

## EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA PANELI FOTOWOLTAICZNYCH POLIKRYSTALICZNYCH I CIENKOWARSTWOWYCH NA FARMIE FOTOWOLTAICZNEJ W DOLINIE ZIELAWY

Piotr Dragan<sup>1</sup>, Zofia Lubańska<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin, e-mail: piotr.dragan@wisznice.pl

<sup>2</sup> Zakład Informatyki, Wydział Nauk Ekonomicznych i Technicznych, Państwowa Szkoła Wyższa im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej, ul. Sidorska 95/97, 21-500 Biała Podlaska, e-mail: z.lubanska@dydaktyka.pswbp.pl

### STRESZCZENIE

Odnawialne źródła energii to szansa nie tylko na poprawę efektywności energetycznej indywidualnych odbiorców, ale również na zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego samorządów. W 2007 roku w województwie lubelskim 5 gmin utworzyło partnerstwo samorządowe o nazwie „Dolina Zielawy”. Celami partnerstwa jest współpraca w zakresie oświaty, zadań z zakresu kultury, z zakresu ochrony zdrowia, pomocy społecznej, bezpieczeństwa przeciwpożarowego i oświetlenia ulicznego. Jednym z nadrzędnych celów tego partnerstwa jest m.in. zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego oraz poprawa efektywności energetycznej poprzez zagospodarowanie energii słonecznej. Zasoby energii słonecznej na Lubelszczyźnie charakteryzują się przede wszystkim bardzo wysokim stopniem nasłonecznienia w porównaniu do innych regionów kraju. Największy potencjał pod względem wykorzystania energii słonecznej posiada wschodni obszar województwa (w tym obszar partnerstwa). W celu zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego gminy partnerstwa powołały spółkę Energia Dolina Zielawy sp. z o.o., która w 2014 roku zbudowała farmę fotowoltaiczną o mocy 1,4 MW w Bordziłówce w Gminie Rossosz. W pracy przedstawiono podsumowanie pracy farmy fotowoltaicznej w okresie półtorarocznym oraz efektywność energetyczną różnego rodzaju paneli fotowoltaicznych, które produkują energię na farmie fotowoltaicznej w Bordziłówce.

**Słowa kluczowe:** partnerstwo „Dolina Zielawy”, farma fotowoltaiczna, moduły krzemowe polikrystaliczne, moduły cienkowarstwowe.

### THE ENERGY EFFICIENCY OF PHOTOVOLTAIC POLYCRYSTALLINE AND THIN-FILM PHOTOVOLTAIC FARM IN THE DOLINA ZIELAWY

#### ABSTRACT

Renewable energy is an opportunity not only to improve the energy efficiency of individual customers, but also to ensure energy security for local governments. In 2007, in Lublin province 5 municipalities have formed a partnership government called “Valley of Zielawa”. The objectives of the partnership is the cooperation in the field of education, tasks in the field of culture, health protection, social welfare, fire protection and street lighting. One of the overarching goals of the partnership include ensure energy security and improving energy efficiency through the utilization of solar energy. Solar energy resources in the Lublin region are mainly characterized by a very high degree of sunlight compared to other regions of the country. The greatest potential for solar energy use is the eastern area of the province (including the area of partnership). In order to ensure the energy security of the community established a company Energy Valley of Zielawa, which in 2014 built a photovoltaic farm with a capacity of 1.4 MW in the Bordziłówka in Municipality Rossosz. This paper presents the work recapitulation of photovoltaic farm over the year and a half and the energy efficiency of various types of photovoltaic panels which produce energy on a farm in photovoltaic Bordziłówce.

**Keywords:** partnership the “Valley of Zielawa”, photovoltaic system, polycrystalline silicon photovoltaic modules, photovoltaic thin-film modules.

