

**Robert TOMASZEWSKI<sup>1</sup>**  
**Jan M. OLCHOWIK<sup>2</sup>**  
**Jerzy ADAMCZYK<sup>3</sup>**

## **BADANIA NAD EFEKTYWNOŚCIĄ KONWERSJI FOTOWOLTAICZNEJ (PV) DLA WARUNKÓW LUBELSZCZYZNY**

W artykule przedstawiono zagadnienia związane z 10-cio letnią analizą pracy układu słonecznego zainstalowanego w południowo-wschodniej Polsce. Analizie porównawczej poddano układ nadążny i stacjonarny z wykorzystaniem chłodzenia modułów PV i modułów PV bez chłodzenia. Porównanie energii uzyskanej z poszczególnych fotomodułów pozwoli w przyszłości na wybranie najbardziej optymalnej konfiguracji dla warunków Lubelszczyzny. W badaniach uwzględniono wymiar godzin słonecznych w województwie lubelskim. Kryzys energetyczny i rosnące ceny energii oraz coraz surowsze normy emisji spalin są głównym powodem zainteresowania alternatywnymi źródłami energii. Energia czerpana ze słońca jest najbardziej pierwotną formą pozyskiwania energii. Naturalne jest bezpośrednio wykorzystanie energii Słońca. Zastosowanie systemów PV jest najbardziej przyjazną formą wytwarzania zarówno prądu elektrycznego, jak i energii cieplnej. Obecnie w Polsce nie jest możliwe całkowite wyeliminowanie energetyki konwencjonalnej. System elektrowni słonecznych jako przyszłościowe źródło energii jest w stanie skutecznie uzupełnić niedobory w okresie największego zapotrzebowania na prąd elektryczny w ciągu dnia. Zastosowanie źródeł rozproszonych nie wpływa negatywnie na infrastrukturę sieci przesyłowych. Systemy PV z powodzeniem można stosować na obszarach o słabo rozbudowanej sieci przesyłowej. Warunki klimatyczne w Polsce są porównywalne z warunkami Niemiec, gdzie systemy PV są rozwijane od wielu lat. Przeprowadzone badania na obszarze polski południowo-wschodniej (Lublin) potwierdziły efektywność tej formy pozyskiwania energii. Analiza godzin słonecznych, jak i badania przeprowadzone na Politechnice Lubelskiej w okresie 10-cio letnich badań układów PV pozwalają jednoznacznie potwierdzić celowość rozwijania technologii fotowoltaicznych.

**Słowa kluczowe:** fotowoltaika, efektywność energetyczna, energia słoneczna, układy nadążne

---

<sup>1</sup> Autor do korespondencji: Robert Tomaszewski Państwowa Szkoła Wyższa Im. Papieża Jana Pawła II, Instytut Informatyki, ul. Sidorska 95/97 Biała Podlaska

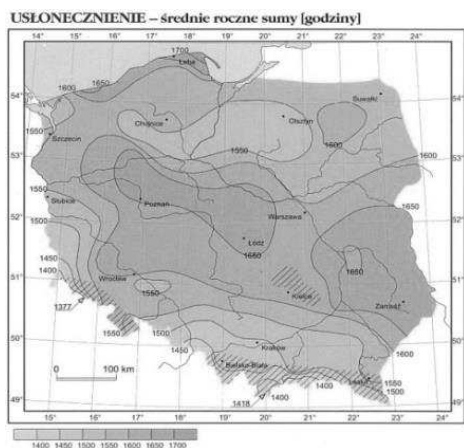
<sup>2</sup> Jan M. Olchowik, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 38, 30-618 Lublin; Państwowa Szkoła Wyższa Im. Papieża Jana Pawła II, Instytut Informatyki, ul. Sidorska 95/97 Biała Podlaska

<sup>3</sup> Jerzy Adamczyk, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 38, 30-618 Lublin; Państwowa Szkoła Wyższa Im. Papieża Jana Pawła II, Instytut Informatyki, ul. Sidorska 95/97 Biała Podlaska

## 1. Wstęp

W obliczu realnego zagrożenia kryzysem energetycznym konieczna jest dywersyfikacja dotychczasowych źródeł pozyskiwania energii. Wzrost konsumpcji energetycznej, przy jednoczesnym wyczerpywaniu się paliw kopalnych i coraz ostrzejszych normach emisji spalin oraz wprowadzane uregulowania prawne skłaniają ludzkość do sięgania po alternatywne źródła energii. Obecnie w warunkach Polski nie jest możliwe całkowite wyeliminowanie paliw kopalnych jako źródła wytwarzania energii. Jednakże, w warunkach europejskich i światowych, wzrost udziału odnawialnych źródeł energii w bilansie paliwowo-energetycznym świata, przyczynia się do poprawy efektywności wykorzystania i oszczędzania klasycznych zasobów surowców energetycznych oraz poprawy jakości środowiska naturalnego.

