na ich dobre warunki eksploatacyjne są dość drogie, czyli poniesione nakłady finansowe zwracają się dłużej niż w przypadku innych modułów przez co rzadziej stosowane są w instalacjach domów jednorodzinnych.

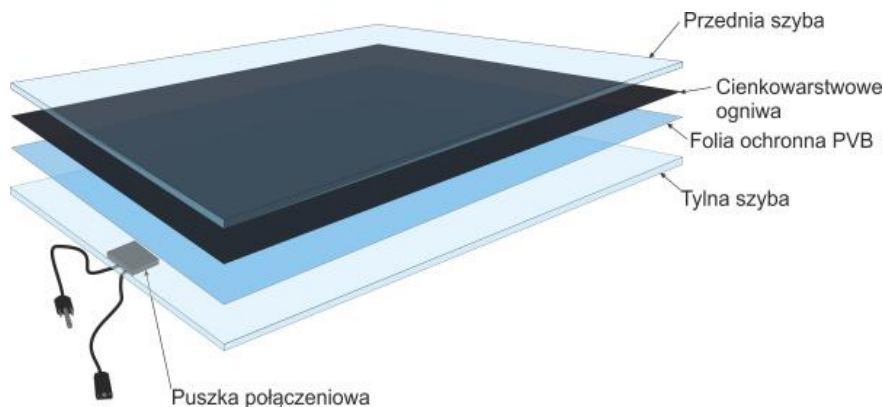


Rys. 3. Wygląd poszczególnych modułów: od lewej ogniwo krzemowe monokrystaliczne, polikrystaliczne, amorficzne [15]

Ze względu na technologię i budowę moduły fotowoltaiczne dzieli się na cienkowarstwowe (Rys. 5) i klasyczne z krzemu krystalicznego (Rys. 4).



Rys. 4. Budowa modułu fotowoltaicznego z krzemu krystalicznego [16]



Rys. 5. Budowa modułu fotowoltaicznego z cienkowarstwowego [16]

Standardowy moduł fotowoltaiczny składa się z szyby hartowanej o odpowiedniej odporności na uderzenia, specjalnej foli EVA będącej spoiwem do tworzenia laminatu ze szkłem, ogniw fotowoltaicznych, foli PET oraz ramy spajającej całość modułu [3].

Wybór odpowiednich materiałów (głównie wykorzystywanych półprzewodników) do budowy modułów ma znaczący wpływ na uzyskiwaną przez nie sprawność. Sprawność modułów fotowoltaicznych jest jednym z najważniejszych parametrów określających jakość ogniwa słonecznego i wyraża się wzorem [11]:

$$\eta = \frac{I \cdot U}{E \cdot S} \quad (2)$$

gdzie:

$I_m$  - natężenie maksymalne prądu przepływającego przez moduły [A],

$U_m$  - napięcie maksymalne na zaciskach modułów [V],

$E$  - natężenie promieniowania słonecznego [ $W/m^2$ ],

$S$  - powierzchnia modułów, na którą pada promieniowanie słoneczne [ $m^2$ ].

Można zatem powiedzieć, że zasadniczy wpływ na produkcję energii z modułów ma wartość natężenia promieniowania zależna od pory dnia i roku oraz szerokości geograficznej, jak również zainstalowana powierzchnia ogniw. Ponadto na sprawność konwersji promieniowania słonecznego wpływają: za wysoka lub za niska temperatura pracy ogniwa powodując obniżenie sprawności, starty na skutek odbicia promieniowania od powierzchni modułów, rekombinacja elektronów i dziur oraz konstrukcja ogniw – ich opór omowy, cienie od elektrod oraz grubość warstw zewnętrznych [3, 5].

#### 4. RYNEK INSTALACJI FOTOWOLTAICZNYCH

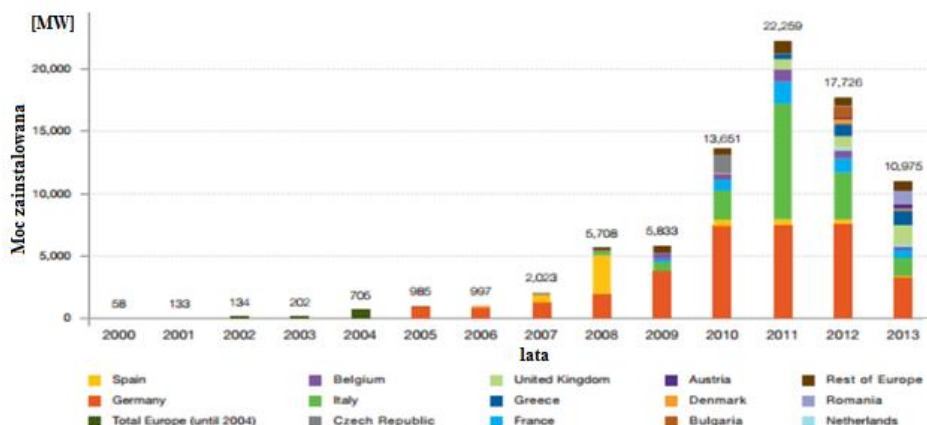
Według raportu EPIA, rok 2013 był dobrym rokiem dla ogólnoswiatowej branży fotowoltaicznej: globalny wzrost mocy w 2011 i 2012 roku wyniósł około 30 GW rocznie, ale już w 2013 roku było to 34,8 GW. Daje to łączną moc PV zainstalowaną na całym świecie na poziomie 138,9 GW. [8]

