

## Porównanie uzysków energii elektrycznej z poziomych polikrystalicznych i pionowych monokrystalicznych instalacji fotowoltaicznych w warunkach północno-wschodniej Polski

**Streszczenie.** Artykuł przedstawia wyniki porównawczych badań symulacyjnych i empirycznych ilości energii elektrycznej uzyskiwanej z generatora polikrystalicznego pochylonego pod kątem 15° oraz generatora monokrystalicznego ustawionego pionowo, usytuowanych w północno-wschodniej Polsce. Obliczono miesięczne oraz roczne uzyski energii elektrycznej. Dane empiryczne porównano z wynikami symulacji komputerowych programem PV Sol.

**Abstract.** The article presents the results of comparative studies of simulation and empirical amount of electricity generated by the generator polycrystalline inclined at an angle of 15° and a vertical generator monocrystalline, located in north-eastern Poland. Was calculated monthly and annual yields of electricity. Empirical data were compared with the results of computer simulation program PV Sol. **Comparative studies of electricity generated by the generator polycrystalline inclined at an angle of 15° and a vertical generator monocrystalline, located in north-eastern Poland**

**Słowa kluczowe:** energia słoneczna, generator fotowoltaiczny, efektywność instalacji PV.

**Keywords:** solar energy, photovoltaic generator, the efficiency of PV installations.

### Wstęp

Rynek fotowoltaiczny zarówno w Polsce jak i na świecie dynamicznie się rozwija. Obowiązujące w Polsce regulacje prawne w zakresie pozyskiwania i sprzedaży energii wyprodukowanej w małych jak i dużych instalacjach mają znaczący wpływ na rozwój sektora „energii odnawialnej” [1]. W Polsce w okresie od 2011 roku do 2013 liczba firm zajmujących się produkcją paneli fotowoltaicznych i dystrybucją elementów elektrowni PV wzrosła od 6 do 198 [2]. Prowadzone są badania efektywności instalacji fotowoltaicznych stacjonarnych [3,4,5,6], jak i nadających [7,8,9] w różnych konfiguracjach.

Celem badań było porównanie ilości energii elektrycznej uzyskiwanej z różnych systemów fotowoltaicznych eksploatowanych w warunkach klimatycznych północno-wschodniej Polski. Analizie poddano dwie instalacje fotowoltaiczne: (1) zawierającą polikrystaliczne panele PV zainstalowane jako zadaszenia wiat parkingowych pod kątem 15° w stosunku do płaszczyzny poziomej oraz (2) zawierającą monokrystaliczne panele zainstalowane pionowo na południowej ścianie budynku (Rys 1). Na podstawie przeprowadzonych badań określono efektywność energetyczną obu instalacji i porównano je zarówno w stosunku rocznym jak i miesięcznym. Dane empiryczne zebrane w okresie jednego roku porównywano z wynikami symulacji komputerowych przy zastosowaniu programu obliczeniowego PVSOL.

### Charakterystyka badanych instalacji

Badane instalacje fotowoltaiczne rozpoczęły pracę we wrześniu 2014.

W skład pierwszej instalacji (rys.1) wchodzi 111 paneli polikrystalicznych chińskiej firmy Yingli Solar YL250P-29B, każdy o powierzchni 1,63m<sup>2</sup>. Panele zainstalowano jako zadaszenia dwóch wiat parkingowych o łącznej mocy 27,75 kWp i powierzchni całkowitej 181,3m<sup>2</sup>. Stanowią one trzy generatory fotowoltaiczne (dwa po 36 paneli i jeden o 39 panelach) połączonych z trzema inwerterami Kaco Powador 10.0 TL. Panele są zorientowane 20° od południa w kierunku zachodnim oraz pochylone pod kątem 15° w stosunku do płaszczyzny poziomej.

Drugą instalację (rys. 1) stanowi zestaw 63 paneli monokrystalicznych SW250 Mono Black niemieckiej firmy

SolarWord o mocy 15,75 kWp oraz powierzchni 1,59 m<sup>2</sup> każdy. Całkowita powierzchnia paneli zainstalowanych na południowej fasadzie budynku wynosi 100 m<sup>2</sup>. Połączono je w trzy szeregi z inwerterem G4 SMA Sunny TriPower 1500TL.

