

doi:10.15199/48.2017.05.04

## Rozwój elektrowni fotowoltaicznych w Polsce - nowoprojektowana elektrownia Dęblin

**Streszczenie.** Fotowoltaika jest dynamicznie rozwijającą się technologią wytwarzania energii elektrycznej. Ogniwa jako przetworniki energii słonecznej mogą w przyszłości stanowić znaczącą część krajowej sieci dystrybucyjnej. W artykule przedstawiono fizyczne aspekty działania i budowy ogniw fotowoltaicznych oraz założenia koncepcyjne budowy jednej z największych w Polsce elektrowni fotowoltaicznej.

**Abstract.** Photovoltaics is a rapidly developing technology of production of electric energy. PV cells as converters of solar energy may in future become a significant part of distribution network of the country. The following article presents physical aspects of operation and structure of photovoltaic cells and conceptual assumptions of construction of one of the biggest photovoltaic power plants in Poland. **Physical aspects of operation and structure of photovoltaic power plants in Poland**

**Słowa kluczowe:** fotowoltaika, energia słoneczna, elektrownia fotowoltaiczna, odnawialne źródła energii

**Keywords:** photovoltaics, solar energy, photovoltaic power plant, renewable energy source

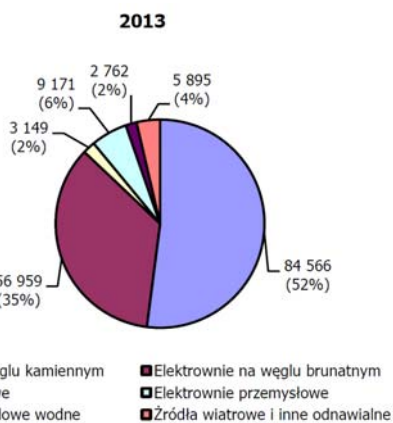
### Wstęp

Obserwowany na rynku energetycznym wzrost zapotrzebowania na energię wymaga rozwoju technologii umożliwiających sprawne, a zarazem spełniające wymogi środowiska naturalnego wytwarzanie energii elektrycznej. Najbardziej pożądane są odnawialne źródła energii, w których tkwią największe potencjalne możliwości.

Od 5 lat w Europie obserwuje się obniżenie kosztów instalacji elektrowni fotowoltaicznych o ok. 50%. Prognozy finansowe wskazują na utrzymanie się tendencji spadkowej w kolejnych 10 latach, która może wynosić od 36 do 51%. Szacowane na rok 2020 koszty produkcji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych będą niższe od obecnych o ok. 50%, tym samym mogą osiągnąć poziom 0,08-0,18 euro/kWh. Branża fotowoltaiczna stawia sobie za cel osiągnięcie parytetu sieciowego, który oznacza równy lub niższy poziom cenowy produkcji energii w stosunku do cen w sieci [1].

### Odnawialne źródła energii w Polsce

W Polsce dominującym źródłem wytwarzania energii pierwotnej jest spalanie węgla. Pochodząca z niego energia w roku 2013 wynosiła 87%, odnawialne źródła energii stanowiły jedynie 6% [2]. Na rysunku 1 została przedstawiona struktura produkcji energii elektrycznej w Polsce. W naszym kraju zanieczyszczenie środowiska powodowane spalaniem paliw konwencjonalnych jest jednym z największych w Europie. W rejonie krajów bałtyckich Polska zajmuje drugie po Niemczech miejsce pod względem zanieczyszczenia środowiska produktami tychże paliw [3].



Rys.1. Struktura produkcji energii elektrycznej w Polsce na rok 2013 [4]

Według danych Urzędu Regulacji Energetyki z dnia 30.09.2014 r. moc zainstalowana elektrowni wytwarzających energię elektryczną z promieniowania słonecznego wynosiła 3,632 MW [4].