## WSTĘP

Samorządy pięciu gmin z dwóch powiatów: bialskiego i parczewskiego – Wisznice, Sosnówka, Rossosza, Jabłonia i Podedwórze (rys. 1) podjęły współpracę w celu rozwoju oraz wspólnej promocji swoich gmin na terenie województwa lubelskiego i kraju i utworzyły partnerstwo pod nazwą „Dolina Zielawy”. Gminy wchodzące w skład partnerstwa „Dolina Zielawy” – oprócz sąsiedzkiego położenia – łączy także przepływająca rzeka Zielawa. To od niej porozumienie zaczerpnęło nazwę. Pomysł ten powstał w połowie 2007 r. i od tamtego momentu partnerstwu udało się zrealizować szereg wspólnych działań i pozyskać wiele środków na realizację strategicznych inwestycji w gminach w myśl zasady „razem możemy więcej”.

Pierwsze porozumienie – umowa o współpracy – została podpisana w kwietniu 2008 r. i obejmowała wspólne przygotowanie wniosku o dofinansowanie budowy 12 dróg gminnych na terenie obszaru turystycznego „Dolina Zielawy” w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Lubelskiego na lata 2007–2013. W 2012 r. do partnerstwa dołączyła gmina Milanów.

W 2011 roku powstał pomysł budowy farmy fotowoltaicznej na terenie jednej z gmin partnerstwa. Polska położona jest w strefie klimatu umiarkowanego między  $49^\circ$  a  $54,5^\circ$  szerokości geograficznej północnej. W zimie południowe krańce Polski mają dzień dłuższy o prawie jedną godzinę od krańców północnych, natomiast w lecie jest odwrotnie. Nasłonecznienie zależy od długości dnia, zachmurzenia i przezroczystości atmosfery. Najdłuższy nieprzerwany okres dopły-

wu energii promieniowania słonecznego w ciągu dnia waha się od 7,2 h w zimie (ok. 30% doby) do 15,5 h w lecie (65% doby). W 1992 r. zanotowano w Polsce na Helu ponad 2 000 h usłonecznienia. Największe natężenie promieniowania słonecznego stwierdzono na Kasprowym Wierchu (ok.  $1200 \text{ W/m}^2$ ) [1]

Położenie geograficzne gmin partnerstwa – wyróżniające się silnym nasłonecznieniem 1 700 godzin intensywnej energii słonecznej w ciągu roku – powoduje, iż ma ono duży potencjał w tym zakresie. Zasoby energii słonecznej na Lubelszczyźnie charakteryzują się przede wszystkim bardzo nierównomiernym rozkładem czasowym w cyklu rocznym. Zdecydowana większość (80%) całkowitej rocznej sumy nasłonecznienia występuje w okresie wiosenno – letnim, to jest od początku kwietnia do końca września [2]. Rocznie suma rzeczywistego usłonecznienia kształtuje się na poziomie 1500–1700 godzin [3]. Znaczna część województwa lubelskiego znajduje się w rejonie, gdzie roczne sumy promieniowania słonecznego kształtują się na poziomie 950–1020 kWh/m<sup>2</sup>. Duży udział promieniowania bezpośredniego w promieniowaniu całkowitym wynoszący 52–54% w okresie letnim, a w okresie zimowym 40–44% decyduje o korzystnych warunkach solarnych województwa [3]. Największy potencjał pod względem wykorzystania energii słonecznej posiada wschodni obszar województwa. Na Lubelszczyźnie liczba godzin słonecznych w ciągu roku dochodzi maksymalnie do 1700, a roczne napromieniowanie całkowite wynosi od 3600 do ponad 3800 MJ/m<sup>2</sup>.

W celu realizacji pomysłu budowy farmy fotowoltaicznej w maju 2012 roku została powołana spółka Energia Dolina Zielawy sp. z o.o.



Rys. 1. Rozmieszczenie gmin partnerstwa „Dolina Zielawy”  
Fig. 1. Distribution of municipalities partnership “Dolina Zielawy”

Celem spółki jest realizacja zadań publicznych związanych z zabezpieczeniem energetycznym obszaru partnerstwa. Wszystkie udziały są własnością gmin wchodzących w skład partnerstwa „Dolina Zielawy”, a ilość udziałów na poszczególne gminy rozkłada się procentowo na każdą z gmin według wielkości danej gminy i liczby ludności. Gmina Wisznice ma 322 z 1000 udziałów, Gmina Jabłoń – 256 udziałów, Gmina Sosnówka – 156 udziałów, Gmina Rossosz – 147, Gmina Podedwórze – 109 (udziały poszczególnych gmin przedstawia rysunek 2).