Większość mocy zainstalowanej na świecie stanowią moce z elektrowni słonecznych znajdujących się w Europie. Liderami w produkcji energii elektrycznej z PV są Niemcy, Włochy, Japonia i USA. W ostatnim czasie największy przyrost mocy zainstalowanych zaobserwowano w 2011 roku, w kolejnych latach wzrost ten nie był już tak duży (Rys. 6).

Zwiększenie mocy zainstalowanej w ostatnich latach spowodowane jest pojawieniem się systemów PV o zdecydowanie większej mocy oraz wyraźnym wzrostem opłacalności tego typu instalacji. W Europie do największych inwestycji w systemy PV można zaliczyć:

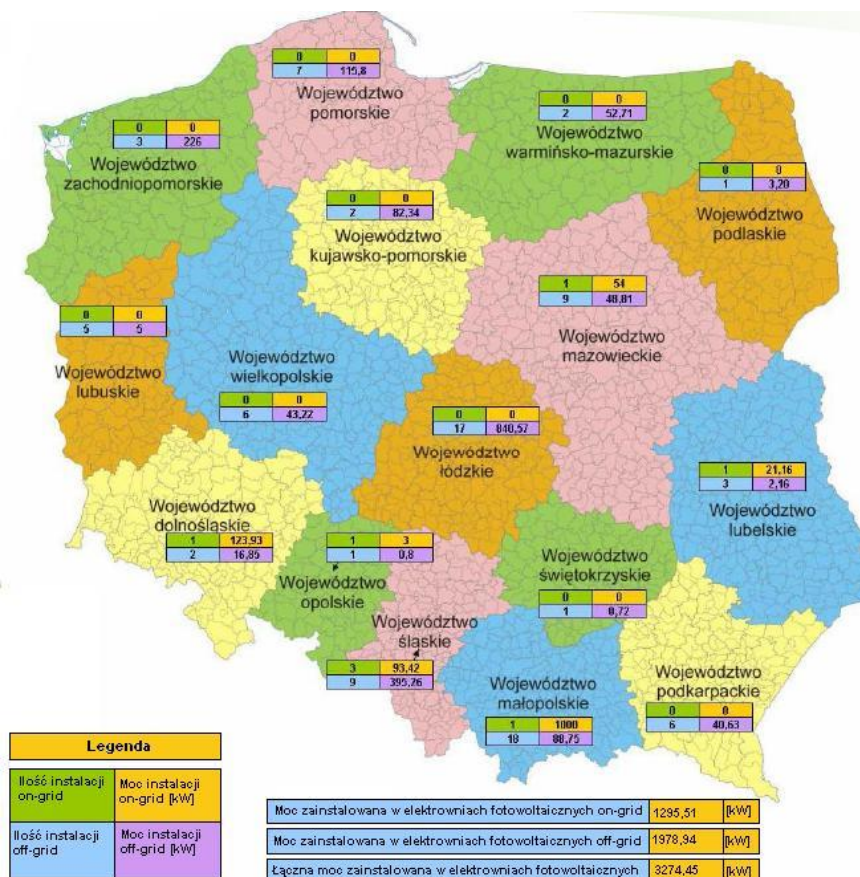
- 60-megawatową farmę słoneczną w Olmedilli w Hiszpanii, która powstała w 2008 r.
- dwie elektrownie niemieckie – w Strasskirchen (54 MWp) i Lieberose (53 MWp), oddane do użytku w 2009 r.
- 72-megawatową elektrownię w prowincji Rovigo (region Veneto) w północno-wschodnich Włoszech, oddaną do użytku w 2010 roku,
- największy - 11,8 MWp systemem PV montowany na dachu, w firmie General Motors na fabryce w Saragossie (Hiszpania) w 2008 r.

Pomimo trudności następuje również rozwój rynku systemów niepodłączonych do sieci – tzw. systemów off-grid. W tej dziedzinie systemy PV znajdują największe zastosowanie w obszarach takich jak: infrastruktura telekomunikacyjna, oświetlenie ulic, ładowarki telefoniczne, terminale przy autostradach, parkometry itp.