W warunkach Polski, przy obecnym stanie sieci elektroenergetycznych może okazać się błędem inwestowanie w wielkoskalową energetykę, w tym w energetykę atomową. Alternatywą jest energia pozyskiwana z rozproszonych źródeł odnawialnych. Energię użyteczną dla człowieka można pozyskiwać na wiele sposobów. Najbardziej pierwotną formą pozyskiwania energii jest konwersja energii słonecznej. Jej wykorzystanie jest jednak determinowane przez warunki klimatyczne (nasłonecznienie i usłonecznienie). Obszar Polski południowo-wschodniej charakteryzuje się bardzo dobrymi warunkami nasłonecznienia i usłonecznienia w skali kraju. Parametry pracy układów PV są analogiczne do warunków innych państw Europy zachodniej (rys.1-2), gdzie od wielu lat z powodzeniem rozwija się technologie pozyskiwania energii z wykorzystaniem konwersji PV.

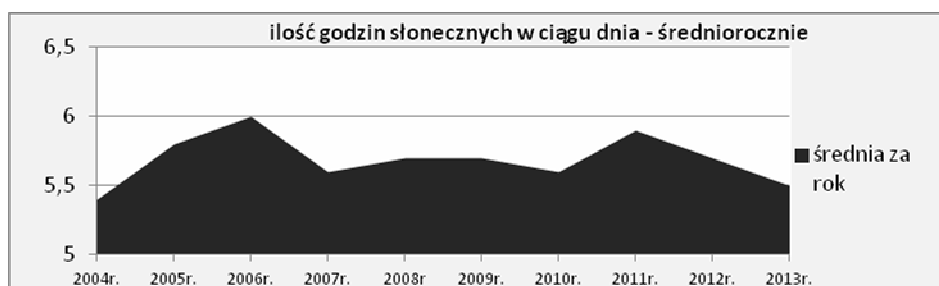


Rys. 1. Średnie usłonecznienie dla Polski [1]  
Fig. 1. Insolation of Poland



Rys. 2. Średnie usłonecznienie dla Europy [2]  
Fig. 2. Insolation of Europe

Potwierdzeniem możliwości wykorzystania energii promieniowania słonecznego na terenie Lubelszczyzny są pomiary zarejestrowane przez pobliską stację meteo w Radawcu k. Lublina (rys.3), jak również badania przeprowadzone na Politechnice Lubelskiej.



Rys. 3. Średnia dzienna ilości godzin słonecznych w ujęciu rocznym [3]

Fig. 3. The chart of the average daily amount of sunny hours within one year

Uśredniona wartość godzin słonecznych zarejestrowana przez stację meteo w Radawcu k. Lublina w okresie 10-cio letniej analizy wyniosła średnio 5,69 godzin dziennie. Wartości średnie uzyskiwane w poszczególnych latach są na zbliżonym poziomie. Pomiary godzin słonecznych, jak również wyniki uzyskane w badaniach własnych potwierdzają możliwość efektywnego wykorzystania konwersji PV jako alternatywnego źródła energii w warunkach Polski południowo-wschodniej.