Pierwszym przedsięwzięciem zrealizowanym przez spółkę ‘Energia Dolina Zielawy’ było zbudowanie farmy fotowoltaicznej o mocy 1,4 MW w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Lubelskiego 2007–2013. W listopadzie 2014 uroczystie oddano farmę do użytku. Inwestycja jest zlokalizowana w miejscowości Bordziłówka, w gminie Rossosz, na działkach o łącznej powierzchni 3,5 ha.

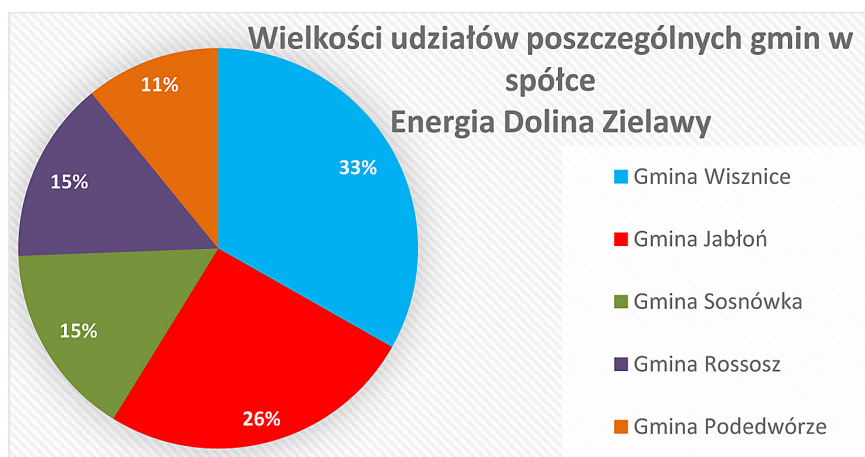
W 2013 roku zapotrzebowanie energetyczne obiektów użyteczności publicznej oraz oświetlenia ulicznego w pięciu gminach wynosiło w skali roku około 1 433 499,42 kWh. W związku z powyższym powstała infrastruktura będzie produkowała energię elektryczną pokrywającą zapotrzebowanie poszczególnych gmin na nią. Należy podkreślić, iż analizowana inwestycja ma pozytywny wpływ na ochronę środowiska naturalnego, gdyż elektrownie słoneczne nie emitują żadnych gazów cieplarnianych, ani zanieczyszczeń. Szacuje się, że w przypadku elektrowni wykorzystujących węgiel do produkcji prądu, do wyprodukowania 1 kWh elektrownia zużywa 0,45 kg węgla. W związku z tym do wyprodu-

kowania 1 520 000 kWh zużywane są 684 tony węgla. Następnie spalanie tego węgla daje emisję  $\text{CO}_2$  – 1 307,25 t,  $\text{SO}_2$  – 3,64 t,  $\text{NO}_x$  – 1,98 t [5]. Stąd też wniosek, że inwestycja budowy farmy fotowoltaicznej zmniejszyła emisję wyżej wymienionych zanieczyszczeń do atmosfery w powyższych wielkościach.

## METODY I OBIEKT BADAŃ

W wyniku realizacji projektu została wybudowana farma PV o mocy 1,4 MW, wykorzystująca energię słoneczną do produkcji energii elektrycznej w systemie grid-connected, zakładającym sprzedaż energii do sieci elektrycznej. Farma PV realizuje bezpośrednią przemianę energii słonecznej – optycznego promieniowania słonecznego na energię elektryczną. W tym celu zainstalowane zostały ogniwa fotowoltaiczne, które połączone ze sobą szeregowo, uzyskują odpowiednie napięcie, natomiast równolegle uzyskują niezbędną moc.