Rys. 6. Wzrost nowych mocy w PV w poszczególnych krajach UE w latach 2000-2013 (w MW). Źródło: EPIA

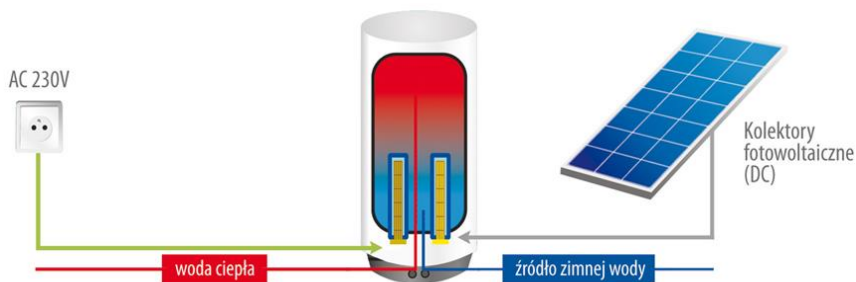
Przyrost instalacji fotowoltaicznych występuje również w Polsce, chociaż nie jest to wzrost tak imponujący jak w innych krajach europejskich. Obecnie zainstalowanej mocy w elektrowniach PV w Polsce posiadamy 2,3 MW<sub>p</sub>, z czego aż 1,35 MW<sub>p</sub> należy do największej w Polsce elektrowni fotowoltaicznej Wierchosłowice, a pozostała zainstalowana moc pochodzi z 9 innych przyłączonych do sieci elektrowni. Szacuje się również, że w naszym kraju moc zainstalowana w systemach typu off-grid mieści się w zakresie 2-2,5 MW<sub>p</sub>. Informacje na temat mocy i ilości instalacji PV w poszczególnych województwach prezentuje mapa (rys.7). Pomimo braku odpowiedniego systemu wsparcia, co skutecznie hamuje dynamizm rozwoju instalacji PV można zauważyć znaczny jego wzrost w ostatnich latach. Ważną informacją jest także to, że w 2007r. w Polsce istniało niewiele firm zajmujących się produkcją paneli fotowoltaicznych (zaledwie 4), a dwie firmy mogły zaoferować kompleksowy montaż instalacji. Natomiast już w 2012r. w branża rozrosła się do blisko 180 firm. Istnieje również wiele nowych inwestycji będących jeszcze w fazie projektu lub realizacji, z czego jeden z większych projektów zlokalizowany jest w Witnicy (woj. Lubuskie), ta inwestycja przewiduje zainstalowanie mocy 65MW<sub>p</sub> [9].



Rys. 7. Mapa ilości i mocy instalacji typu off-grid i on-grid w poszczególnych województwach [17]

## 5. OPIS BADANEJ INSTALACJI

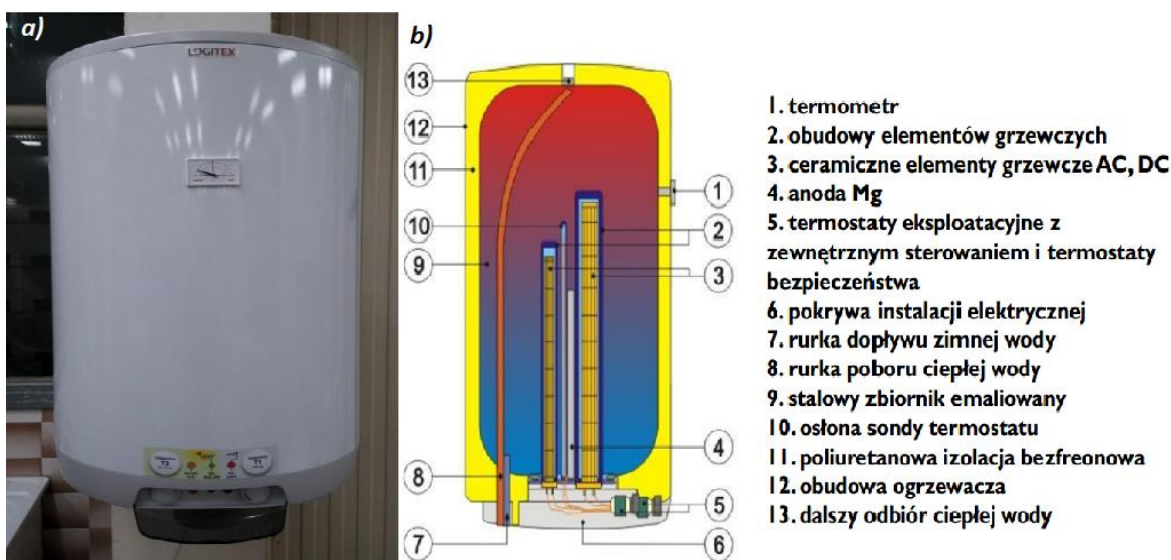
Przedmiotem badań jest instalacja do podgrzewania ciepłej wody użytkowej składająca się z elektrycznego podgrzewacza wody o pojemności 100 l oraz zasilających podgrzewacz modułów fotowoltaicznych o mocy 1 kW. Instalacja została wykonana w Laboratorium Odnawialnych Źródeł Energii na WIM UTP w Bydgoszczy. Zastosowany w instalacji laboratoryjnej podgrzewacz wody pracuje na zasadzie dwóch oddzielnych obwodów elektrycznych. Pierwszy z nich jest podłączony do energii elektrycznej z sieci (AC 230V), zaś drugi do ekologicznie czystej energii elektrycznej z modułów fotowoltaicznych o mocy 1 kW. Obydwa obwody mogą pracować jednocześnie lub każdy z nich oddzielnie. Ideę pracy tego podgrzewacza przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Idea działania podgrzewacza zastosowanego w instalacji laboratoryjnej