Badane instalacje fotowoltaiczne posiadają moduły o mocach 250 Wp co oznacza, że dla mocy jednostkowej 1 kWp należy przyjąć powierzchnię czterech paneli. W przypadku modułów polikrystalicznych wykorzystanych na zadaszeniach wiat parkingowych 1kWp stanowi powierzchnię 6,52 m<sup>2</sup>, natomiast dla paneli monokrystalicznych zainstalowanych na fasadzie budynku na 1kWp zainstalowanej mocy przypada powierzchnia 6,36 m<sup>2</sup>.



Rys. 1. Instalacja (1) - 111 paneli polikrystalicznych jako zadaszenie wiat parkingowych, instalacja (2) fasadowa, złożona z 63 paneli monokrystalicznych.

Analizie poddano wyniki pomiarów ilości wyprodukowanej energii elektrycznej w okresie od 01 października 2014 roku do 30 września roku 2015. Układ pomiarowy rejestrował ilości energii elektrycznej wytworzonej przez poszczególne generatory fotowoltaiczne. Uzyskane wartości energii elektrycznej odniesiono do jednostkowej powierzchni 1m<sup>2</sup> oraz jednostkowej zainstalowanej mocy generatora PV- 1kWp. Określona przez producenta panelu jego moc nominalna wyrażona w Wp, gdzie litera "p" będąca oznaczeniem angielskiego

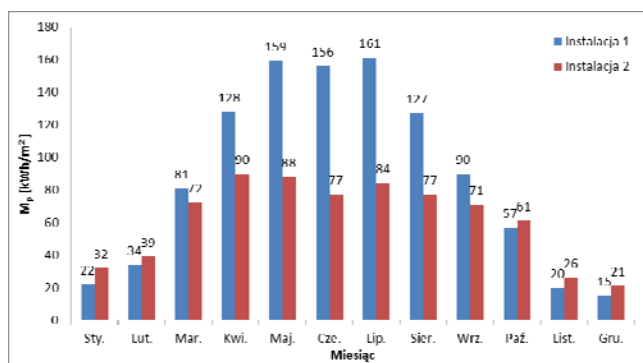
wyrazu "peak" oznacza moc zmierzoną w tzw. warunkach STC (Standard Test Conditions). Warunki STC w których sprawdzane są standardowo właściwości paneli fotowoltaicznych, określają między innymi temperaturę panelu 25°C oraz natężenie promieniowania słonecznego 1000 W/m<sup>2</sup>.

### Charakterystyka symulacyjnego programu PV Sol

Program PV Sol jest jednym z dostępnych na rynku narzędzi do wykonywania obliczeń spodziewanych zysków energetycznych z instalacji fotowoltaicznych. Zawiera moduł MeteoSyn pozwalający wyznaczać uzyski energii systemu fotowoltaicznego wykorzystując dane klimatyczne z różnych lokalizacji geograficznych z wieloletnich okresów (www.valentin-software.com). Przy zastosowaniu programu wyznaczono miesięczne ilości energii słonecznej napromieniowanej na powierzchnię zadaszeń oraz pionową fasadę budynku. Następnie wykonano symulacje miesięcznych ilości energii elektrycznej uzyskiwanej z obu instalacji oraz wyznaczono ich sprawności.

### Wyniki badań symulacyjnych

Na rysunku 2 przedstawiono miesięczne prognozy ilości całkowitej (bezpośredniej i rozproszonej) napromieniowanej energii słonecznej na jednostkową powierzchnię (M<sub>p</sub>) wyrażone w [kWh/m<sup>2</sup>] uzyskane z symulacji programu PV Sol. Symulacje wykazały, że roczne wartości energii napromieniowanej na jednostkową powierzchnię wiat wynoszą 1050 kWh/m<sup>2</sup> i były o 42% bardziej napromieniowane niż powierzchnia fasady budynku, której roczny strumień energii wyniósł 738 kWh/m<sup>2</sup>.