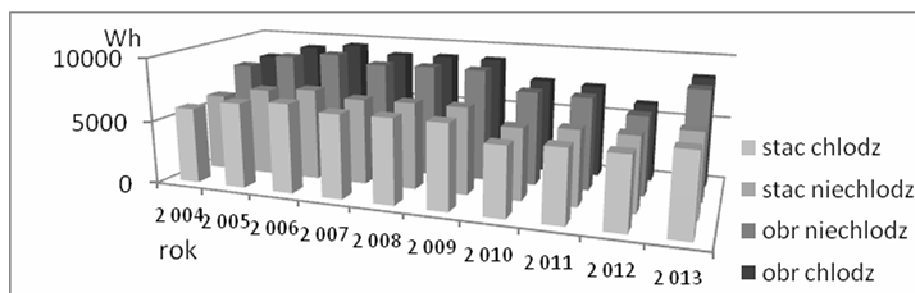
## 2. Prognozy rozwoju energii odnawialnej

Zbyt mały udział OZE w bilansie energetycznym na terenie kraju i Lubelszczyzny wynika z dotychczasowych uregulowań prawnych. Szansą na zmianę jest program wsparcia rozwoju alternatywnych źródeł energii realizowany przez Unię Europejską. Eliminacja dotychczasowych barier prawnych związanych z OZE służy realizacji działań w ramach np. projektu „Odnawialne Źródła Energii na Lubelszczyźnie – promocja i możliwości rozwoju”. Projekt ten jest projektem pilotażowym w ramach Regionalnej Strategii Innowacji Województwa Lubelskiego zakładającej rozwój sektora produktów ekologicznych i w konsekwencji do osiągnięcia celu operacyjnego 3.1 – RSI dotyczącego wzrostu produkcji jak i znaczenia alternatywnych źródeł energii. Jest on realizowany w ramach Działania 2.6 – Regionalne Strategie Innowacji i transfer wiedzy, Zintegrowanego Programu Operacyjnego Rozwoju Regionalnego. Działanie 1.4b realizowane przez Lubelską Agencję Wspierania Przedsiębiorczości w postaci bezzwrotnej dotacji do rozwoju odnawialnych źródeł energii (OZE) spotkało się z bardzo szerokim zainteresowaniem społecznym, przekraczającym możliwości finansowe dotacji. Program ten wspiera rozwój OZE

o mocy około 1MW (obecnie jedyna w Polsce elektrownia fotowoltaiczna o tej mocy działa w Wierzchosławicach). Dzięki tym programom w najbliższych latach na terenie województwa lubelskiego powstanie wiele małych elektrowni (o mocy około 1MW) wykorzystujących OZE, a w szczególności konwersję fotowoltaiczną.

### 3. Analiza stanowiska badawczego

Analizie porównawczej poddano układy PV pracujące w systemie nadążnym i stacjonarnym przy wykorzystaniu dodatkowego chłodzenia fotomodułów oraz dla fotomodułów niechłodzonych [4-16]. W pracy dokonano analizy pracy modułów o mocy 100Wp, stanowiących składową systemu fotowoltaicznego, zainstalowanego na dachu jednej z auli Politechniki Lubelskiej, w okresie 10 ostatnich lat. Otrzymane wyniki badań pozwolą na dobranie optymalnego rozwiązania dla warunków klimatycznych panujących w Polsce południowo-wschodniej. Uzyskane rezultaty przedstawione są na rys.4.

