

Tomasz MIROWSKI*, Krzysztof SORNEK**

Potencjał energetyki prosumenckiej w Polsce na przykładzie mikroinstalacji fotowoltaicznych w budownictwie indywidualnym

STRESZCZENIE: Rozwój fotowoltaiki na świecie w ostatnich latach i związany z tym spadek cen modułów fotowoltaicznych spowodował, że wzrosło zainteresowanie wielu państw, w tym Polski, w zakresie zwiększenia udziału instalacji PV w krajowym bilansie OZE. Na szczególną uwagę zasługują mikroinstalacje prosumeckie o mocy do 10 kW_p. Dzięki takim instalacjom idea *smart grid* będzie mogła stać się realna, a w przyszłości niezbędna dla poprawnego funkcjonowania systemu elektroenergetycznego. W artykule przedstawiono obecną sytuację na światowym rynku PV, ceny, technologie oraz analizę przypadku wzrostu liczby instalacji prosumenckich PV w nowo powstających budynkach jednorodzinnych w latach 2016–2020 w związku z realizacją programu „Prosument”.

SŁOWA KLUCZOWE: energetyka prosumencka, fotowoltaika, OZE

Wprowadzenie

Nowa ustawa o odnawialnych źródłach energii, która została uchwalona 20 lutego 2015 roku przez Sejm RP, wprowadziła zasadnicze zmiany w zakresie mikro- i małych instalacji opartych

* Dr inż. – Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków;
e-mail: mirowski@min-pan.krakow.pl.

** Mgr inż. – Katedra Zrównoważonego Rozwoju Energetycznego, Wydział Energetyki i Paliw, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków; e-mail: ksornek@agh.edu.pl.

na źródłach odnawialnych. Za mikroinstalacje przyjmuje się te o mocy do 40 kW_e lub osiągalnej mocy cieplnej w skojarzeniu do 120 kW_t, natomiast instalacje określone jako małe mają mieć odpowiednio moc większą niż 40kW_e, lecz do 200 kW_e lub w skojarzeniu moc cieplną większą niż 120 kW_t do 600 kW_t (Ustawa OZE 2015). Wspomniane instalacje otrzymują w Ustawie OZE szczególne wsparcie, aby w krótkim czasie pobudzić rynek OZE w Polsce. Dzięki takim instalacjom idea *smart grid* będzie mogła stać się realna, a w przyszłości niezbędna dla poprawnego funkcjonowania systemu elektroenergetycznego. Szerokie ujęcie tej problematyki porusza w swojej pracy (Popczyk 2013), a o niezbędnych zmianach w obecnej strukturze rynku energii pisze (Kaleta i in. 2014).

W artykule autorzy podjęli próbę oceny potencjału energetyki prosumenckiej na przykładzie instalacji fotowoltaicznych o mocy 3,5 kW_p, które instalowane w nowopowstających budynkach w latach 2016–2020 będą mogły przynieść określone efekty.

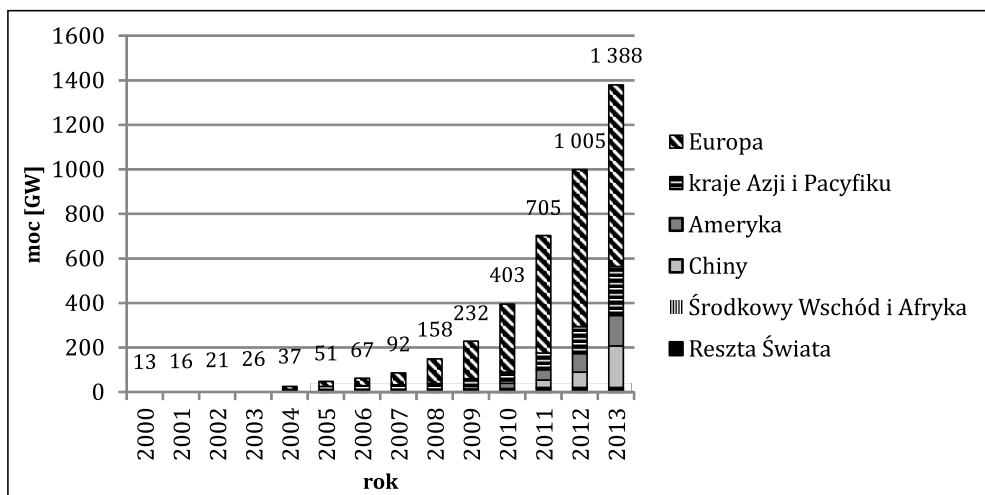
1. Rozwój fotowoltaiki

Odkrycie francuskiego fizyka Alexandre’a Edmonda Becquerela w 1839 roku zjawiska fotowoltaicznego nie zapoczątkowało ery urządzeń do wytwarzania energii elektrycznej z promieni słonecznych. Dopiero 115 lat później tzw. zimna wojna pomiędzy USA a ZSRR skłoniła naukowców do skonstruowania komercyjnego ogniwa fotowoltaicznego. W Bell Laboratories wykonano pierwsze takie ogniwa, które miały zastosowanie w technice kosmicznej do zasilania satelitów. Sprawność pierwszych ogniw PV wynosiła 6% (APS 2009). Początki rynku ogniw fotowoltaicznych wywodzą się z USA i Japonii, gdzie wprowadzono na rynek masowy ogniwa fotowoltaiczne do zasilania małych urządzeń elektroniki użytkowej, jak kalkulatory, zegarki a nawet radia tranzystorowe. W 1960 roku sprawność ogniw krzemowych sięgnęła 14% (Hoffman Electronics) i od tego momentu zaczęły powstawać instalacje baterii PV do produkcji energii elektrycznej. Największa jak na ówczesne czasy o mocy 242 W powstała w 1962 roku w Japonii. Służyła do oświetlania domu (The History... 2008).