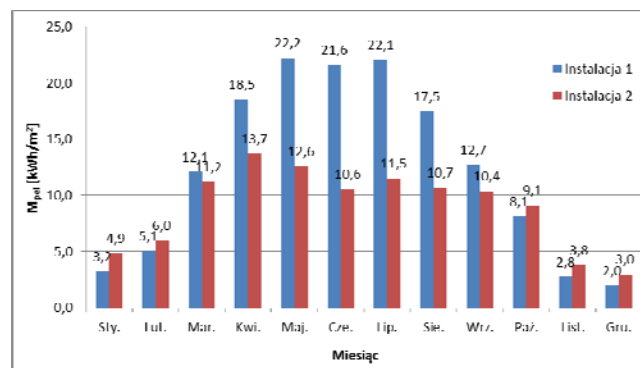


Rys. 2. Miesięczne prognozy M<sub>p</sub> uzyskane z symulacji programem PV Sol.

Prognozowane miesięczne wartości energii napromieniowanej na jednostkową powierzchnię instalacji pierwszej w maju, czerwcu, lipcu osiągają wartości rzędu 160 kWh/m<sup>2</sup> natomiast ilość energii napromieniowanej na powierzchnię instalacji drugiej osiąga wartość od 77 do 88 kWh/m<sup>2</sup> co jest dwukrotnie niższe od napromieniowania instalacji pierwszej. W kwietniu i sierpniu instalacja pierwsza uzyskuje strumień energii słonecznej o wartości 128 kWh/m<sup>2</sup> natomiast instalacja druga osiąga wartości odpowiednio 90 kWh/m<sup>2</sup> w kwietniu i 77 kWh/m<sup>2</sup> w sierpniu co stanowi podobny poziom jak w maju, czerwcu i lipcu. W marcu i wrześniu napromieniowanie instalacji pierwszej wynosi odpowiednio 81 kWh/m<sup>2</sup> i 90 kWh/m<sup>2</sup> i jest nieznacznie wyższe od strumienia energii słonecznej docierającej do instalacji drugiej wynoszącego około 72 kWh/m<sup>2</sup> w tych miesiącach. W pozostałych miesiącach (październiku, listopadzie, grudniu, styczniu i lutym) strumień energii napromieniowanej na instalację pierwszą przewyższał nieznacznie napromieniowanie na instalację drugą. Wartości energii napromieniowanej wynosiły odpowiednio w październiku 61 kWh/m<sup>2</sup> dla instalacji drugiej, 57 kWh/m<sup>2</sup> dla instalacji pierwszej. Najniższe

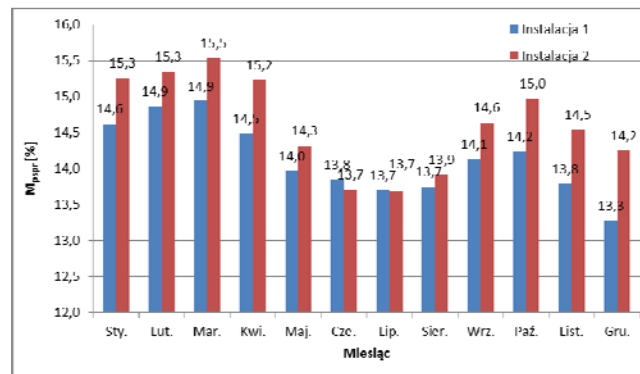
wartości prognozowane były w grudniu (21 kWh/m<sup>2</sup> dla instalacji drugiej i 15 kWh/m<sup>2</sup> dla instalacji pierwszej). Nieznaczny wzrost napromieniowania prognozowany był w styczniu (32 kWh/m<sup>2</sup> dla instalacji drugiej i 22 kWh/m<sup>2</sup> dla instalacji pierwszej) i lutym (39 kWh/m<sup>2</sup> dla instalacji drugiej i 34 kWh/m<sup>2</sup> dla instalacji pierwszej).

Na rysunku 3 przedstawiono prognozy miesięcznych produkcji energii elektrycznej (M<sub>pei</sub>) przez generatory zadaszeń wiat parkingowych oraz generator zainstalowany na fasadzie budynku. Prognozowane roczne ilości uzyskanej energii elektrycznej z generatorów zadaszeń wiat wynoszą 147,8 kWh/m<sup>2</sup>, natomiast prognozowana roczna jednostkowa energia wytworzona przez generator instalacji drugiej była niższa o 27% i wyniosła 107,4 kWh/m<sup>2</sup>.



Rys. 3. Miesięczne prognozy uzysków jednostkowej energii elektrycznej M<sub>pei</sub> wykonane programem symulacyjnym PV Sol.