Tabela 1 Moc zainstalowana w MW, wg stanu na 30.09.2014 r. [2]

Rodzaj źródła OZE	Moc zainstalowana [MW*], wg. stanu na 30.09.2014 r.		
	2012 r.	2013 r.	2014 r.
	[MW*]	[MW*]	[MW*]
Elektrownie na biogaz	131,247	162,241	184,469
Elektrownie na biomasę	820,700	986,873	1 009,361
Elektrownie wytwarzające e.e. z promieniowania słonecznego	1,290	1,901	3,632
Elektrownie wiatrowe	2 496,748	3 389,541	3 668,277
Elektrownie wodne	966,103	970,128	977,856
<b>Łącznie</b>	<b>4 416,088</b>	<b>5 510,684</b>	<b>5 843,595</b>
wzrost r/r	1334,045	1 094,596	332,911

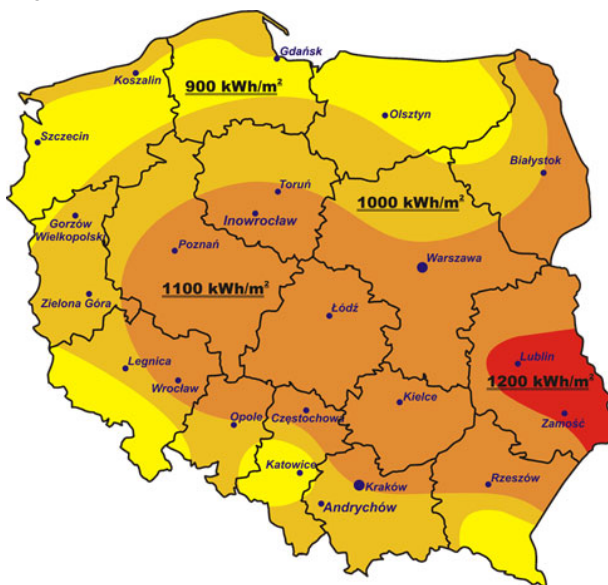
Zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii w bilansie energetycznym Polski powoduje wzrost efektywności wykorzystania zasobów energetycznych. Przyczynia się do ich oszczędzania, a także pozytywnie wpływa na stan środowiska naturalnego dzięki redukcji emisji zanieczyszczeń do atmosfery [5]. Zainstalowana moc ogniw fotowoltaicznych w Polsce jest wielokrotnie mniejsza niż w innych państwach Unii Europejskiej. Przełomem może okazać się rozwój nowych typów ogniw słonecznych na bazie polimerów [6].

### Ocena warunków promieniowania słonecznego w Polsce

Duży wpływ na funkcjonowanie elektrowni fotowoltaicznej mają warunki meteorologiczne danego obszaru. Ilość energii jaka dociera do nas w postaci energii słonecznej mierzona jest poprzez wyznaczenie natężenia promieniowania słonecznego. Jest to chwilowa wartość gęstości mocy promieniowania padającego w ciągu jednej sekundy na powierzchnię jednego metra kwadratowego. Podawana jest zazwyczaj w kW/m<sup>2</sup>. Dla Polski natężenie energii słonecznej zawiera się w przedziale 900-1200 kWh/m<sup>2</sup> na rok [7].

Województwo lubelskie ma znaczny potencjał dzięki najwyższemu w Polsce współczynnikowi rocznemu natężenia słonecznego tj. 1200 kWh/m<sup>2</sup>, co stwarza bardzo dobre warunki do rozwoju energetyki słonecznej.

W Polsce rozkład promieniowania słonecznego w cyklu rocznym jest bardzo nierównomierny. Ok. 80% rocznej sumy nasłonecznienia kumuluje się w sześciu miesiącach okresu wiosenno-letniego. Najmniej efektywne wyniki uzyskuje się w sezonie zimowym. Konsekwencją tego są pewne ograniczenia w możliwości wykorzystania strumienia energii promieniowania.



Rys.2. Mapa natężenia energii słonecznej w Polsce [8]

### Zalety i wady uzyskiwania energii z promieniowania słonecznego

Zalety:

- Słońce jako źródło promieniowania jest niewyczerpalne,
- przetwarzanie energii słonecznej nie wpływa negatywnie na zmiany klimatyczne Ziemi oraz na jej bilans energetyczny,
- energia słoneczna jest dostępna na całej planecie, dzięki czemu wszędzie może być przetwarzana na energię elektryczną,
- uniknięcie problemu przesyłu,
- systemy PV charakteryzują się długą żywotnością, nawet po 20 latach ich sprawność zmniejsza się nieznacznie,
- dzięki automatyzacji systemy PV są w dużej mierze bezobsługowe,
- nie generują produktów ubocznych,
- bezgłośna produkcja energii.