W modułach fotowoltaicznych następuje konwersja energii promieniowania słonecznego na energię elektryczną, która wykorzystywana jest do zasilania jednego z elementów grzewczych. Drugi z elementów grzewczych w zbiorniku wody połączono z siecią energetyczną. W zależności od potrzeb grzałki mogą pracować i ogrzewać wodę razem lub każda oddzielnie.

Podgrzewacz wody LX ACDC o pojemności 100 l wyposażony jest w elektryczną grzałkę oraz dwa termostaty pozwalające na sterowanie pracą podgrzewacza. Na rysunku 9, przedstawiono podgrzewacz wraz z elementami jego budowy.



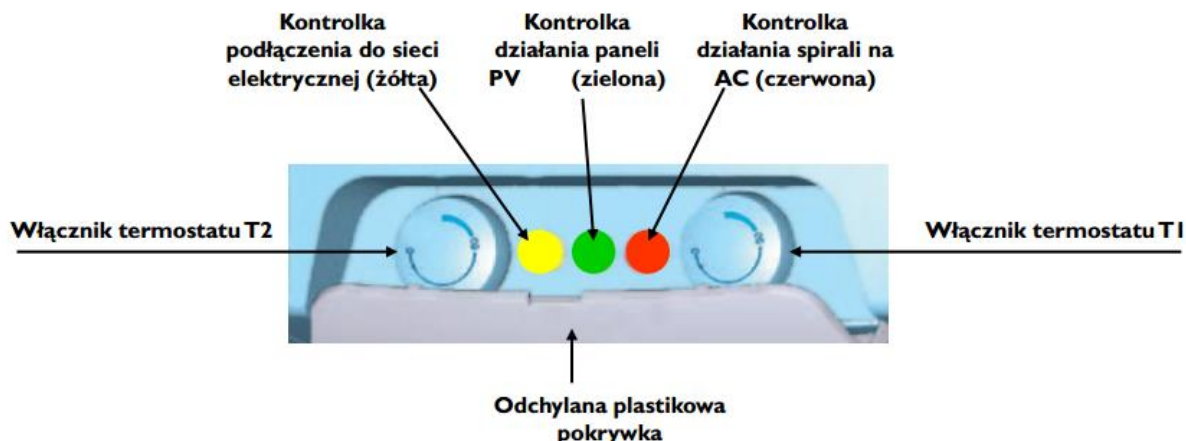
Rys. 9. Elektryczny podgrzewacz wody LX ACDC a) widok podgrzewacza w laboratorium, b) budowa podgrzewacza.

Poniżej przedstawiono parametry znamionowe zbiornika:

- pojemność: 100 l,
- straty ciepła: 0,88 kWh/24 h,
- masa: 44 kg,
- wymiary: średnica - 524 mm, wysokość - 956 mm
- maksymalny przyrost ciepła na godzinę przy wydajności kolektorów: 8,7°C.

Jak podano w katalogach producenta pojemność zbiornika wody powinna pokryć zapotrzebowanie na ciepłą wodę użytkową dla 3-osobowej rodziny. Ważny element w konstrukcji podgrzewacza stanowi umieszczony z przodu panel sterowania (Rys.10). Umożliwia on ustawienie dowolnej konfiguracji podgrzewu wody za pomocą włączników termostatów. Takie rozwiązanie pozwala na pracę urządzenia w trzech różnych wariantach: podgrzewanie wody wykorzystując tylko energię

elektryczną z PV, podgrzewanie wody energią elektryczną tylko z sieci oraz podgrzewanie wody wykorzystując zarówno energię z sieci jak i z modułów. O wybranym trybie pracy informują znajdujące się obok włączników kontrolki.



Rys. 10. Widok panelu sterowania pracą elektrycznego podgrzewacza wody.

Co istotne grzałka w podgrzewaczu zasilana z PV działa na prąd stały, co wyeliminowało konieczność zastosowania falownika do zamiany prądu stałego na prąd zmienny, a tym samym na zwiększenie sprawności całego systemu. Element grzewczy na prąd stały zasilany jest z 1 kW-owej instalacji modułów polikrystalicznych znajdującej się na dachu budynku Wydziału Inżynierii Mechanicznej UTP w Bydgoszczy, pochylonej pod kątem  $20^\circ$  (Rys. 11).



Rys. 11. Instalacja modułów polikrystalicznych na dachu WIM-UTP.