W celu zobrazowania prognoz średnich miesięcznych sprawności (M<sub>pspr</sub>) uzyskiwanych przez instalacje fotowoltaiczne wyznaczono stosunki prognoz energii uzyskanej do energii napromieniowanej w poszczególnych miesiącach roku. Wyniki zostały przedstawione na rysunku 4.



Rys. 4. Miesięczne prognozy sprawności instalacji fotowoltaicznej M<sub>pspr</sub>.

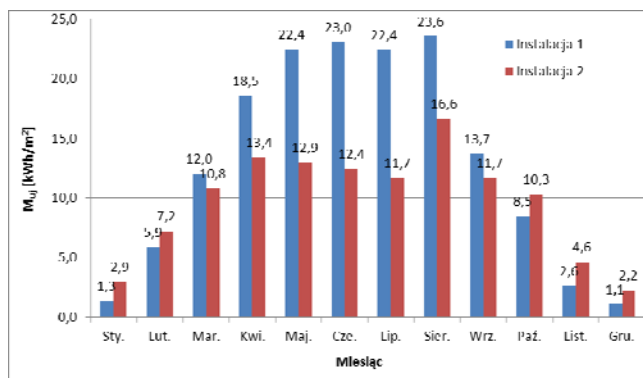
Prognozowana średnia roczna sprawność instalacji pierwszej wyniosła 14%, natomiast instalacja druga uzyskała prognozę średniej rocznej sprawności na poziomie 14,5%. Średnie miesięczne prognozy sprawności modułów wykonanych z ogniw polikrystalicznych wahały się od 13,3% w grudniu do 14,9% w marcu i były niższe od prognoz sprawności modułów monokrystalicznych wahaających się od 13,7% w lipcu do 15,5% w marcu poza miesiącami czerwcem i lipcem w których sprawności obu instalacji były zbliżone.

### Wyniki badań empirycznych instalacji fotowoltaicznych

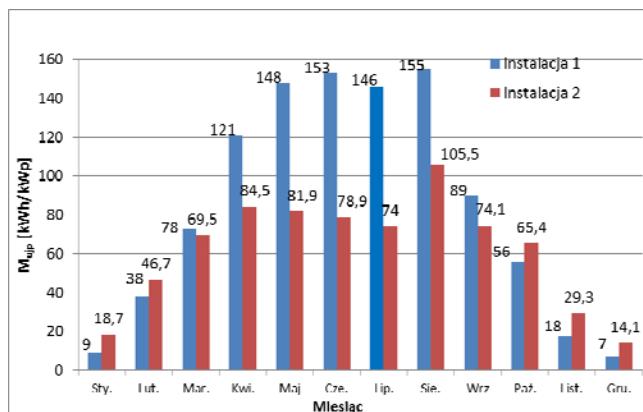
Wyniki pomiarów energii elektrycznej wytworzonej przez instalacje fotowoltaiczne i przesłanej do sieci energetycznej uzyskane w okresie od 1 października 2014 roku do 30 września 2015 roku przedstawione zostały na rysunku 5. W