Dynamiczny rozwój tej części sektora OZE na świecie można jednak przyjąć od końca lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku. Moc zainstalowana w 1998 roku na świecie wynosiła wtedy 566 MW, z czego 133 MW przypadało na Japonię, 65 MW na Europę, na Australię 23 MW i 17 MW na Amerykę Północną. Liderami w Europie były Niemcy (18 MW), Włochy (17 MW) i Szwajcaria (10 MW) (BP Statistical... 2014). Tendencje te odwróciły się po konsekwentnej implementacji w krajach członkowskich UE polityki energetyczno-klimatycznej ukierunkowanej na rozwój odnawialnych źródeł energii i ochronę środowiska przyrodniczego. Największy przyrost mocy zainstalowanej w Europie notuje się od 2005 roku. Na rysunku 1 przedstawiono skumulowane przyrosty mocy zainstalowanej w fotowoltaice z podziałem na regiony świata.

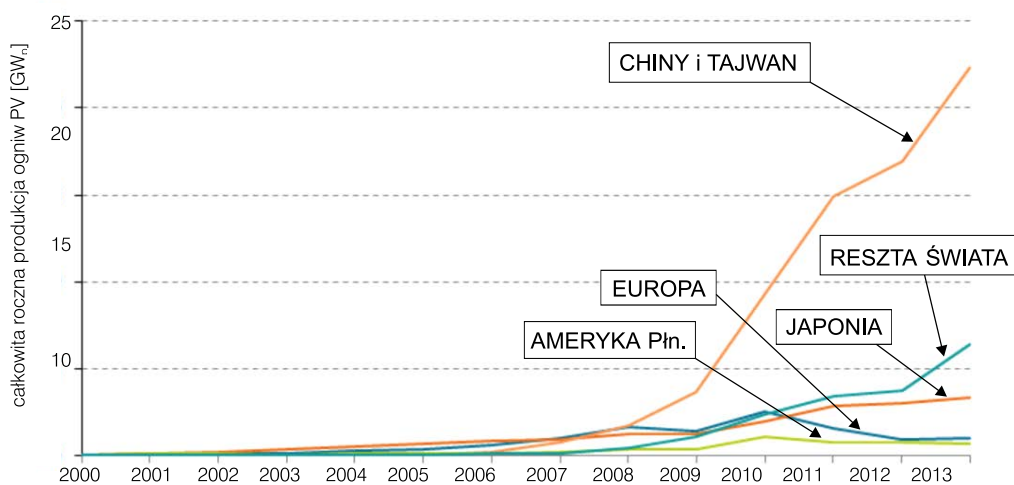
Liderem w tym wyścigu jest od 10 lat Europa, lecz inwestycje w Ameryce Północnej, Japonii, Australii i Chinach w ostatnich 3 latach nabrały zawrotnego tempa. Największym producentem ogniw fotowoltaicznych są obecnie Chiny i Tajwan, które od 2008 roku przewyższyły liczbą wyprodukowanych paneli PV wszystkie pozostałe regiony (rys. 2).

Statystyki rozwoju tego drugiego co do wielkości sektora OZE na świecie dzielą instalacje PV na 4 grupy instalacji: wielkoskalowe naziemne (ang. *ground mounted*), przemysłowe (ang. *in-*



Rys. 1. Skumulowana moc zainstalowana w fotowoltaice w latach 2000–2013 w wybranych częściach świata
 Źródło: na podstawie (EPIA 2014)

Fig. 1. Cumulative capacity of PV by regions in 2000–2013



Rys. 2. Produkcja przemysłowa ogniw PV według regionów świata w latach 2000–2013
 Źródło: na podstawie (Fraunhofer 2014)

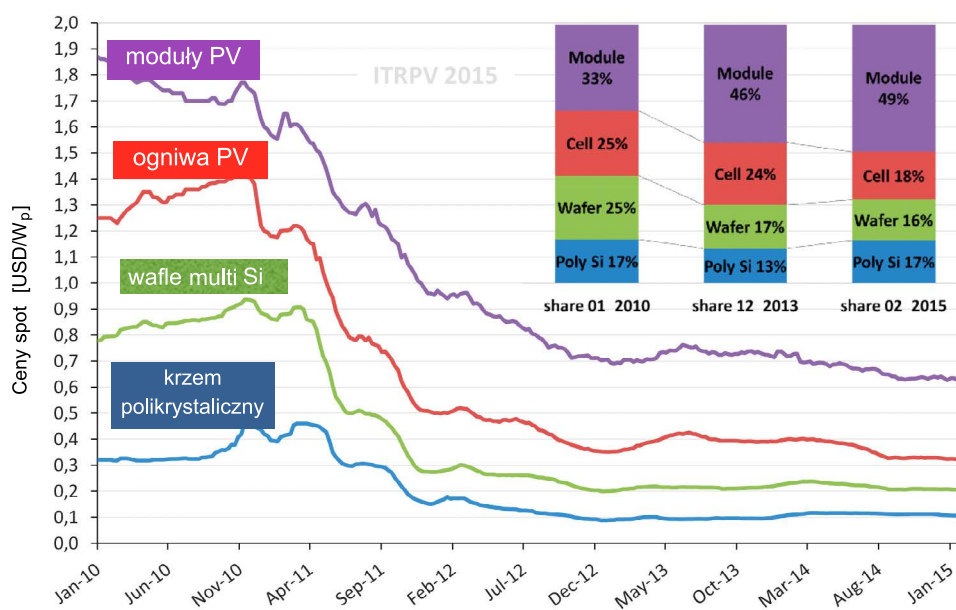
Fig. 2. PV production industry by region [2000–2013]

dustrial rooftop), komercyjne (ang. *commercial rooftop*) oraz domowe (ang. *residential*). Grupa instalacji przemysłowych i komercyjnych dotyczy instalacji montowanych na dachach budynków (EPIA 2014).

W Polsce fotowoltaika nie rozwinęła się tak, jak w niektórych krajach UE, ze względu na brak wsparcia tego typu instalacji. Od 2008 roku powoli przybywa instalacji, lecz ich moc ze względu na charakter pracy (poza siecią, ang. *off-grid*) nie była duża. W 2008 roku 800 kW (w tym 600 kW *off-grid*), w 2010 roku 1,1 MW (w tym 0,8 MW *off-grid*) w 2012 roku 3,6 MW (2,2 MWp *off-grid*). Obecnie według danych URE z marca 2015 roku, łączna moc 119 instalacji fotowoltaicznych w Polsce wynosi 21 MWp (URE 2015).

2. Ceny modułów PV

Panele fotowoltaiczne składają się z wielu elementów, takich jak: aluminiowa rama, uszczelka, szyba, folia laminująca i ogniwa PV. Ogniwa z kolei składają się z połączonych ze sobą tzw. wafli krzemowych (ang. *wafers*), które wycięte są z krzemowego bloku o odpowiednim kształcie. Ostatnie z wymienionych elementów są przedmiotem handlu na światowym rynku PV. Na rysunku 3 przedstawiono zmiany cen krzemu polikrystalicznego, wafli krzemowych, ogniw



Rys. 3. Ceny krzemu polikrystalicznego, wafli multikrystalicznych, ogniw i modułów PV (założenia: 44,1 wafli na kg gdzie ~22,7 g/wafel, średnia sprawność ogniw 17,3% (4,21 W_p)); wewnętrzny wykres: zestawienie udziałów cen poszczególnych elementów modułów PV pomiędzy 01/2010, 01/2013 i 02/2015 (przy cenach odpowiednio 1,86 (0,72 i 0,62 USD/W_p))

Źródło: na podstawie (ITRPV 2015)

Fig. 3. Price trends for poly-Si, mc-Si wafers, cells, and c-Si modules (assumption: 44.1 Wafers per kg with ~22.7g/wafer, average mc-Si cell efficiency of 17.3% (4,21W_p); inset: comparison of the proportion of the price attributable to different module cost elements between 01/2010, 01/2013 and 02/2015 (1.86, 0.72, and 0.62 USD/W_p))

PV oraz gotowych modułów. Cena tych ostatnich w okresie ubiegłych pięciu lat spadła o niemal 67%. Dane szczegółowe dotyczące cen pochodzą od producentów polikrystalicznych modułów PV z Europy, Chin, Tajwanu i USA w celu utworzenia międzynarodowej mapy drogowej technologii fotowoltaicznych (ITRPV 2015). Inne źródła podają ceny uśrednione dla modułów polikrystalicznych na poziomie 0,6 EUR/Wp (Niemcy), 0,63 EUR/Wp (Japonia, Korea), 0,54 EUR/Wp (Chiny) oraz 0,47 EUR/Wp (Azja Płd.-Wsch., Tajwan) (PV Magazine 2015).

Na początku 2015 roku ceny hurtowe wynosiły 0,45 EUR/Wp (Płd. Azja), 0,53 EUR/Wp (Chiny), 0,59 EUR/Wp (Niemcy) (PV Magazine 2015). Obserwowane zmiany cen na rynkach światowych przyczynią się do wzrostu inwestycji fotowoltaicznych w Polsce, a także w krajach, gdzie udział wykorzystania energii słonecznej za pomocą ogniw PV jest znikomy bądź niewielki.

3. Energetyka prosumencka

Pojęcie „prosument” nie jest nowym określeniem. Funkcjonuje od lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku, wprowadzone do słownika przez futurologa Alvina Tofflera (Toffler 1980) jako połączenie słów *producer* i *consumer*. W środowisku IT przyjęto, że prosumenci są to użytkownicy programów komputerowych, którzy mając możliwość jednocześnie korzystania z tzw. wolnego oprogramowania (jako konsumenci), jak i współtworzyć go, dopisują własne fragmenty kodu lub na jego podstawie tworzą nowe oprogramowanie (jako producenci). Inne znaczenie słowa prosument pochodzi od zestawienia angielskich słów *professional* i *consumer*. Określa ono amatora sprzętu elektronicznego, który nabywając wysokiej klasy nowy sprzęt staje się profesjonalistą (np. posiadacz aparatu fotograficznego kompaktowego, który nabył aparat typu „lustrzanka”). Spotyka się także kontaminację słów *pro-active* i *consumer*. Oznacza ono osobę, która poprzez nabycie pewnego dobra wysokiej jakości i w najlepszej według niego na rynku cenie, wkracza w świat aktywnych konsumentów zorientowanych w cenach podobnych produktów, często porównując ich właściwości, i dąży do ich ulepszania. Jednym z licznych przykładów mogą być samochody, w których podczas zakupu możemy konfigurować elementy wyposażenia, rodzaj silnika, a w okresie eksploatacji „uzbroić” w nowocześniejszą elektronikę, wymienić felgi stalowe na aluminiowe czy poddać tuningowi. Poziom wiedzy kupującego po finalizacji transakcji często wprowadza w zakłopotanie sprzedawcę. Podobnie jest w przypadku komputerów stacjonarnych, aparatów fotograficznych z wymienną optyką itp.

Prosument na rynku energii jest postrzegany jako odbiorca energii, który jednocześnie konsumuje i produkuje energię elektryczną. Jest to jednak bardzo uproszczona definicja, która bez zrozumienia przemian zachodzących w energetyce, sprowadza się do Kowalskiego, który jako prosument będzie zarabiał kosztem zwykłych odbiorców końcowych energii, przysparzając przy tym samych problemów uczestnikom rynku, na regulatorze kończąc. Przejście z *homo energetica* (Popczyk 2013) zdanego na oddzielny zakup produktów jak energia elektryczna, ciepło czy paliwa transportowe od korporacyjnych dostawców jest procesem długofalowym, ale z całą pewnością już się rozpoczął. Nowa ustawa o OZE nie definiuje wprost pojęcia prosument, mimo że, jak wykazano w pracy (Kacejko i in. 2015), najwięcej dyskusji i publikacji na temat ustawy o OZE dotyczyło właśnie prosumenta. Ustawa określa jedynie prawa i obowiązki wytwórcy

energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii, który jest osobą fizyczną i nie wykonuje działalności gospodarczej.

4. Mikroinstalacje fotowoltaiczne

Panele fotowoltaiczne zbudowane są z pojedynczych ogniw fotowoltaicznych (fotoogniw), które generują napięcie elektryczne pod wpływem oddziaływującego na nie promieniowania słonecznego. Fotoogniwa słoneczne są produkowane z materiałów półprzewodnikowych, w tym najczęściej z krzemu (Si), germanu (Ge), seleniu (Se). Wyróżnić można 3 generacje ogniw fotowoltaicznych, różniących się pomiędzy sobą parametrami, i obejmujących:

- ✧ I generacja: ogniwa monokrystaliczne (sc-Si), polikrystaliczne (mc-Si) oraz wielozłączowe ogniwa (mj-cells), które ze względu na wysokie koszty materiałowe stosowane były w technice kosmicznej,
- ✧ II generacja: ogniwa cienkowarstwowe z krzemu amorficznego (a-Si), ogniwa cienkowarstwowe wykonane z wykorzystaniem półprzewodnikowego tellurku kadmu (Cd-Te), ogniwa cienkowarstwowe wykonane z mieszaniny półprzewodników takich jak miedź, ind, gal, selen (CIGS),
- ✧ III generacja: ogniwa barwnikowe, których działanie oparte jest na zasadzie sztucznej syntezy (DSSC – *Dye Sensitized Solar Cells*).

Typowe sprawności ogniw poszczególnych generacji przedstawione zostały w tabeli 1.

TABELA 1. Rodzaje ogniw fotowoltaicznych i ich sprawność

TABLE 1. Generations of PV cells and their efficiency

Generacje ogniw fotowoltaicznych – sprawność [%]								
I generacja			II generacja				III generacja	
mj – cells	sc – Si	mc – Si	a-Si:H	μc-Si	CdTe	CI(G)S	DSSC	oSC
30–43%	14–22%	13–18%	6–9%	6–11%	9–11%	10–12%	12,3%	4–6%

W typowych zastosowaniach do zasilania budynków mieszkalnych lub współpracy z siecią energetyczną system fotowoltaiczny zbudowany jest z jednego lub większej liczby modułów fotowoltaicznych połączonych szeregowo i tworzących tzw. łańcuch (w celu zwiększenia sumarycznego napięcia). Aby uzyskać odpowiednio wysoką wartość prądu wyjściowego, łańcuchy łączy się równolegle, tworząc macierz fotowoltaiczną.

Na rynku dostępny jest obecnie szeroki wachlarz modułów fotowoltaicznych o różnej wielkości, ponadto produkowane są specjalne jednostki przeznaczone do integracji z dachami i fasadami budynków. Moc pojedynczych modułów nie przekracza 250 W_p (watów mocy szczytowej, z ang. *Watt peak*). Określenie „moc szczytowa” odnosi się do mocy dostarczanej przez moduły w warunkach umownych, tj. przy mocy promieniowania słonecznego 1000 W/m² i tempera-

turze otoczenia równej 25°C. W praktyce panele fotowoltaiczne pracują w zmiennych warunkach atmosferycznych, w związku z czym ilość produkowanej przez nie energii elektrycznej jest mniejsza niż podawana teoretycznie. Poza zmianami mocy promieniowania słonecznego, pod uwagę bierze się m.in. szacunkową wartość strat związanych ze zmianami temperatury (ok. 6,4%), kątem odbicia promieni słonecznych (ok. 2,9%) oraz spadkiem napięcia na przewodach, w falowniku i innych elementach (ok. 14,0%) (Sornek i in. 2015).

Jak zostało podane, ogniwa fotowoltaiczne uzyskują najwyższą sprawność przy temperaturze poniżej 25°C. Wzrost temperatury ponad tę wartość powoduje obniżenie efektywności konwersji w stopniu uzależnionym od rodzaju zastosowanego materiału. Jak podano w pracy (Bożek i in. 2014), nadmierne nagrzewanie się ogniw PV zamontowanych na dachach budynków powoduje spadek sprawności paneli na poziomie równym nawet 0,5%/1°C.

Dla uzyskania wysokiej wydajności pracy paneli fotowoltaicznych, duże znaczenie ma ich prawidłowe usytuowanie. Optymalne ustawienie to pochylenie paneli pod kątem 30–40° oraz skierowanie ich w kierunku południowym. Tak zlokalizowana instalacja fotowoltaiczna, z 1 kWp mocy zainstalowanej (STC) może wyprodukować około 950–1025 kWh energii elektrycznej rocznie (w polskich warunkach klimatycznych). Wskaźnik ten uzależniony jest od technologii paneli fotowoltaicznych, zastosowanego inwertera oraz lokalizacji.

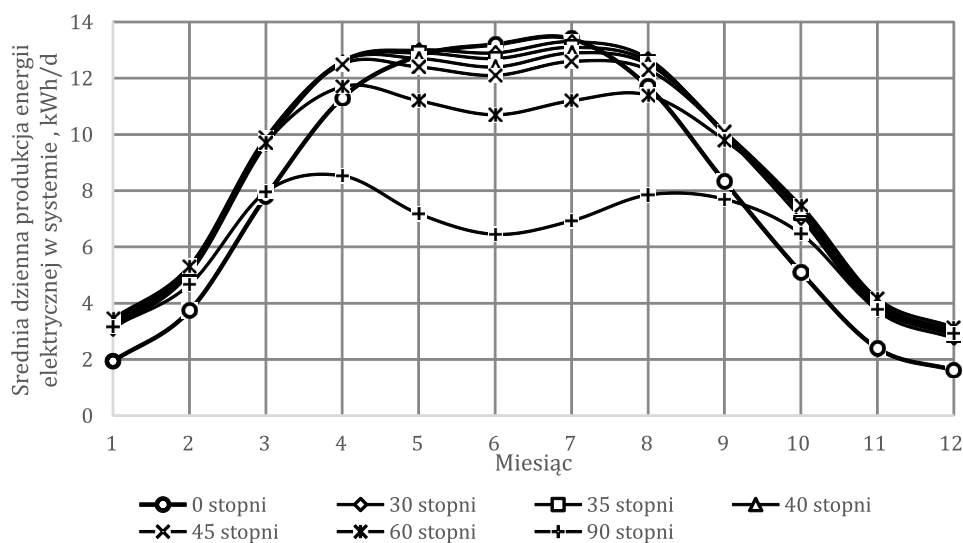
5. Systemy *on-grid* i *off-grid*

Istnieją dwie zasadnicze możliwości zastosowania systemów fotowoltaicznych: układy *on-grid* i *off-grid*. Systemy typu *on-grid* są połączone z istniejącymi sieciami energetycznymi. Niezależnie od zapotrzebowania energetycznego zasilanego obiektu, energia elektryczna wytworzona w panelach fotowoltaicznych wprowadzana jest do sieci energetycznej. W takim układzie linia energetyczna działa jak bufor o prawie nieskończonej pojemności. Stwarza to możliwość sprzedaży nadmiaru energii elektrycznej do sieci, co jest istotą systemów prosumenckich. W odróżnieniu od systemów *on-grid*, systemy typu *off-grid* (tzw. systemy wyspowe) pracują jako całkowicie autonomiczne źródła energii, niewymagające do swojej pracy podłączenia do linii elektrycznej. W tego typu przypadkach stosuje się dodatkowe bufory energii – akumulatory, które znacznie zwiększają efektywność całego systemu, magazynując nadwyżki wytworzonej energii.

6. Potencjał systemów fotowoltaicznych w przypadku budynków jednorodzinnych

Zakładając, że dostępna dla paneli fotowoltaicznych powierzchnia dachu wynosi 20–30 m² (zakładamy dach skośny, gdzie moduły będą montowane w płaszczyźnie dachu) możemy przyjąć moc zainstalowaną systemu PV na poziomie 3,5 kW_p.

Wydajność instalacji fotowoltaicznej jest uzależniona w głównej mierze od jej lokalizacji (tj. od warunków nasłonecznienia właściwych dla danego obszaru). Pod uwagę należy wziąć tutaj, poza położeniem geograficznym, również orientację względem stron świata oraz kąt, pod jakim nachylone zostaną moduły. Dla przykładowej lokalizacji Krakowa, średniodobowa produkcja energii elektrycznej w instalacji fotowoltaicznej wyposażonej w moduły polikrystaliczne o mocy $3,5 \text{ kW}_p$, w zależności od kąta nachylenia modułów (dla kierunku południowego) oraz orientacji względem stron świata (przy nachyleniu 35 stopni), przedstawiona została na rysunkach 4 i 5. W obliczeniach wykorzystano narzędzie PVGIS.

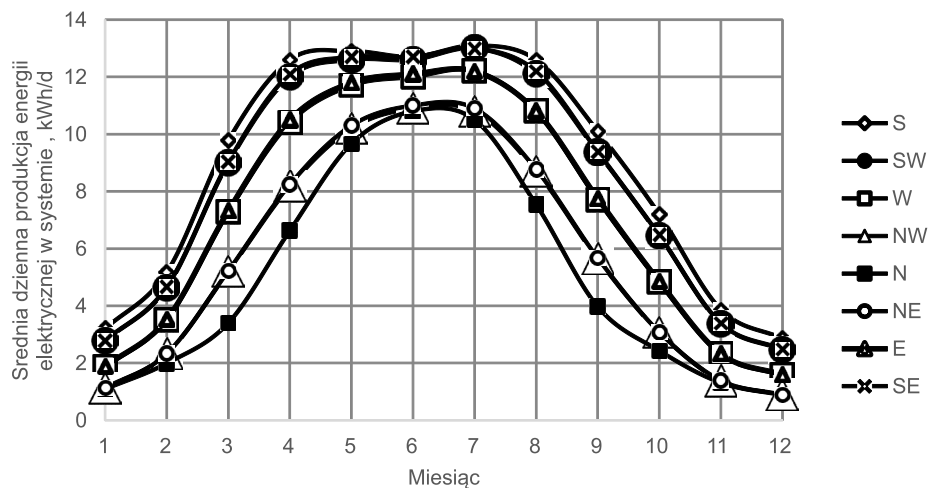


Rys. 4. Średniodobowa produkcja energii elektrycznej w instalacji fotowoltaicznej z modułami polikrystalicznymi o mocy $3,5 \text{ kW}_p$, w zależności od kąta nachylenia modułów (dla kierunku południowego)

Fig. 4. Average daily electricity production from the given system (kWh), depending on the inclination of the modules (declination = south)

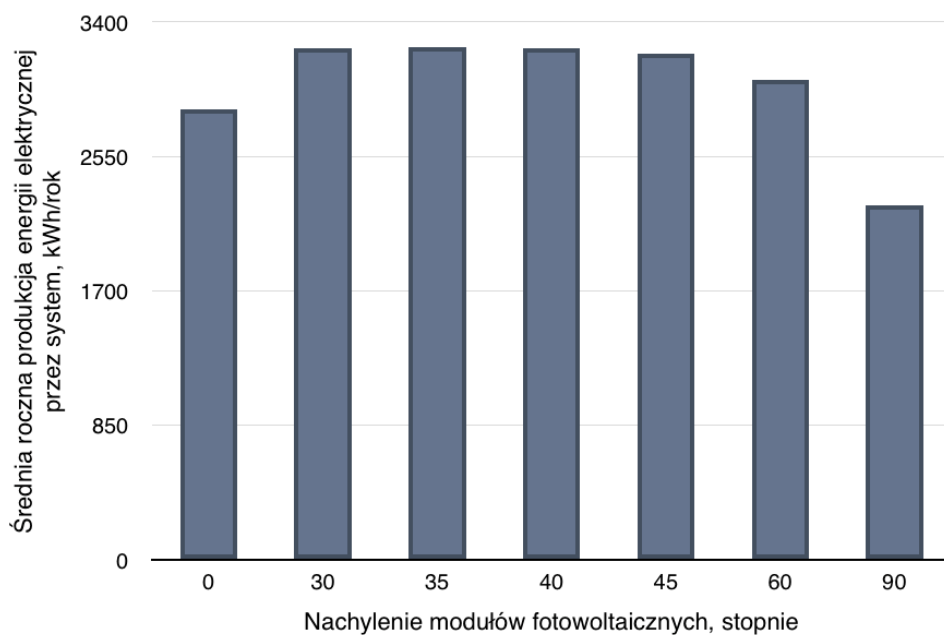
Zestawienie średniorocznych wartości energii elektrycznej, możliwych do uzyskania w instalacji fotowoltaicznej z modułami polikrystalicznymi o mocy $3,5 \text{ kW}_p$, w zależności od kąta nachylenia modułów (dla kierunku południowego), zostało przedstawione na rysunku 6. Podobne zestawienie, w zależności od orientacji modułów względem stron świata (dla nachylenia 35 stopni), zostało ukazane na rysunku 7.

Z przedstawionych wykresów wynika, że najbardziej korzystne w przypadku Krakowa będzie skierowanie modułów fotowoltaicznych na południe i nachylenie ich pod kątem 35 stopni. Zastosowanie dachu skośnego, poza możliwością uzyskania wysokich wartości produkowanej energii elektrycznej, ma dodatkową zaletę. Odpowiednio nachylone moduły fotowoltaiczne charakteryzują się tzw. samoodśnieżaniem – topniejący pod wpływem promieniowania słonecznego śnieg zsuwa się po stosunkowo śliskiej powierzchni modułów. W ten sposób, bez dodatkowych nakładów finansowych, zapewniona zostaje poprawna praca instalacji fotowoltaicznej (Andrews i in. 2013).



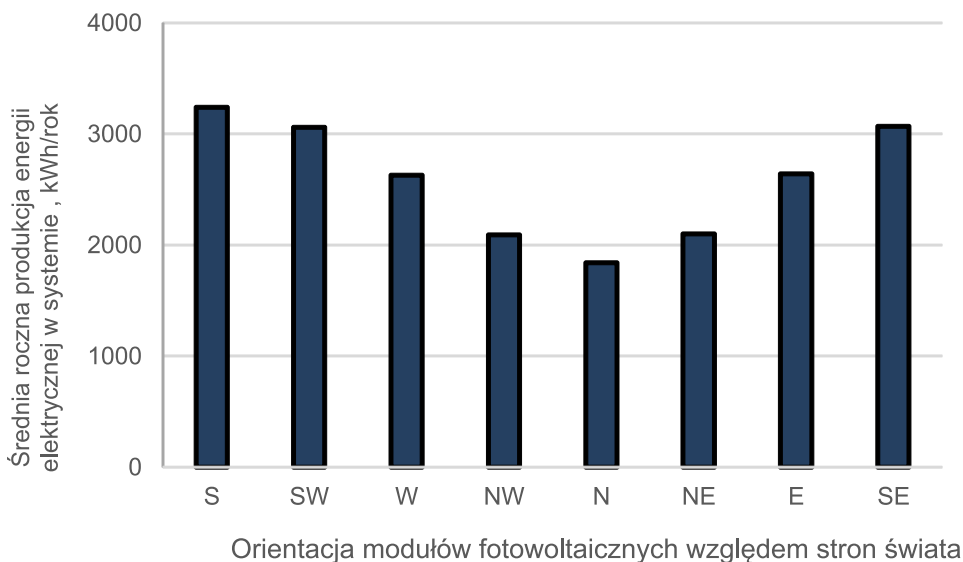
Rys. 5. Średniodobowa produkcja energii elektrycznej w instalacji fotowoltaicznej z modułami polikrystalicznymi o mocy 3,5 kW_p, w zależności od orientacji (dla nachylenia 35 stopni)

Fig. 5. Average daily electricity production from the given system (kWh), depending on the declination of the modules (inclination = 35 degrees)



Rys. 6. Średnioroczna produkcja energii elektrycznej w instalacji fotowoltaicznej z modułami polikrystalicznymi o mocy 3,5 kW_p, w zależności od kąta nachylenia modułów (dla kierunku południowego)

Fig. 6. Average yearly electricity production from the given system (kWh), depending on the inclination of the modules (declination = south)



Rys. 7. Średnioroczna produkcja energii elektrycznej w instalacji fotowoltaicznej z modułami polikrystalicznymi o mocy 3,5 kW_p, w zależności od orientacji (dla nachylenia 35 stopni)

Fig. 7. Average yearly electricity production from the given system (kWh), depending on the declination of the modules (inclination = 35 degrees)

7. Dyskusja wyników i podsumowanie

Liczba mieszkań w budownictwie indywidualnym oddawanych do użytkowania od 2008 roku oscyluje w granicach 70–81 tys./rok (GUS 2014). Wartość średnią na poziomie 77 tys. mieszkań rocznie można przyjąć za stałą w okresie 4 najbliższych lat. Jest to okres, w jakim program „Prosument” wprowadzony przez NFOŚiGW będzie wspierał finansowanie instalacji OZE, w tym mikro-PV. Zakładając, że co piąty indywidualny inwestor budujący nowy dom jednorodzinny zdecyduje się na mikroinstalację PV o średniej mocy 3,5 kW_p oraz przyjmując, że średni profil zużycia energii elektrycznej w gospodarstwie domowym pozwoli na uzyskanie 3240 kWh_e, to – przy uwzględnieniu średniego zużycia energii elektrycznej w przeliczeniu na jedno gospodarstwo domowe na poziomie 2056 kWh_e (Tomczykowski 2014) – otrzymujemy roczną wartość energii elektrycznej wyprodukowanej i przekazanej do sieci równą 1184 kWh_e. To daje po pierwszych 4 latach wsparcia potencjalnie około 215 MW_p mocy zainstalowanej oraz około 73 GWh_e wytworzonej energii.

Analizowany przypadek uwzględnił jedynie nowo powstające budynki mieszkalne w budownictwie indywidualnym, gdyż indywidualny inwestor analizuje wiele technologii w zakresie zaopatrzenia w energię elektryczną i ciepło/chłód własny dom. Łatwiej jest zatem podjąć mu decyzję oraz odpowiednio zaprojektować cały budynek. Jest to jedynie jeden z wielu scenariuszy, które mogą wystąpić w najbliższych latach w związku z wejściem Ustawy OZE w życie.

Dynamika rozwoju energetyki prosumenckiej w Polsce nie jest w obecnym czasie do przewidzenia. Zachowania przyszłych prosumentów w zakresie inwestycji w instalacje oparte na źródłach energii odnawialnej, po tak długim oczekiwaniu na ustawę OZE, będą raczej ostrożne. Dlatego też, według autorów tej publikacji, nie należy spodziewać się gwałtownego wzrostu mocy zainstalowanej na dachach budynków mieszkalnych w najbliższych latach. Rozważna i poparta częstymi analizami sytuacji rynkowej oraz dostępnych technologii polityka Ministerstwa Gospodarki, w zakresie udziału OZE z mikroinstalacji, może zapewnić stabilny rozwój tej nowej gałęzi gospodarki.

Literatura

- ANDREWS i in. 2013 – ANDREWS, R.W., POLLARD, A. i PEARCE, J.M. 2013. The Effects of Snowfall on Solar Photovoltaic Performance. *Solar Energy* nr 92.
- APS News. A publication of American Physical Society. Vol. 18, No. 8. April 2009.
- BOŻEK, E. i in. 2014. *Analiza mocy ogniw fotowoltaicznych w skoncentrowanym promieniowaniu słonecznym. Interdyscyplinarne zagadnienia w inżynierii i ochronie środowiska*. Tom 4. Praca zbiorowa pod red. Traczewska T. i Kaźmierczak B. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław.
- BP Statistical Review of World Energy June 2014; [Online] Dostępne w: www.bp.com [Dostęp: 06.03.2015].
- EPIA 2014. Global Market Outlook for Photovoltaics 2014–2018. European Photovoltaic Industry Association [05.04.2015].
- FRAUNHOFER, 2014. Photovoltaics Report. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. Freiburg, 24 October.
- GUS 2014. Budownictwo mieszkaniowe w latach 2008–2014. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- ITRPV 2015: International Technology Roadmap for Photovoltaic 2014 Results [Online] Dostępne w: <http://itrvp.net> [Dostęp: 7.04.2015].
- KACEJKO, P. i in. 2015. Prosument – krajobraz po bitwie. *Rynek Energii*, KAPRINT, nr 2(117), s. 13–20.
- KALETA i in. 2014 – KALETA, M., PAŁKA, P. i ŻÓŁTOWSKA, I. 2014. Rola i funkcje agregatora z perspektywy europejskich projektów sieci inteligentnych. *Rynek Energii*, KAPRINT, nr 3(112), s. 26–31.
- POPCZYK, J. 2013. *Energetyka prosumencka – od sojuszu polityczno-korporacyjnego do energetyki prosumenckiej w prosumenckim społeczeństwie*. Publikacja cyfrowa w Bibliotece źródłowej energetyki prosumenckiej. [Online] Dostępne w: www.klaster3x20.pl [Dostęp: 21.03.2015]
- PV Magazine, 2015 – PvXchange module price index. [Online] Dostępne w: www.pv-magazine.com [Dostęp: 23.04.2015].
- SORNEK, K. i in. 2015. Uwarunkowania środowiskowe projektowania budynków energooszczędnych i pasywnych : aktywne i pasywne systemy słoneczne. *Rynek Instalacyjny* nr 3, s. 47–52.
- The History of Solar. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. Wersja elektroniczna; [Online] Dostępne w: www.energy.gov [Dostęp: 03.04.2015].
- TOMCZYKOWSKI, J. 2014. Udział gospodarstw domowych w obciążeniu KSE. *Energia Elektryczna* nr 1. [Online] Dostępne w: www.cire.pl [Dostęp: 26.05.2015].
- Ustawa OZE, 2015 – Ustawa o odnawialnych źródłach energii z dnia 20 lutego 2015 r. (Dz.U. z 2015 r. poz. 478).
- URE 2015. Cyfrowa Mapa Odnawialnych Źródeł Energii.

Tomasz MIROWSKI, Krzysztof SORNEK

Potential of prosumer power engineering in Poland by example of micro PV installation in private construction

Abstract

The development of photovoltaics in the world in recent years and decreased the prices of photovoltaic modules caused the increased the attention of many countries, including Polish, in terms of increasing the share of PV installations in the national balance of Renewable Energy Sources (RES). Particularly noteworthy are prosumer micro installations with the power to 10 kW_p. The idea of the smart grid will be able to become a reality due to these installations, and will be necessary for the proper working of the power system. The article presents the current situation in the global PV market, prices, technologies and case study of prosumer PV installations in their newly established single-family houses in the years 2016–2020 in connection with the implementation of the „Prosumer” Programme.

KEYWORDS: prosumer power engineering, photovoltaics, RES