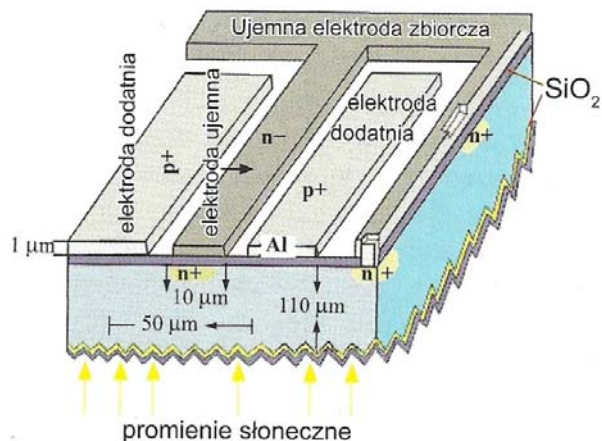
Wady:

- energia słoneczna jest wykorzystywana w sposób cykliczny,
- zmienne natężenie oświetlenia i mocy promieniowania,
- niska sprawność konwersji energii słonecznej na elektryczną,
- problem magazynowania energii,
- instalacja ogniw fotowoltaicznych zajmuje duże powierzchnie,
- duży koszt instalacji.

### Budowa, zasady działania i rodzaje ogniw PV

Moduł fotowoltaiczny jest urządzeniem przemieniającym energię promieniowania słonecznego na energię elektryczną napięcia i prądu stałego DC [9]. Moduły składają się z ogniw fotowoltaicznych łączonych szeregowo. Fotoogniwo zbudowane jest z półprzewodnika tworzącego złącze p-n. Fotony padające na złącze, które mają energię większą niż szerokość przerwy energetycznej

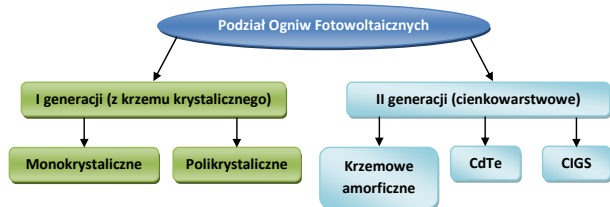
półprzewodnika powodują tworzenie par elektron-dziura. Powstałe dzięki temu nośniki ładunku elektrycznego ulegają rekombinacji, wydzielając ciepło. Do powstania zjawiska fotowoltaicznego niezbędne jest rozdzielenie tych par zanim ulegną rekombinacji (połączeniu). Dzieje się to dzięki obecności wewnętrznego pola elektrycznego, które występuje w obszarze złącza p-n. Przemieszczają się tu nadmiarowe elektrony z półprzewodnika typu p do typu n oraz dziury z półprzewodnika typu n do typu p. Powoduje to rozłączenie generowanych par elektron-dziura. Rozłączone nośniki mniejszościowe po jednej stronie złącza stają się nośnikami większościowymi z nie kończącym się czasem życia po drugiej stronie. Gdy obwód zostanie zamknięty popłynie w nim prąd [10].



Rys.3. Struktura krzemowego ogniw PV [11]

Ogniwa fotowoltaiczne dzielimy na [9,12]:

- krzemowe monokrystaliczne - zbudowane z jednego monokryształu krzemu; charakteryzują się bardzo dużą sprawnością 15-18%, są również najdroższe w przeliczeniu na jednostkę zainstalowanej mocy,
- krzemowe polikrystaliczne - zbudowane z wielu małych kryształów krzemu, zazwyczaj barwy jasnyniebieskiej; charakteryzują się mniejszą sprawnością od monokryształów zawierającą się w przedziale 14-16%, ale ich koszt produkcji jest mniejszy,
- cienkowarstwowe, w których materiał półprzewodnikowy jest nanoszony w postaci bardzo cienkiej warstwy. Grubość tych ogniw wynosi ok. 1-3 mikrometrów. Warstwą półprzewodzącą jest amorficzny krzem (sprawność 6-10%), tellurek kadmu (CdTe, sprawność 10-14%) lub CIGS (mieszanka miedzi, indu, galu, selenu, sprawność 11-15%). Ich zaletą jest niższe zużycie półprzewodników co przekłada się na niższe koszty wytworzenia.