celu porównania odniesiono ilość wyprodukowanej energii do 1m<sup>2</sup> powierzchni instalacji fotowoltaicznej. Stosunkowo wysokie miesięczne ilości wyprodukowanej energii ( $M_{uj}$ ) z instalacji pierwszej odnotowano w maju (22,4 kWh/m<sup>2</sup>), czerwcu (23 kWh/m<sup>2</sup>), lipcu (22,4 kWh/m<sup>2</sup>) i najwyższa odnotowana w sierpniu (23,6 kWh/m<sup>2</sup>). W tych miesiącach produkcja energii elektrycznej z instalacji drugiej była blisko dwukrotnie niższa i wynosiła odpowiednio w maju (12,9 kWh/m<sup>2</sup>), czerwcu (12,4 kWh/m<sup>2</sup>), lipcu (11,7 kWh/m<sup>2</sup>) i najwyższa odnotowana w sierpniu (16,6 kWh/m<sup>2</sup>). Podobne ilości energii elektrycznej wyprodukowały obie instalacje w miesiącach marca i wrześniu, gdzie instalacja pierwsza uzyskała 13% wyższe wartości jednostkowe od instalacji drugiej wynoszące odpowiednio dla instalacji pierwszej: w marcu (12,4 kWh/m<sup>2</sup>) i wrześniu (13,7 kWh/m<sup>2</sup>) przy produkcji instalacji drugiej w marcu (10,8 kWh/m<sup>2</sup>) i wrześniu (11,7 kWh/m<sup>2</sup>). W pozostałych miesiącach okresu jesieni i zimy instalacja druga produkowała większe ilości energii od paneli instalacji pierwszej. W październiku instalacja pierwsza wyprodukowała (8,5 kWh/m<sup>2</sup>), natomiast instalacja druga wytworzyła 13% więcej energii (10,3 kWh/m<sup>2</sup>). W lutym uzyskano z instalacji pierwszej jeszcze (5,9 kWh/m<sup>2</sup>) natomiast instalacja druga wytworzyła o 18% więcej energii (7,2 kWh/m<sup>2</sup>). Najniższe ilości produkowanej energii elektrycznej odnotowano w listopadzie (instalacja pierwsza 2,6 kWh/m<sup>2</sup>, instalacja druga 4,6 kWh/m<sup>2</sup>), grudniu (instalacja pierwsza 1,1 kWh/m<sup>2</sup>, instalacja druga 2,2 kWh/m<sup>2</sup>) i styczniu (instalacja pierwsza 1,3 kWh/m<sup>2</sup>, instalacja druga 2,9 kWh/m<sup>2</sup>). W miesiącach tych instalacja druga wyprodukowała dwukrotnie większe ilości energii od instalacji pierwszej.

Roczna jednostkowa produkcja energii elektrycznej uzyskana z instalacji pierwszej wyniosła 155 kWh/m<sup>2</sup> natomiast drugiej o 32% mniej czyli 116,8 kWh/m<sup>2</sup>.



Rys. 5. Miesięczne uzyski jednostkowej energii elektrycznej  $M_{uj}$ .



Rys. 6. Miesięczne uzyski jednostkowej energii elektrycznej  $M_{ujp}$ .

Na rysunku 6 przedstawiono wyniki miesięcznych produkcji energii elektrycznej ( $M_{ujp}$ ) odniesionych do 1kWp zainstalowanej mocy paneli według warunków STC. W przypadku modułów polikrystalicznych wykorzystanych na zadaszeniach wiat parkingowych 1kWp stanowi powierzchnię 6,52 m<sup>2</sup>, natomiast dla paneli monokrystalicznych zainstalowanych na fasadzie budynku na 1kWp zainstalowanej mocy przypada powierzchnia 6,36 m<sup>2</sup>.

Najwyższe miesięczne ilości wyprodukowanej energii przez instalację pierwszą odnotowano w maju (148 kWh/kWp), czerwcu (153 kWh/kWp), lipcu (146 kWh/kWp) i najwyższa odnotowana w sierpniu (155 kWh/kWp). W tych miesiącach produkcja energii elektrycznej z instalacji drugiej była prawie dwukrotnie niższa i wynosiła odpowiednio w maju (89 kWh/kWp), czerwcu (78 kWh/kWp), lipcu (74 kWh/kWp) i najwyższa w sierpniu (105,5 kWh/kWp). Podobne ilości energii elektrycznej wyprodukowały instalacje w miesiącach marca i wrześniu, gdzie z instalacji pierwszej uzyskano 13% wyższe wartości jednostkowe od instalacji drugiej wynoszące odpowiednio w marcu (78 kWh/kWp) i wrześniu (89 kWh/kWp) przy produkcji instalacji drugiej w marcu (69,5 kWh/kWp) i wrześniu (74,1 kWh/kWp). W pozostałych miesiącach okresu jesieni i zimy instalacja druga produkowała większe ilości energii od paneli instalacji pierwszej. W październiku panele instalacji pierwszej wyprodukowały jeszcze (56 kWh/kWp), natomiast instalacja druga wytworzyła 16% więcej energii (65,4 kWh/kWp). W lutym uzyskano z instalacji pierwszej jeszcze (38 kWh/kWp) natomiast instalacja druga wytworzyła 21% więcej energii (46 kWh/kWp). Najniższe ilości produkowanej energii elektrycznej odnotowano w listopadzie (instalacja pierwsza 18 kWh/kWp, instalacja druga 29,3 kWh/kWp), grudniu (instalacja pierwsza 7 kWh/kWp, instalacja druga 14,1 kWh/kWp) i styczniu (instalacja pierwsza 9 kWh/kWp, instalacja druga 18,7 kWh/kWp). W miesiącach tych instalacja druga wyprodukowała dwukrotnie większe ilości energii od paneli instalacji pierwszej.