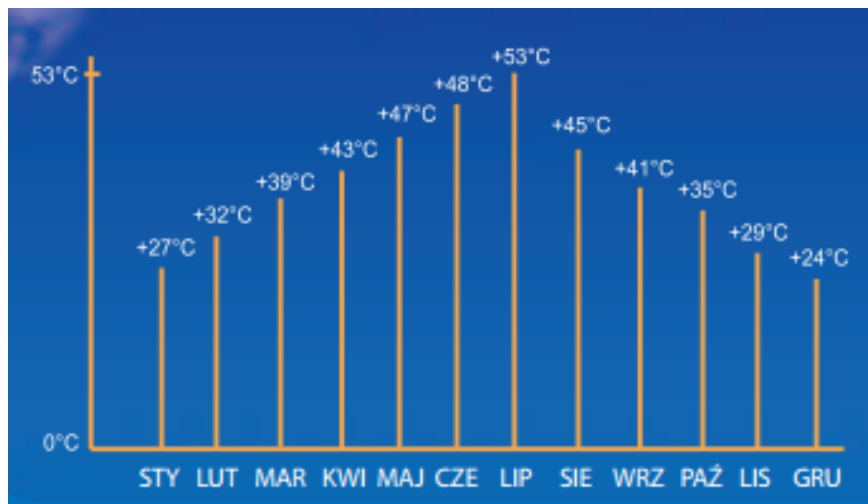
## 6. METODYKA BADAŃ

Podczas badań skupiono się głównie na analizie energetyczno-ekonomicznej stosowania elektrycznego podgrzewacza wody zasilanego z PV. Największe korzyści z takiego rozwiązania podgrzewu wody otrzymuje się latem ze względu na wysokie nasłonecznienie. Zimą uzysk słoneczny jest znacznie mniejszy i często mogą zdarzać się sytuacje, w których ilość energii wytworzonej z PV nie będzie wystarczająca, aby pokryć zapotrzebowanie grzałki. Do zalet badanej instalacji można zaliczyć wykorzystanie nadwyżki energii elektrycznej produkowanej latem do zasilania innych urządzeń, prostotę obsługi i montażu oraz możliwość zastosowania niemalże w dowolnym miejscu. Szczególnie korzystnym jest wykorzystywanie instalacji w domkach letniskowych, działkach, gdzie występuje sezonowe zapotrzebowanie na ciepłą wodę użytkową oraz utrudniony dostęp do sieci elektroenergetycznej [13]. W takim przypadku w okresie letnim z modułów PV zasilana byłaby nie tylko instalacja c.w.u., ale również urządzenia elektryczne w domu-uzyskano by darmową, ekologiczną energię elektryczną.

W badaniach przeprowadzonych na instalacji weryfikowano przede wszystkim:

- czas podgrzewu wody do  $60^\circ\text{C}$  w okresie zimowym dla załączonej tylko grzałki elektrycznej zasilanej z sieci AC 230 V,
- jaki jest rzeczywisty przyrost temperatury wody w podgrzewaczu w przypadku podgrzewania wody grzałką zasilaną z PV,
- jaki jest koszt podgrzewania ciepłej wody w okresach niskiego nasłonecznienia, (zasilanie grzałki elektrycznej z sieci AC 230V).

Przed pomiarem czasu podgrzewania wody zbiornik opróżniano i dolewano wody tak, aby uzyskać wewnątrz temperaturę wody rzędu  $10^\circ\text{C}$ .



Rys. 12. Maksymalne przyrosty temperatury w okresie 1.10. 2009-1.10.2010 przy zasilaniu elementu grzewczego z fotowoltaiki.

W okresie letnim energia elektryczna wytworzona przez ogniwa fotowoltaiczne jest w stanie pokryć w 100 % zapotrzebowanie grzałki na energię elektryczną i w czasie bezchmurnej słonecznej pogody może podgrzewać wodę w czasie porównywalnym do grzałki zasilanej z sieci. W okresie zimowym można podgrzać wodę za pomocą elementu grzejnego zasilanego z PV maksymalnie o 27°C do 39°C (Rys.12) , przy czym osiągnięte jest to wyłącznie w dni bezchmurne i słoneczne. W dni pochmurne woda może zostać ogrzana zaledwie o kilka stopni.

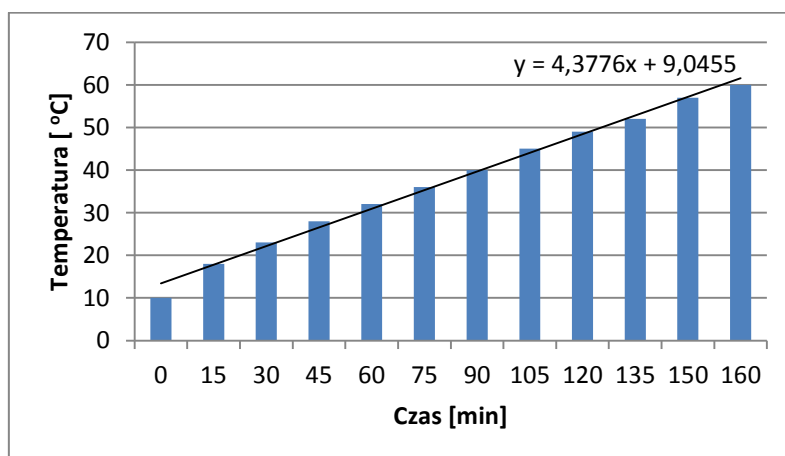
## 7. WYNIKI BADAŃ

W przypadku instalacji badanego podgrzewacza czas oraz koszt podgrzewu wody w dużej mierze zależy od trybu jego pracy. W tabeli 1. przedstawiono czas podgrzewu wody w przypadku zasilania elementu grzejnego z sieci AC 230 V.