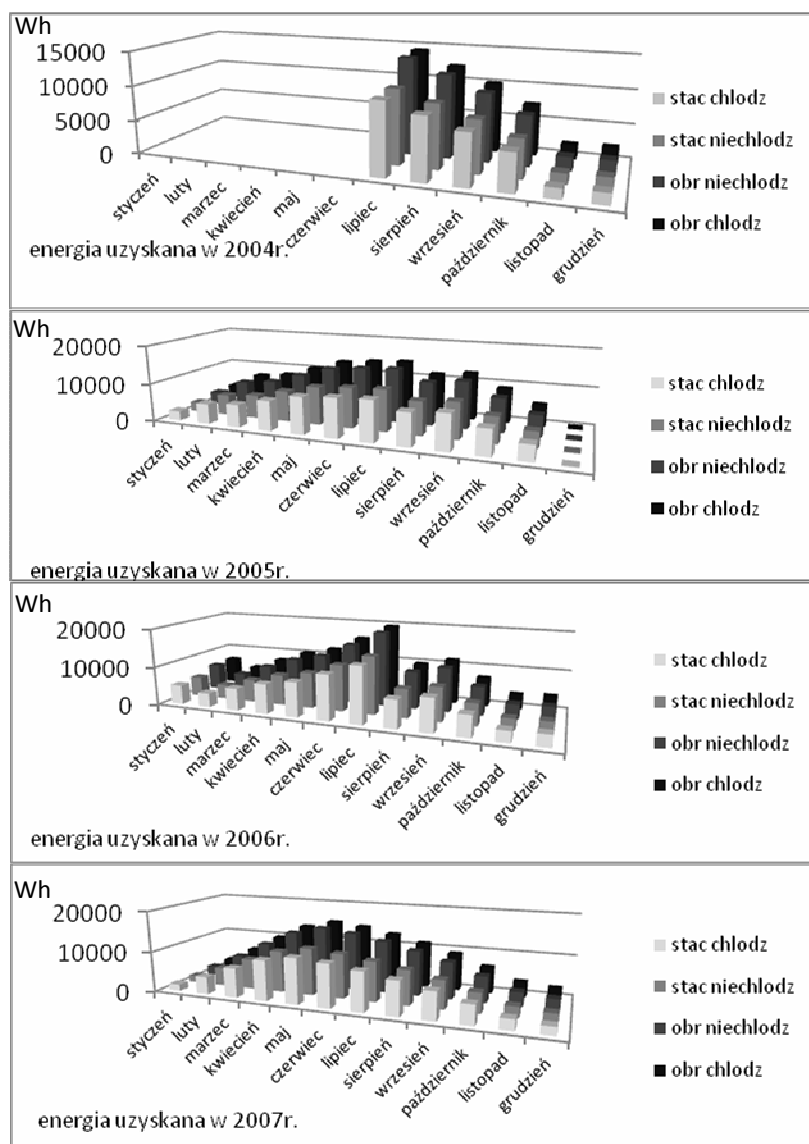


Rys.4. Energia uzyskana z poszczególnych konfiguracji układów PV w latach 2004 r – 2013 r.

Fig. 4. The energy gained from particular configuration sets in 2004-2013 year

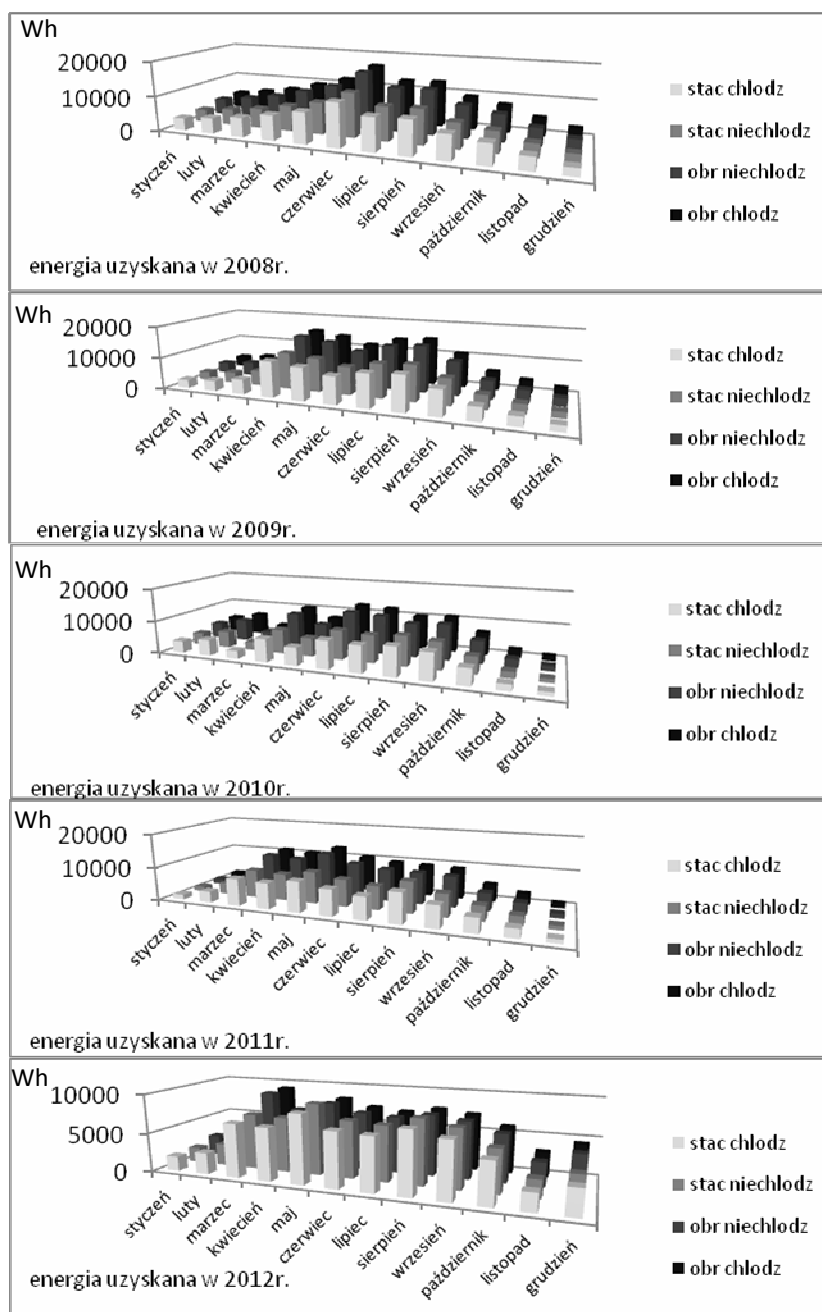
W wyniku przeprowadzonej analizy stwierdzono niewielkie wahania w uzyskanej energii w poszczególnych latach dla układu stacjonarnego. W układzie nadążnym w poszczególnych latach wystąpiły większe dysproporcje uzyskanej energii. Wynika to z faktu, że układy nadążne charakteryzują się większym uzyskiem energii w godzinach porannych i popołudniowych. Przy pochmurnej pogodzie, przy wykorzystaniu promieniowania rozproszonego zastosowanie układu nadążnego nie przynosi wymiernych korzyści (rok 2012). W układzie stacjonarnym chłodzonym w okresie od 2004 r. do 2013 r. uzyskano średnio o 3% więcej energii niż w układzie bez chłodzenia. Porównując analogiczny układ nadążny w systemie z chłodzeniem zysk energii był wyższy o 1%. Zastosowany układ nadążny w stosunku do układu stacjonarnego wykazał wyższy zysk energii odpowiednio o 28% dla układu niechłodzonego i 29% dla układu chłodzonego.