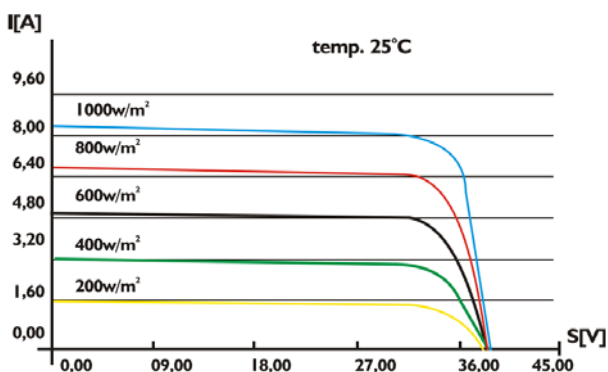
Rys.4. Podział ogniw fotowoltaicznych ze względu na zastosowany materiał półprzewodnikowy

### Nowoprojektowana elektrownia fotowoltaiczna w Dęblinie

Województwo lubelskie ze względu na największy w Polsce stopień nasłonecznienia osiągający 1200 kWh/m<sup>2</sup> jest bardzo atrakcyjnym miejscem na budowę elektrowni

słonecznej. Firma Energetyka Słoneczna Sp. z o.o. planuje wybudować elektrownię fotowoltaiczną o mocy 1,8 MW w miejscowości Dęblin. Będzie to największa tego typu elektrownia w województwie lubelskim.

W elektrowni słonecznej Dęblin zainstalowane będą panele polikrystaliczne PVMU60 polskiej firmy PVTEC o mocy 240 W i sprawności 14,77%. Odnznaczają się wysoką odpornością na UV i warunki pogodowe. Posiadają 25 letnią gwarancję producenta na 80% mocy. Na terenie elektrowni wybudowane będą dwie stacje kontenerowe K1 i K2. Zaplanowane jest wybudowanie 188 linii po 22 panele połączonych do kontenera 1MW, oraz 150 linii po 22 panele połączonych z kontenerem 0,8 MW. Reasumując, zainstalowanych paneli będzie 7436 sztuk, co daje łącznie 1,785 MW. Jako konstrukcje wsporcze wykorzystany będzie system wolnostojący TF-08 firmy REMOR, charakteryzujący się innowacyjnym systemem montażu ślizgowego.



Rys.5. Charakterystyka prądowo-napięciowa paneli serii PVMU firmy PVTEC [13]

Elektrownia będzie wyposażona w dwie stacje kontenerowe typu PVSTI-MWS firmy SolarTech Invest S.A., które będą ze sobą połączone kablem XRUHAKXS 1x120mm<sup>2</sup> z żyłą powrotną 25mm<sup>2</sup>. Wyposażenie stacji kontenerowych ujęto w tabeli 1.

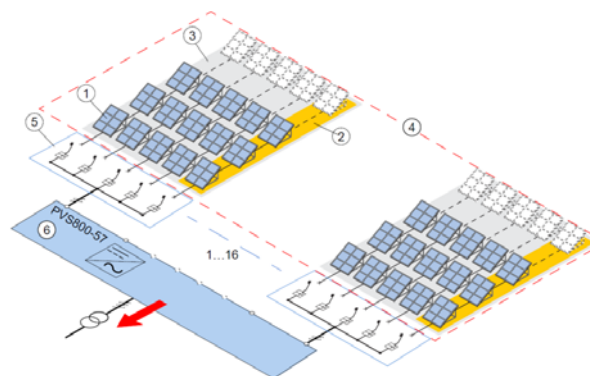
Tabela 2 Wyposażenie stacji kontenerowych K1 i K2 [14]