W skład instalacji PV wchodzi również konstrukcja wspierająca, system regulacji i kontroli, inwertery – urządzenia przekształcające prąd stały w prąd zmienny. W ramach inwestycji zainstalowano 5560 krzemowych modułów polikrystalicznych o łącznej mocy 1,39 MW. Moc jednego modułu wynosi 250 Wp. Sprawność modułów wynosi co najmniej 15,3% w warunkach standardowych, tj. przy nasłonecznieniu równym  $1000 \text{ W/m}^2$  i temperaturze modułu  $25^\circ\text{C}$ . Krzemowe moduły polikrystaliczne stanowią przeważającą większość wszystkich zamontowanych modułów.



Rys. 2. Udziały poszczególnych gmin w spółce Energia Dolina Zielawy  
Fig. 2. The share of individual municipalities in the company Energia Dolina Zielawy

Podstawowym zadaniem farmy fotowoltaicznej w Bordziłówce jest produkcja energii elektrycznej. Dodatkowym walorem tejże farmy jest możliwość prowadzenia badań naukowych. W elektrowni słonecznej zostały zainstalowane trzy rodzaje modułów cienkowarstwowych, wykonanych na bazie następujących materiałów: a-Si – krzem amorficzny, CdTe – tellurek kadmu, CIGS – diselenek miedziowo-indowogalowy o łącznej mocy 0,012 MW. Zainstalowanych zostało 36 modułów cienkowarstwowych zbudowanych z krzemu amorficznego o mocy 98 Wp, co dało moc 3,42 kWp oraz 24 moduły cienkowarstwowe CIGS o mocy 155 Wp, co dało moc 3,72 kWp i 44 moduły cienkowarstwowe o mocy 75 Wp, co dało moc 3,3 kWp. Łączna moc paneli cienkowarstwowych wyniosła 10,44 kWp. Łączna moc farmy fotowoltaicznej zbudowanej w większości z krzemowych paneli polikrystalicznych i paneli cienkowarstwowych wynosi 1,40044 MWp.

Jednym z kluczowych elementów instalacji PV, obok modułów fotowoltaicznych są inwertery. Łączą one panele słoneczne z siecią elektryczną. Ich głównym zadaniem jest konwersja prądu stałego, wytworzonego przez moduł fotowoltaiczny, na prąd przemienny o parametrach sieci energetycznej. Dzięki nim cała wyprodukowana energia może trafić do sieci. Średnio na każde 80 sztuk modułów fotowoltaicznych, zainstalowano jeden inwerter o mocy czynnej AC 20 kW każdy, co przy 5 560 sztukach modułów polikrystalicznych daje 70 sztuk inwerterów. Inwertery te mają sprawność maksymalną nie mniejszą niż 98% i sprawność Euro-eta nie mniejszą niż 97,5%. Do każdego rodzaju modułów cienkowarstwowych został zainstalowany jeden inwerter o mocy czynnej AC 3,5 kW. Na farmie zainstalowanych jest więc 70 inwerterów o mocy AC 20 kW i 3 inwertery o mocy AC 3,5 kW.

Analizowana farma fotowoltaiczna rozpoczęła działalność 6 października 2014 r. W ciągu roku funkcjonowania (listopad 2014 – październik 2015) farma wyprodukowała 1487 MWh energii przekazanej do sieci. W roku 2015 ilość wyprodukowanej energii przekroczy 1500 MWh.

Energia elektryczna była sprzedawana w cenach między 146,65 PLN/ MWh w marcu 2015 r. i 206,87 PLN/ MWh we wrześniu 2015 r., co dało średnią cenę za sprzedaż 1 MWh energii w roku w kwocie 185 PLN. Do jednej MWh energii dodawany jest zielony certyfikat, który jest również sprzedawany (na giełdzie lub na rynku pozagiełdowym). W 2015 roku zielone certyfikaty osiągały cenę zaledwie ok. 130 PLN, ze względu na dużą podaż zielonych certyfikatów pochodzących ze współpalania węgla w elektrowniach. Spółka w chwili obecnej sprzedaje tylko taką liczbę certyfikatów, która niezbędna jest do właściwego finansowo funkcjonowania zatrzymując nadwyżki do sprzedania w roku przyszłym, ponieważ szacuje się, iż ilość sprzedawanych zielonych certyfikatów będzie dużo niższa, stąd ich cena będzie w kolejnych latach wyższa niż obecnie.