Roczna jednostkowa produkcja energii elektrycznej uzyskana z instalacji pierwszej wyniosła 1022 kWh/kWp natomiast instalacja druga wyprodukowała jednostkowo o 37% mniej energii czyli 742 kWh/kWp.

#### Porównanie wyników symulacji komputerowych i faktycznie uzyskiwanych ilości energii elektrycznej

Z symulacji wykonanych przy zastosowaniu programu PV Sol wynika, że roczne wartości energii napromieniowanej na jednostkową powierzchnię paneli instalacji pierwszej przewyższają o 42% napromieniowanie powierzchni instalacji drugiej. Rozbieżność ta jest szczególnie wyraźna w miesiącach letnich (przykładowo w czerwcu ilość energii uzyskanej z powierzchni jednostkowej instalacji pierwszej przewyższył dwukrotnie ilość energii z instalacji drugiej). Według prognoz komputerowych roczna produkcja energii elektrycznej z paneli polikrystalicznych instalacji pierwszej przewyższa o 27% produkcję z generatorów monokrystalicznych instalacji drugiej.

W świetle danych empirycznych roczna jednostkowa produkcja energii elektrycznej z instalacji fotowoltaicznej pierwszej wyniosła 155 kWh/m<sup>2</sup> (1022 kWh/kWp), co przewyższyło o 32% uzyski z instalacji drugiej. Największe różnice w ilości energii elektrycznej wytworzonej z obu instalacji odnotowano w miesiącach letnich. W okresie od kwietnia do sierpnia jednostkowa produkcja energii elektrycznej z modułów polikrystalicznych umieszczonych w zadaszeniach wiat przewyższyła o 70% analogiczne dane dla paneli monokrystalicznych usytuowanych na fasadzie budynku.

Można zatem uznać, że wyniki symulacji komputerowych trafnie prognozowały rzeczywiste uzyski energii elektrycznej: roczne wartości uzyskane przewyższyły wyniki symulacji o 4,8% dla generatora polikrystalicznego poziomego i o 8,7% dla pionowego monokrystalicznego. Rozbieżności te wynikają z faktu, że lato w badanym okresie było wyjątkowo słoneczne i upalne, a symulacje komputerowe bazują na uśrednionych danych meteorologicznych z okresów wieloletnich.

Zwrócić też należy uwagę na różnice w uzyskanej ilości energii elektrycznej z porównywanych instalacji. Z informacji zawartych w specyfikacjach technicznych producentów zastosowanych paneli wynika, że ich sprawności w warunkach STC są zbliżone i wynoszą odpowiednio dla monokrystalicznych 14,91%, zaś dla polikrystalicznych 15,3%. Zatem zaobserwowane różnice w ilości faktycznie uzyskiwanej energii elektrycznej wynikają głównie ze stopnia nachylenia paneli do płaszczyzny poziomej: z paneli umiejscowionych prawie poziomo uzyskano o około 1/3 więcej energii elektrycznej niż z umiejscowionych pionowo.

Uzyskane ilości energii wyprodukowanej przez generatory PV można też rozpatrywać z punktu widzenia redukcji emisji dwutlenku węgla, którą można osiągnąć dzięki zastosowaniu systemów fotowoltaicznych. W okresie badanego roku z obu analizowanych instalacji fotowoltaicznych łącznie uzyskano 39 786,9 kWh energii elektrycznej. Referencyjny wskaźnik jednostkowej emisyjności dwutlenku węgla przy produkcji energii elektrycznej w Polsce według KOBiZE wynosi 812 g/kWh [10]. W zestawieniu z takim założeniem wyprodukowanie i dostarczenie równoważnej ilości energii elektrycznej uzyskanej z obu badanych instalacji odpowiadałoby emisji dwutlenku węgla 32 307 kg CO<sub>2</sub>.