Wyposażenie stacji kontenerowej K1:	Wyposażenie stacji kontenerowej K2:
rozdzielnica DC	rozdzielnica DC
dwa inwertery PVS800 firmy ABB o mocy wyjściowej 500 kW każdy	dwa inwertery PVS800 firmy ABB o mocy wyjściowej 500kW i 315kW
transformator suchy 0,3/15 kV 1000 kVA	transformator suchy 0,3/15 kV 800 kVA
3-półowa rozdzielnica SN 15 kV	2-półowa rozdzielnica SN 15 kV
układ pomiaru energii	układ pomiaru energii
układ sterowania i kontroli	układ sterowania i kontroli
rozdzielnicę potrzeb własnych	rozdzielnicę potrzeb własnych

Wyprowadzenie mocy będzie się odbywało ze stacji kontenerowej K1 linią kablową SN do słupa krańcowo-odporowego, a następnie wprowadzona do sieci PGE Dystrybucja S.A. istniejącą linią napowietrzną.

W elektrowni będą wykorzystywane inwertery PVS800 produkcji firmy ABB w układzie centralnym. Poglądowy schemat takiego układu przedstawia rysunek 6. Zastosowane inwertery umożliwiają przetworzenie prądu stałego wytworzonego przez panele na prąd przemienny 0,3 kV.

Dzięki przeprowadzonej symulacji [16] możemy ocenić wydajność elektrowni w stosunku rocznym. W tabeli 2 przedstawiono wyniki obliczeń ilości wygenerowanej energii w każdym miesiącu, uwzględniając dane o nasłonecznieniu.



Rys.6. Schemat układu z generatorem solarnym, gdzie zestawy ciągów ogniw są połączone do sieci energetycznej poprzez inwerter, gdzie: 1-Moduł solarny (moduł fotowoltaiczny), 2-Ciąg modułów, 3-Zestaw modułów, 4-Generator solarny, 5-Skrzynka przyłączeniowa zestawu modułów, 6-Inwerter [15]

Tabela 3 Szacunkowe generowanie energii słonecznej

Miesiąc	$E_d$	$E_m$	$H_d$	$H_m$
Styczeń	1580.00	48900	1.03	32.0
Luty	2620.00	73400	1.76	49.2
Marzec	5520.00	171000	3.82	118
Kwiecień	6980.00	209000	5.04	151
Maj	7400.00	229000	5.56	172
Czerwiec	7380.00	221000	5.60	168
Lipiec	7190.00	223000	5.50	171
Sierpień	6910.00	214000	5.23	162
Wrzesień	5540.00	166000	4.04	121
Październik	3960.00	123000	2.79	86.5
Listopad	1840.00	55100	1.25	37.5
Grudzień	1290.00	39900	0.85	26.2
<b>Średnia</b>	<b>4860</b>	<b>148000</b>	<b>3.55</b>	<b>108</b>
<b>Suma Roczna</b>		<b>1770000</b>		<b>1300</b>

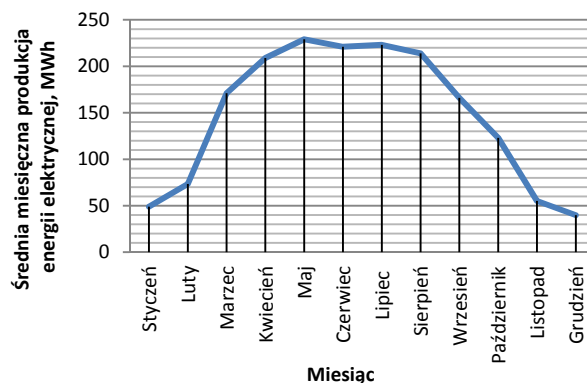
$E_d$  - Średnia dzienna produkcja energii elektrycznej z danego systemu, kWh

$E_m$  - Średnia miesięczna produkcja energii elektrycznej z danego systemu, kWh

$H_d$  - Średnia dzienna suma nasłonecznienia na metr kwadratowy dla danego systemu, kWh/m<sup>2</sup>

$H_m$  - Średnia miesięczna suma nasłonecznienia na metr kwadratowy dla danego systemu, kWh/m<sup>2</sup>

Roczną sumę wytworzonej energii szacuje się na 1770 MWh. Uzysk energii uwzględnia następujące dane: nominalna moc systemu PV: 1,8MW; szacunkowe straty z powodu niskiej temperatury i promieniowania: 7,7%; szacowane straty spowodowane kątowym efektem odbicia: 3,0%; inne straty (kable, inwerter etc.): 13%; połączone straty systemu PV: 23,7%. Wykres miesięcznej produkcji energii z elektrowni fotowoltaicznej przedstawia rysunek 7.