## WYNIKI BADAŃ

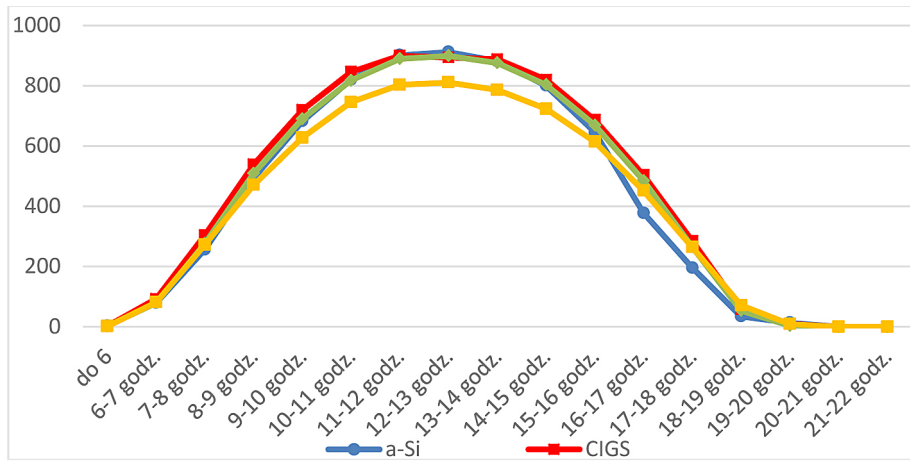
Po roku działalności farmy fotowoltaicznej w Bordziłówce można porównać działanie czterech rodzajów paneli fotowoltaicznych: krzemowych paneli polikrystalicznych, modułów cienkowarstwowych z krzemu amorficznego (a-Si), modułów cienkowarstwowych z tellurku kadmu (CdTe) i modułów z diselenku miedziowo-indowogalowego (CIGS). Na rysunkach 3–6 przedstawione zostało porównanie działania paneli fotowoltaicznych w wybranych dwóch dniach słonecznych oraz w wybranych dwóch dniach pochmurnych w ostatnim roku.

Wnioski jakie płyną z przedstawionych na rysunkach danych są następujące:

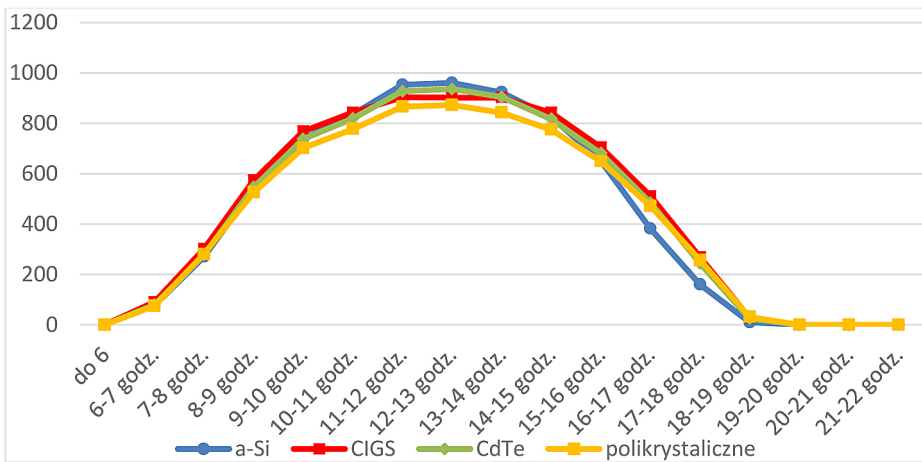
- 1) Moduły fotowoltaiczne cienkowarstwowe (niezależnie od ich rodzaju) są dużo skuteczniejsze od krzemowych modułów polikrystalicznych w godzinach szczytu nasłonecznienia (11.00 – 13.00) w dni słoneczne,
- 2) Moduły fotowoltaiczne cienkowarstwowe zbudowane z tellurku kadmu oraz krzemu amorficznego są mniej skuteczne w dni pochmurne od standardowych krzemowych modułów polikrystalicznych,