Tabela 1. Wyniki badań czasu podgrzewu wody przy pracy podgrzewacza zasilanego z sieci.

Tryb pracy	Czas podgrzewu wody			
	Zasilanie z sieci AC 230 V	3h i 6min	2 h 40 min	2 h 55 min

Średni czas podgrzewu wody przy zasilaniu grzałki z sieci od 10°C do 60°C oscyluje poniżej 3 h. Okres ogrzewania wody zależy ściśle od temperatury początkowej. Im wyższa temperatura od której rozpoczyna się ten proces tym czas podgrzewu będzie krótszy. W badanej instalacji tempo wzrostu temperatury jest stałe, co można opisać funkcją liniową. Rysunek 13. przedstawia wykres temperatury wody w podgrzewaczu w zależności od czasu podgrzewania wody. Średni przyrost temperatury w czasie 15 min to 4,5°C. Zatem w ciągu godziny wodę podgrzewa się o około 20°C zasilając podgrzewacz z sieci.

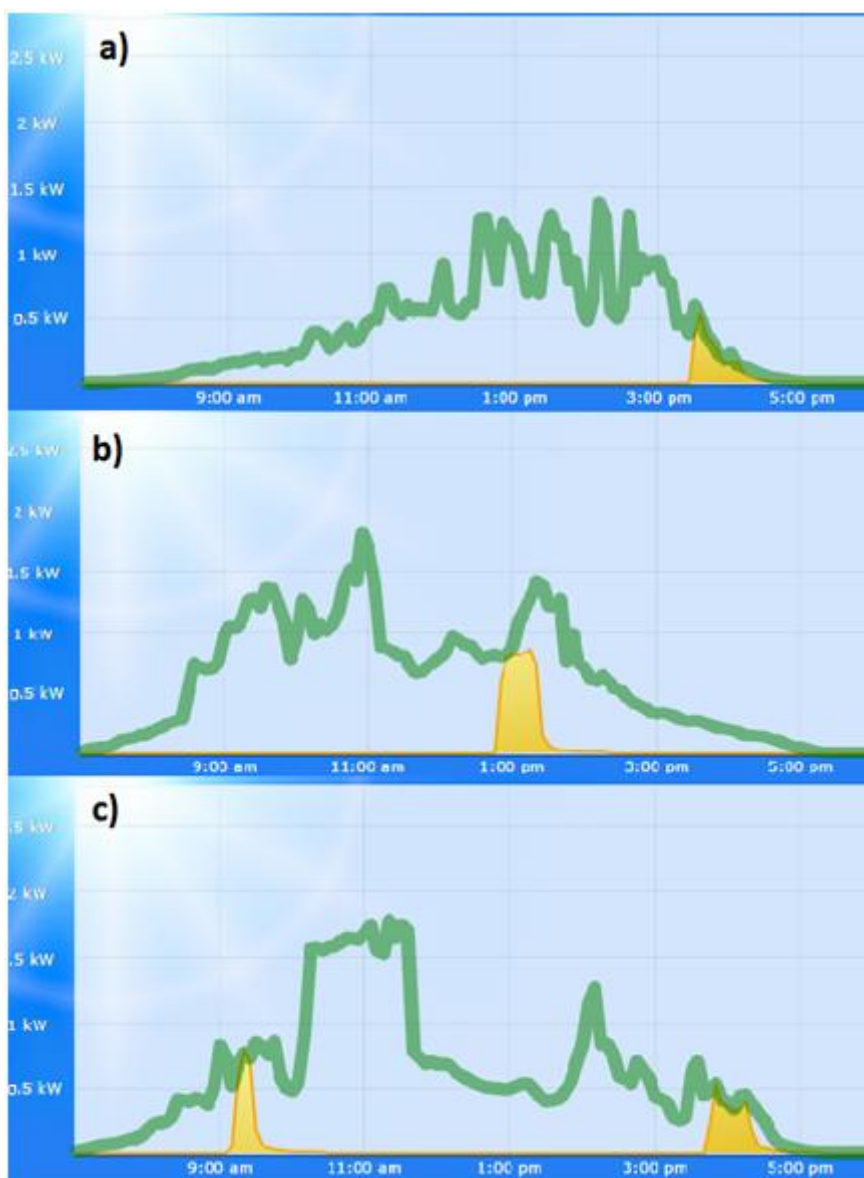


Rys. 13. Temperatura wody w podgrzewaczu w zależności od czasu podgrzewania elementem grzejnym zasilanym z sieci AC 230 V.