#### Wnioski

1. Wyniki symulacji komputerowych trafnie prognozowały rzeczywiste uzyski energii elektrycznej (roczne wartości wyprodukowanej energii elektrycznej przewyższyły wyniki symulacji o 4,8% dla generatora polikrystalicznego poziomego nachylonego pod kątem 15° i o 8,7% dla pionowego monokrystalicznego ze względu na wyjątkowo słoneczne lato w badanym okresie).
2. Roczna jednostkowa produkcja energii elektrycznej z generatora fotowoltaicznego polikrystalicznego nachylonego pod kątem 15° przewyższyła o 32% uzyski z paneli monokrystalicznych na pionowej fasadzie budynku. W okresie od maja do sierpnia różnice te sięgały nawet rzędu 70 - 90 %.
3. Z informacji zawartych w specyfikacjach technicznych producentów zastosowanych paneli ich sprawności w warunkach STC są zbliżone (wynoszą odpowiednio dla

monokrystalicznych 14,91%, zaś dla polikrystalicznych 15,3%). Zatem zaobserwowane różnice w ilości faktycznie uzyskiwanej energii elektrycznej wynikają głównie ze stopnia nachylenia paneli do płaszczyzny poziomej: z paneli umiejscowionych prawie poziomo uzyskano o około 1/3 więcej energii elektrycznej niż z umiejscowionych pionowo.

4. Analizowane instalacje fotowoltaiczne w rocznym okresie wytworzyły 39 786,9 kWh energii elektrycznej co pozwoliło uniknąć emisji dwutlenku węgla w ilości 32 307 kg CO<sub>2</sub>.

*Autorzy: dr hab. inż. Piotr Sołowiej E-mail – pit@uwm.edu.pl, dr inż. Maciej Neugebauer, dr inż. Maciej Wesołowski, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Katedra Elektrotechniki Energetyki Elektroniki i Automatyki, Marcin Tejszowski, ELTEL Networks Energetyka S.A.,*

#### LITERATURA

- [1] Szczerbowski R.: Instalacje fotowoltaiczne – aspekty techniczno-ekonomiczne, Przegląd Elektrotechniczny, R.90, nr 10/2014, s. 31-36
- [2] Rosołek, K., Santorska A., Więcka A.: Polski rynek PV w liczbach. Czysta Energia, 10, 2013, s. 28-30.
- [3] Zapałowicz Z.i Konieczny S.: Analiza parametrów pracy instalacji fotowoltaicznych z Zachodniopomorskim Uniwersytecie Technologicznym w Szczecinie. Instal nr 4. 2010
- [4] Foad H. G., Fatima R., Abdollah A.: A literature review on estimating of PV-array hourly power under cloudy weather conditions. Renewable and Sustainable Energy Reviews (63), 2016, s. 579-592
- [5] Plangklang B., Thanomsat N., Phuksamak T.: A verification analysis of power quality and energy yield of a large scale PV rooftop. Energy Reports 2 (2016), s. 1–7
- [6] Akash Kumar Shukla, K. Sudhakar, Prashant Baredar.: Simulation and performance analysis of 110 kWp grid-connected photovoltaic system for residential building in India: A comparative analysis of various PV technology. Energy Reports 2 (2016), s. 82–88
- [7] Myczko A., Kartowski J., Lenarczyk J.: Porównanie efektywności energetycznej zestawu modułów fotowoltaicznych stacjonarnych i pracujących w układzie nadążnym w warunkach gospodarstwa rolnego, Problemy Inżynierii Rolniczej, 4, 2010, s. 91-99.
- [8] Frydrychowicz-Jastrzebska G., Bugała A.: Energetic effectiveness of photovoltaic modules operating with the follow-up systems. Przegląd Elektrotechniczny, R.89, 1, 2013, s. 253-255
- [9] Frydrychowicz-Jastrzebska G., Bugała A.: Comparison of the efficiency of solar modules operating with a two-axis follow-up system and with a fixed mount system. Przegląd Elektrotechniczny, R.90, 1, 2014, s. 63-65
- [10] Mirowski A.: Podręcznik dobrych praktyk w zakresie doboru i wykorzystania odnawialnych źródeł energii oraz likwidacji niskiej emisji. ARL Mirowski. Kraków 2015