**Tabela 1.** Ilość energii wyprodukowana w ostatnim roku na farmie fotowoltaicznej w Bordziłówce  
**Table 1.** The amount of energy produced in the last year on a farm in photovoltaic in Bordziłówka

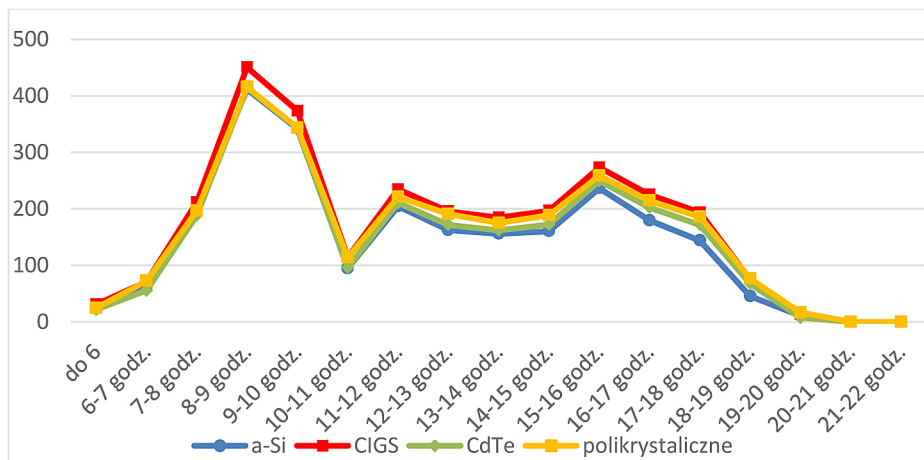
Miesiąc	Styczeń 2015	Luty 2015	Marzec 2015	Kwiecień 2015	Maj 2015	Czerwiec 2015
Ilość mwh	13,133	61,749	133,523	171,791	181,199	210,426
Miesiąc	Lipiec 2015	Sierpień 2015	Wrzesień 2015	Październik 2015	Listopad 2015	Grudzień 2015
Ilość mwh	226,025	229,462	116,620	116,993	39,304	30,074



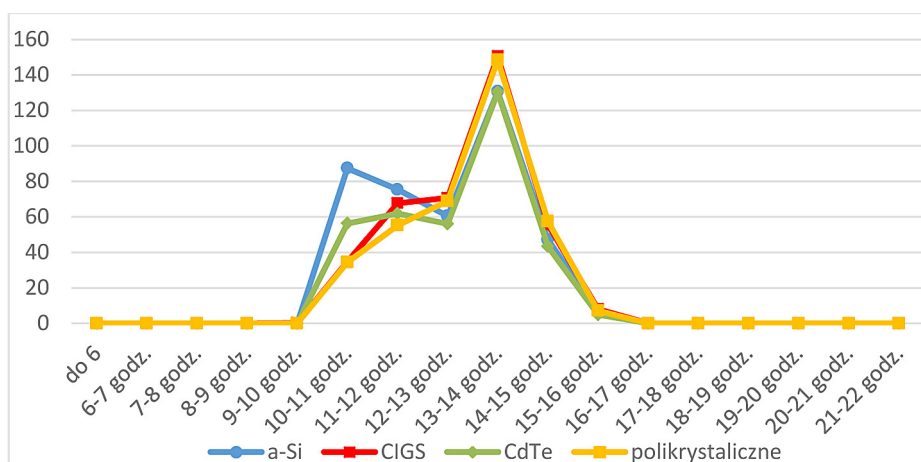
**Rys. 3.** Porównanie ilości wyprodukowanej energii w dzień słoneczny – 02.07.2015  
**Fig. 3.** Comparison of the amount of energy produced in the sunny day – 02.07.2015



**Rys. 4.** Porównanie ilości wyprodukowanej energii w dzień słoneczny – 04.06.2015  
**Fig. 4.** Comparing the amount of energy produced in the sunny day – 04.06.2015