Przyjmując, że w ciągu doby podgrzewacz zużyje około 5 kWh do podgrzewu i utrzymania stałej temperatury w zbiorniku, dzienny koszt eksploatacji może wynieść około 2,5 zł (przy założeniu ceny 1kWh energii elektrycznej na poziomie 0,50 zł). W miesięcznym bilansie całkowity koszt podgrzewu wody wyniósłby w przybliżeniu 70 zł, co w skali roku może oscylować nawet w granicach 900 zł.

W celu zmniejszenia kosztów podgrzewu wody w podgrzewaczu zastosowano drugi element grzejny tym razem zasilany z PV. Uzyski energii elektrycznej z modułów a tym samym uzysk ciepła w podgrzewaczu uzależniony jest od warunków atmosferycznych – głównie ilości padającego promieniowania słonecznego na powierzchnię modułów. W celu zobrazowania tego zjawiska na rysunku 14. przedstawiono wykresy zmian ilości promieniowania słonecznego padającego na analogiczną do badanej instalację modułów fotowoltaicznych (różniącą się tylko mocą – 3 kW, podczas gdy omawiany system dysponuje mocą 1 kW) w dniach wykonywania badań. Jak widać promieniowanie słoneczne nie rozkłada się równomiernie w czasie, co wpływa na zróżnicowanie produkcji energii elektrycznej w ciągu doby. W takim przypadku przyrosty temperatury w jednostce czasu będą się wahać, przeciwnie do podgrzewania wody grzałką zasilaną z sieci. W okresie zimowym z racji małej ilości okresów o wysokim nasłonecznieniu uzyskanie temperatury wody w podgrzewaczu na poziomie ok 40°C jest bardzo trudne, co przedstawiają wynik badań w tabeli 2. Badania maksymalnej temperatury jaką można uzyskać przeprowadzono w lutym w dniach: 24.02, 25.02 oraz 26.02 br. ograniczając się do dni względnie o największym nasłonecznieniu. Średnio uzyskano przyrosty temperatury w granicach 7-8°C w całym cyklu podgrzewania.



Rys. 14. Zmiany ilości promieniowania słonecznego padającego na instalację analogiczną do badanej w dniach wykonywania badań: a) 24.02.2015 r, b) 25.02.2015 r, c) 26.02.2015r.

Wartości te są dużo niższe niż podana w katalogach producentów maksymalna wartość przyrostu temperatury, która w lutym wynosi 32°C (Rys.12). Tak znaczącą różnicę powoduje fakt mimo wszystko niskiego nasłonecznienia i okresowo występującego zachmurzenia podczas wykonywania badań. Wpływ zachmurzenia na proces podgrzewania wody szczególnie widoczny jest podczas trzeciego 6 godzinowego pomiaru, gdzie temperatura wzrosła zaledwie o 4°C.

**Tabela 2. Maksymalne temperatury wody uzyskane w przypadku zasilania grzałki z modułów fotowoltaicznych.**

Tryb pracy	Zasilanie z modułów PV			
	Dzień	24.02.2015 r.	25.02.2015 r.	26.02.2015 r.
Czas podgrzewu wody		5 h i 42 min	6 h i 30 min	6 h
Temperatura początkowa		8°C	10°C	8°C
Temperatura końcowa		15°C	18°C	12°C

W okresie zimowym najlepiej więc korzystać z połączonych trybów pracy zbiornika: ogrzewanie zarówno z elementu grzejnego zasilanego z PV oraz z sieci. Połączenie pracy dwóch źródeł pozwoliłoby na skrócenie czasu podgrzewania wody nawet o pół godziny. To z kolei zmniejszyłoby pobór energii elektrycznej z sieci a co z tym związane zmniejszeniem kosztów. W okresie letnim warunki nasłonecznienia pozwalają na większe przyrosty temperatur oraz zminimalizowanie konieczności wykorzystania grzałki zasilanej z sieci do podgrzewania wody. W tej sytuacji zasilanie z modułów fotowoltaicznych mogłoby obniżyć roczne koszty podgrzewu wody w granicach 300-500 zł rocznie. W okresie letnim dodatkowo nadwyżki energii mogłyby zostać wykorzystane do zasilania innych urządzeń elektrycznych w mieszkaniu lub sprzedane do sieci elektroenergetycznej. Realne zyski ze stosowania systemu w takiej sytuacji sięgają około 1000 zł, przy koszcie instalacji w granicach 6-7 tys. złotych daje to czas zwrotu nakładów w przybliżeniu 6-7 lat. Oczywiście czas ten może ulec skróceniu lub wydłużeniu, wszystko zależy od występującej liczby dni słonecznych w danym roku, profilów zużycia wody (częstość załączania grzałek w podgrzewaczu) oraz zużycia energii elektrycznej przez inne urządzenia, ale też od ceny energii elektrycznej.