Analiza szczegółowa dla poszczególnych lat pracy układów została przedstawiona poniżej (rys.5a,b,c).



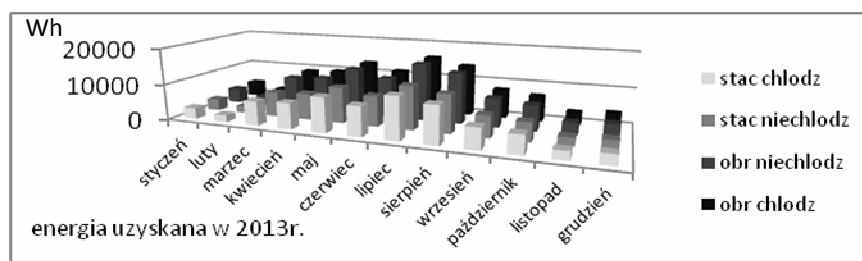
Rys.5a. Energia uzyskana w poszczególnych układach PV w okresie od 2004 r. do 2013 r.

Fig. 5a. The energy gained from particular configuration sets every year



Rys.5b. Energia uzyskana w poszczególnych układach PV w okresie od 2004 r. do 2013 r.

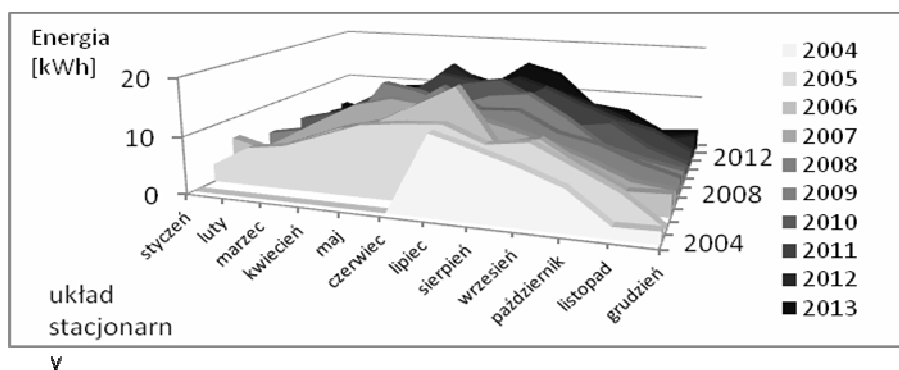
Fig. 5b. The energy gained from particular configuration sets every year



Rys.5c. Energia uzyskana w poszczególnych układach PV w okresie od 2004 r. do 2013 r.