**Rys. 5.** Porównanie ilości wyprodukowanej energii w dzień pochmurny – 10.07.2015  
**Fig. 5.** Comparison of the amount of energy produced in a cloudy day – 10.07.2015



Rys. 6. Porównanie ilości wyprodukowanej energii w dzień pochmurny – 03.02.2015

Fig. 6. Comparison of the amount of energy produced in a cloudy day – 03.02.2015

3) Moduły cienkowarstwowe zbudowane z diselenku miedziowo-indowo-galowego są skuteczniejsze od krzemowych modułów polikrystalicznych przy każdych warunkach atmosferycznych (są one skuteczniejsze o ok. 4%).

Obserwując globalną ilość wyprodukowanej energii w ciągu roku na tych czterech typach modułów okazuje się, iż najefektywniejsze są moduły CIGS-owe z produkcją energii w przeliczeniu na 1 kWp mocy produkują o 3,9% więcej energii od krzemowych modułów polikrystalicznych. Moduły cienkowarstwowe zbudowane z krzemu amorficznego produkują o 3,9% mniej energii od krzemowych modułów polikrystalicznych w przeliczeniu na 1 kWp mocy, a moduły cienkowarstwowe zbudowane z tellurku kadmu produkują o 1,7% mniej energii od krzemowych modułów polikrystalicznych w przeliczeniu na 1 kWp mocy.

Bardzo ciekawą obserwacją jest badanie zależności ilości wyprodukowanej energii przez moduły od temperatury powietrza, która ma wpływ na temperaturę modułów. Porównując dwa krystalicznie słoneczne dni (wyniki badania nasłonecznienia tych dni pokazują porównywalną moc nasłonecznienia w tych dniach liczoną w  $W/m^2$ ) – 4 czerwca 2015 roku i 2 lipca 2015 roku można zauważyć, iż ilość energii wyprodukowanej 2 lipca powinna być większa, ze względu na lepsze warunki tego dnia – dłuższy dzień i lepsze ustawienie farmy (pod kątem  $34^\circ$ ). Można by przypuszczać, iż temperatura będzie miała ujemny wpływ. W tabeli 2 pokazano ilości wyprodukowanej energii w tych dniach i temperaturę powietrza oraz temperaturę modułów.

Z tabeli wynika, iż temperatura ma bardzo duży wpływ na ilość produkowanej energii przez moduły. Wzrost temperatury w powietrzu o ok.  $10^\circ C$  spowodował wzrost temperatury modułów o  $7^\circ C$ , co spowodowało spadek ilości wyprodukowanej energii o ok. 7%. Należy podkreślić, że wzrost temperatury w przedziale przekraczającym  $20^\circ C$  ma bardzo duży wpływ na ilość energii produkowanej przez panele. Z przedstawionej w tabeli obserwacji temperatury modułów i ilości produkowanej energii można wywnioskować, iż w przedziale temperatur przekraczających  $47^\circ C$  wzrost temperatury modułu o  $1^\circ C$  powoduje spadek efektywności modułu o 1%.

Znaną ogólnie zależnością jest, że farma fotowoltaiczna ma największą efektywność w sytuacji, gdy moc modułów fotowoltaicznych jest większa od mocy inwerterów. Według Bogdana Szymańskiego, po uwzględnieniu wszystkich czynników, optymalnie dobrany inwerter powinien charakteryzować się wartością 85–90% sumarycznej mocy znamionowej mocy instalacji [6].

Na farmie fotowoltaicznej w Bordziłówce do inwerterów podłączone zostały moduły w 3 wariantach. Pierwszy wariant to wariant 117% sumarycznej mocy modułów, drugi wariant to

Tabela 2 Ilość energii wyprodukowana w słoneczny dzień w zależności od temperatury powietrza

Table 2. The amount of energy produced in a sunny day, depending on the air temperature

Analizowany dzień	Maksymalna temperatura powietrza	Maksymalna temperatura modułów	Ilość wyprodukowanej energii
04.06.2015	$20^\circ C$	$47^\circ C$	10,1 MWh
02.07.2015	$30^\circ C$	$54^\circ C$	9,45 MWh