## 8. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Produkcja energii elektrycznej wykorzystując do tego celu energię promieniowania słonecznego ma ogromny potencjał rozwoju. Na świecie przewiduje się przyrost instalacji fotowoltaicznych o dużej mocy jak również mikroinstalacji. Największa część produkowanej energii z ogniw fotowoltaicznych przypada na Europę, co spowodowane jest w dużej mierze systemem wsparcia finansowego tego sektora energetyki. Na tle państw UE Polska nadal nie wypada najlepiej pod względem wykorzystania energii słońca. Konieczne jest uregulowanie kwestii prawnych w zakresie OZE oraz ustalenie cen „zielonej” energii. Zmiana ustawodawstwa powinna spowodować zwiększenie opłacalności inwestycji w systemy fotowoltaiczne oraz wzrost zainteresowania tymi instalacjami przez inwestorów indywidualnych.

Mimo nie najlepszych rozwiązań prawnych w wielu gospodarstwach domowych instaluje się ogniwa fotowoltaiczne. Najczęściej wykorzystywane są do zasilania oświetlenia oraz innych urządzeń elektrycznych. W ostatnich kilku latach coraz bardziej popularne staje się stosowanie ogniw w instalacjach podgrzewu wody, czego przykładem może być badany podgrzewacz zasilany z PV. Zaletą tego typu rozwiązania jest możliwość wykorzystania w miejscach, gdzie brak dostępu do sieci elektroenergetycznej oraz w miejscach, gdzie podgrzewanie wody konieczne jest tylko w sezonie letnim. Niewątpliwą korzyścią płynącą ze stosowania podgrzewacza jest redukcja kosztów pozyskania ciepłej wody oraz zużycia energii elektrycznej z sieci.

## 9. LITERATURA

1. Bieliński K., Flizikowski J., „Projektowanie środowiskowych procesorów energii”, str. 122-139, Wydawnictwa Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej, Bydgoszcz 2000,
2. Jabłoński W., Wnuk J., „Odnawialne źródła energii w polityce energetycznej Unii Europejskiej i Polski. Efektywne zarządzanie inwestycjami – studia przypadków.” Wyższa Szkoła Zarządzania i Marketingu w Sosnowcu, Sosnowiec 2004,
3. Jastrzębska G., „Ogniwa słoneczne. Budowa, technologia i zastosowanie”, WKŁ, Warszawa 2013,
4. Klugman E., Klugman-Radziemska E., „Alternatywne źródła energii. Energetyka fotowoltaiczna”, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok 1999,
5. Klugman-Radziemska E., „Fotowoltaika w teorii i praktyce”, wydawnictwo BTC, Legionowo 2010,
6. Lewandowski W.M., „Proekologiczne odnawialne źródła Energii. Wydanie IV”, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa 2010,
7. Machnowski S., „Ogniwa fotowoltaiczne – rodzaje i parametry”, dostępny w Internecie: [http://ladnydom.pl/budowa/1,106578,15530522,Ogniwa\\_fotowoltaiczne\\_rodzaje\\_i\\_parametry.html](http://ladnydom.pl/budowa/1,106578,15530522,Ogniwa_fotowoltaiczne_rodzaje_i_parametry.html),
8. Masson G., Orlandi S., Rekingier M., „Global Market Outlook For Photovoltaics 2014-2018”, EPIA, dostępny w Internecie:

[http://www.epia.org/fileadmin/user\\_upload/Publications/EPIA\\_Global\\_Market\\_Outlook\\_for\\_Photovoltaics\\_2014-2018\\_-\\_Medium\\_Res.pdf](http://www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/EPIA_Global_Market_Outlook_for_Photovoltaics_2014-2018_-_Medium_Res.pdf),

9. Nagel M., „Rynek PV w Polsce, Europie i na świecie”, dostępny w Internecie: <http://www.poradnik.sunage.pl/rynek-pv-w-polsce-europie-i-na-swiecie/>,
10. Praca zbiorowa, „Odnawialne i niekonwencjonalne źródła energii. Poradnik”, Tarbonus, Kraków 2008,
11. Sarniak M.T., „Podstawy Fotowoltaiki”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008,
12. Tytko R., „Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej”, Wydawnictwo i Drukarnia Towarzystwa Słowaków w Polsce, Kraków 2013,
13. Zimny J., „Odnawialne źródła energii w budownictwie niskoenergetycznym”, Polska Generalna Asocjacja, Akademia Górniczo Hutnicza, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne. Kraków 2010,
14. [www.fotowoltaikainfo.pl](http://www.fotowoltaikainfo.pl),
15. [www.zielonaenergia.eco.pl](http://www.zielonaenergia.eco.pl),
16. <http://www.solaris24.pl/produkty/moduly-fotowoltaiczne>,
17. Rosołek K., Fotowoltaika i mikroinstalacje – prezentacja, IEO.