Fig. 5c. The energy gained from particular configuration sets every year

Rozkład uzyskanej energii dla poszczególnych systemów fotowoltaicznych w ujęciu miesięcznym przedstawiono na rys.6.



Rys.6. Rozkład uzyskanej energii dla poszczególnych lat w ujęciu miesięcznym

Fig. 6. The energy gained from particular configuration sets by months.

Rozkład uzysku energii w poszczególnych latach kształtuje się analogicznie dla poszczególnych okresów. Największy zysk energii można zaobserwować w miesiącach letnich - w okresie od maja do września.

#### 4. Podsumowanie

Rezultaty badań wskazują na duży potencjał energetyki słonecznej jako alternatywnego źródła energii Polski Południowo-wschodniej. Największym uzyskiem energetycznym charakteryzował się układ nadążny. Dla tego rozwiązania największe różnice występują w godzinach po wschodzie i przed zachodem słońca. Wpływ chłodzenia fotomodulów w bilansie rocznym nie ma znaczącego wpływu na wytworzoną energię. Przedstawione w pracy wyniki badań modułów fotowoltaicznych mogą stanowić podstawę do analizy ekonomicznej opłacalności zastosowań poszczególnych rozwiązań technicznych w instalacjach fotowoltaicznych.

## Literatura

- [1] <http://www.mae.com.pl/odnawialne-zrodla-energii-energia-sloneczna.html> {dostęp 12.05.2014 r.}
- [2] [http://www.watt.pl/konfigurator-nowy/index.php?step=1&sub\\_step=0&1\\_0=0](http://www.watt.pl/konfigurator-nowy/index.php?step=1&sub_step=0&1_0=0) {dostęp 12.05.2014 r.}
- [3] dane stacji METEO z Radawca k. Lublina <http://www.weatheronline.pl/> {dostęp 12.05.2014 r.}
- [4] J. Banaś, R. Tomaszewski, J.M. Olchowik, Komputerowe sterowanie układem „follow the sun” modułów PV Politechniki Lubelskiej, W monografii: „Rachunek Globalny a Przyszłość Informatyki” (red. J.M. Olchowik), Wydawnictwa Naukowe Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Białej Podlaskiej, Biała Podlaska 2004, str. 188
- [5] J.M. Olchowik, I. Józwik, D. Szymczuk, K. Zabielski, J. Mucha, R. Tomaszewski, J. Banaś, S. Olchowik, J. Adamczyk, T. Cieplak, A. Zdyb, Analysis of solar cells efficiency in hybrid solar system under conditions of Southeast Poland, Proceedings of the 19<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference, Paris, France, 7-11 June 2004, vol. III, p. 3294.
- [6] S. Olchowik, J.M. Olchowik, DELPHI jako środowisko monitoringu pracy ogniw fotowoltaicznych, W monografii: „Rachunek Globalny a Przyszłość Informatyki” (red. J.M. Olchowik), Wydawnictwa Naukowe Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Białej Podlaskiej, Biała Podlaska 2004, str. 180
- [7] J.M. Olchowik, I. Józwik, R. Tomaszewski, D. Szymczuk, J. Adamczyk, T. Cieplak, K. Zabielski, J. Mucha, Optimization of work conditions of solar cells in hybrid solar system under conditions of Southeast Poland, Technical Digest of the International PVSEC-14, Bangkok, Thailand 26-30 January 2004, vol. I, p.495.
- [8] J.M. Olchowik, I. Jozwik, K.J. Cieslak, D. Szymczuk, K. Zabielski, J. Mucha, J. Banas, J. Adamczyk, T. Cieplak, A. Zdyb, Response of the Solar Cells in Hybrid System to Insolation Conditions of South-Easterly Poland, Proc. of 20<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 6-10 June 2005, Barcelona (Spain), (CD) p. 2974.
- [9] J.M. Olchowik, S. Gułkowski, K. Cieślak, I. Józwik, J. Adamczyk, R. Tomaszewski, D. Szymczuk, J. Banaś, K. Zabielski, J. Mucha, Monitoring i optymalizacja wykorzystania energii solarnej w Politechnice Lubelskiej, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej 229 (2006) 371.
- [10] J.M. Olchowik, K.Cieslak, S. Gulkowski, I. Jozwik, J. Banas, G. Olchowik, K. Zabielski, J. Adamczyk, R. Tomaszewski, Comparative analysis of solar cells efficiency in stationary and navigated hybrid systems under southeast Poland conditions, IEEE 2006 Proc. of 4<sup>th</sup> World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, Hawaii, 7-12 May 2006, 2506.
- [11] J.M. Olchowik, S. Gulkowski, K. Cieslak, I. Jozwik, J. Banas, S. Olchowik, A. Zdyb, D. Szymczuk, J. Adamczyk, R. Tomaszewski, K. Zabielski, J. Mucha, T. Cieplak, Comparative study of the solar modules performance in the hybrid system in South-easterly Poland during first two years of exploitation, Proc. of 21<sup>th</sup>

- European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 4-8 September 2006, Dresden (Germany), 3049.
- [12] J.M.Olchowik, S.Gulkowski, K.Cieslak, S.Olchowik, K.Zabielski, I.Jozwik, D.Szymczuk, J.Adamczyk, R.Tomaszewski, analysis of the influence of diffuse solar radiation on the efficiency of photovoltaic conversion at south-eastern Poland conditions, Proc. of 21th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 3-7 September 2007, Milan (Italy), 3238.
- [13] Jan Marian Olchowik, Robert Tomaszewski, Jerzy Adamczyk, Slawomir Gulkowski, Krystian Cieslak, Krzysztof Zabielski, Four years exploitation analysis of the hybrid solar system in South-eastern Poland conditions, Proc. of 23th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 1-5 September 2008, Valencia (Spain) 3084.
- [14] Jan Marian Olchowik, Krystian Cieslak, Michał Sordyl, Slawomir Gulkowski, Analysis of the photovoltaic development under south-east Poland conditions, Proc. of 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 21-25 September 2009, Hamburg (Germany) 4458.
- [15] Jan Marian Olchowik, Robert Tomaszewski, Krystian Cieslak, Slawomir Gulkowski, Jerzy Adamczyk, Comparison analysis of the photovoltaic modules efficiency working in a hybrid system after five years of exploitation under south-east Poland conditions, Proc. of 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 21-25 September 2009, Hamburg (Germany) 4042.
- [16] J. M. Olchowik, K. Cieslak, S. Gulkowski, J.Mucha, M. Sordyl, K. Zabielski, D.Szymczuk, A. Zdyb, Progress of development of PV systems in south-eastern Poland, Proc. 35PVSEC Conf. Honolulu, Hawaii, 20-25 Jun 2010, p. 002397.

## **STUDY ON THE EFFICIENCY OF THE PV CONVERSION FOR LUBLIN REGION**

### **S u m m a r y**

The study presents problems connected with the decennial analysis of the solar system working that was installed in the south-east of Poland. The follow the sun system and the land-based one with using the module PV cooling and the module PV without cooling have been submitted for comparative analysis. The comparison of the energy gained from particular photomodules will allow choosing the most optimal configuration for the Lublin region. conditions in the future. The amount of sunny hours in the Lublin region has been taken into account in the research. The energy crisis and rising energy prices and increasing rigor of emission standards are a major reason for interest in alternative energy sources. Energy derived from the sun is the most primary form of energy generation. Natural is the direct use of the solar energy. Use of PV systems is the most environmentally friendly form of the production of both electric and thermal energy. Currently in Poland is not possible to completely eliminate the conventional energy. The solar power plants as a future source of energy is able to effectively complement the shortages in the peak demand for electricity during the day. The use of diffuse sources does not affect the transmission network infrastructure. PV systems can be successfully used in areas with poorly developed transmission network. The climatic conditions in Poland are comparable with those of Germany, where PV systems are developed for many years. The research in the area of south-eastern Polish (Lublin) confirmed the effectiveness of this form of energy production. Analysis of hours of sunshine, as well as research carried out at the Technical University of Lublin during the

10-year study of PV systems allow you to clearly confirm the desirability of developing photovoltaic technologies.

**Keywords:** photovoltaics, energy efficiency, solar energy, follow the sun system

DOI:10.7862/rb.2014.117

*Przesłano do redakcji: 25.11.2014 r.*

*Przyjęto do druku: 22.12.2014 r.*