94,11% sumarycznej mocy modułów i wariant 78,43% sumarycznej mocy modułów. Zdecydowanie najbardziej efektywny był wariant drugi, ponieważ w ciągu półrocznej produkcji energii dał on o 4,19% więcej energii niż wariant pierwszy. Wariant trzeci dał o 1,52% więcej energii od wariantu pierwszego. Można więc uwiarygodnić stwierdzenie, iż optymalnie dobrany inwerter powinien charakteryzować się wartością 85–90% sumarycznej mocy znamionowej modułów fotowoltaicznych.

Z punktu widzenia dyskusji o sensie rozwoju odnawialnych źródeł energii należy podkreślić, iż najistotniejszy jest efekt ekologiczny, który przynosi budowa instalacji odnawialnych źródeł energii.

## PODSUMOWANIE

Partnerstwo samorządowe, stanowiące porozumienie co najmniej kilku jednostek, daje większe szanse na realizację dużych przedsięwzięć inwestycyjnych. Ponadto, takie partnerstwo łatwiej może uzyskać dotacje z różnego rodzaju funduszy pomocowych. „Dolina Zielawy” – to przykład efektywnie działającego partnerstwa pięciu gmin Lubelszczyzny. Szczególnie istotnym osiągnięciem partnerstwa jest wybudowanie instalacji kolektorów słonecznych o łącznej mocy 4,31 MW, oraz zrealizowanie inwestycji budowy farmy fotowoltaicznej o mocy 1.4 MWp. Działania te, to nie tylko poprawa kondycji finansowej gmin partnerstwa, ale przede wszystkim wymierny efekt ekologiczny poprzez ograniczenie emisji CO<sub>2</sub>. Montaż kolektorów słonecznych ograniczył wykorzystanie energii cieplnej pozyskiwanej z tradycyjnych źródeł – szczególnie węgla w ilości 895 ton rocznie – na rzecz energii odnawialnej, natomiast budowa farmy fotowoltaicznej ograniczyła zużycie węgla o 684 tony rocznie.

Z przeprowadzonych badań nad sprawnością modułów fotowoltaicznych na farmie fotowoltaicznej w Bordziłówce stwierdzono, że jedynie moduły cienkowarstwowe zbudowane z diselenku miedziowo-indowo-galowego są skuteczniejsze w każdych warunkach od krzemowych modułów polikrystalicznych, inne zaś rodzaje modułów cienkowarstwowych nie są skuteczniejsze od krzemowych modułów polikrystalicznych.

## LITERATURA

1. Gogół W. 1993. Konwersja termiczna energii promieniowania słonecznego w warunkach krajowych – Ekspertyza – PAN, Warszawa.
2. Olchowik J.M., Cieślak K., Gułkowski S., Mucha J., Sordyl M., Zabielski K., Szymczuk D., Zdyb A., 2010. Progress of development of PV systems of south-eastern Poland, Proc. of 35th IEEE PVSC Honolulu, Hawaii, 20–25 June 2010, 2397–2399.
3. Olchowik J.M., Tarłowski J.J., Mazur P.Ł., Woliński R., Kalamon K. 2012. Analiza numeryczna efektywności pracy naziemnych farm fotowoltaicznych dla wybranych lokalizacji, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej nr 283 Budownictwo i Inżynieria Środowiska z. 59, 555 (2/2012/II).
4. Olchowik J.M., Tatarczak J. 2012. Algorytm optymalizujący uzysk energii w stacjonarnych farmach fotowoltaicznych, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej nr 283 Budownictwo i Inżynieria Środowiska z. 59, 565 (2/2012/II).
5. Olchowik J.M., Dragan P., Gembarzewski O., Gulkowski S., Szymczuk D. 2013. The Reasons of the delays in introducing in Poland law regulations favorable for photovoltaics, Proc. of 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris (France) 31.09–04.10.2013.
6. Szymański B. 2015. Małe instalacje fotowoltaiczne, Warszawa, Geosystem, redakcja GLOBEnergia, 142.