Rys.7. Miesięczna produkcja energii z elektrowni fotowoltaicznej o stałym kącie

## Podsumowanie

W związku z obowiązkiem zapewnienia przez Polskę w 2020 roku 15,5% energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych, energetyka solarna może mieć istotny wpływ na kształt oraz pracę krajowej sieci dystrybucyjnej. W dzisiejszych czasach Polska potrzebuje działań prowadzących do dostarczania energii w sposób zrównoważony i konkurencyjny. Przedstawiona elektrownia fotowoltaiczna w Dęblinie pod względem zainstalowanej mocy będzie największym tego typu obiektem w województwie lubelskim i jednym z największych w Polsce. Dzięki analizom pracy stanie się cennym źródłem informacji. Właściwe ich wykorzystanie może posłużyć rozwojowi OZE w Polsce oraz usprawnieniu współpracy z Krajowym Systemem Elektroenergetycznym.

**Autorzy:** mgr inż. Tomasz Marcewicz, Politechnika Lubelska, Katedra Urządzeń Elektrycznych i Techniki Wysokich Napięć, ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin, E-mail: tomasz.marcewicz@pollub.edu.pl; dr hab. inż. Janusz Partyka, prof. PL Politechnika Lubelska, Katedra Urządzeń Elektrycznych i Techniki Wysokich Napięć, ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin, E-mail: j.partyka@pollub.pl; mgr inż. Mirosław Mazur, Politechnika Lubelska, Katedra Urządzeń Elektrycznych i Techniki Wysokich Napięć, ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin, E-mail: mirekpolon@gmail.com

## LITERATURA

- [1] <http://www.epia.org>
- [2] <http://www.ure.gov.pl/> Sprawozdanie z Działalności Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki w 2013 r. z kwietnia 2014 r.
- [3] Stryczewska H.: *Energia odnawialna. Przegląd technologii i zastosowań*, Politechnika Lubelska, Lublin 2012.
- [4] <http://www.ure.gov.pl/pl/rynki-energii/energia-elektryczna/odnawialne-zrodla-ener/potencjal-krajowy-oze/5753,Moc-zainstalowana-MW.html>
- [5] Haberlin H., *Photovoltaics. System Design and Practice*, Wiley, 2012
- [6] Partyka J., Mazur M.: Zastosowanie energii słonecznej do zasilania urządzeń elektrycznych w typowym gospodarstwie domowym, *ELEKTRO.INFO* 2012, nr 5, vol. 104, s 53-57.
- [7] Szymański B.: *Instalacje fotowoltaiczne*, Wyd. Geosystem Burek, Kraków 2013.
- [8] [http://www.fotowoltaika.net/promieniowanie\\_sloneczne.html](http://www.fotowoltaika.net/promieniowanie_sloneczne.html)
- [9] Heinloth K., *Energy Technologies*, Springer Verlag, 2006
- [10] Waclawek M: *Ogniwa słoneczne- wpływ środowiska naturalnego na ich pracę*, Wydawnictwo Naukowo- Techniczne, Warszawa 2011.
- [11] Klugmann-Radziemska E.: *Fotowoltaika w teorii i praktyce*, Wyd. BTC, Legionowo 2010.
- [12] Tytko R.: *Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej*, Wyd. Towarzystwa Słowaków w Polsce, Kraków 2014.
- [13] [http://www.pvtec.com.pl/files/teksty/pl/pv\\_mu\\_dane\\_techniczne.pdf](http://www.pvtec.com.pl/files/teksty/pl/pv_mu_dane_techniczne.pdf)
- [14] Projekt Koncepcyjny Elektrowni Słonecznej Dęblin 1,8MW opracowany przez firmę SOLARTECH INVEST S.A.
- [15] Inwertery ABB do paneli fotowoltaicznych *Podręcznik użytkownika PVS800-57 centralne inwertery PVS800-57 centralne inwertery (100 do 630 kW)*
- [16] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe>