

ANALIZA FUNKCJONOWANIA INSTALACJI FOTOWOLTAICZNEJ ZINTEGROWANEJ Z PASYWNYM BUDYNKIEM JEDNORODZINNYM

ANALYSIS OF PHOTOVOLTAIC INSTALLATION INTEGRATED WITH PASSIVE SINGLE FAMILY HOUSE

P. Nowakowski¹, R. Wnuk¹

1. Krajowa Agencja Poszanowania Energii S.A.

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono prosumencką instalację fotowoltaiczną o mocy 9,75 kW_p, zintegrowaną z budynkiem pasywnym. Zaprezentowano rzeczywiste dane z systemu monitoringu instalacji za 2018 rok. Oceniono jej funkcjonowanie przeprowadzając szczegółową analizę danych wraz z wyliczeniem zaproponowanych wskaźników efektywności. Dokonano interpretacji wskaźników i oceny zastosowanego modelu biznesowego. Opisano dedykowany prosumentom obecny system wsparcia. Wskazano kluczowe czynniki opłacalności inwestycji w systemie opustów, podając ogólne rekomendacje. Podano również metodykę doboru mocy instalacji PV działającej w systemie opustów w zależności od zapotrzebowania na energię elektryczną budynku.

ABSTRACT

Article presents prosumer photovoltaic installation with total capacity of 9,75 kW_p installed on the rooftop of passive building. Real data for 2018 gathered from PV monitoring system and on-site meteorological station were given. Based on obtained data PV installation functioning was evaluated by conducting detailed data analysis and calculation of energy performance indicators. Calculated indicators were analysed as well as applied business model. Current support scheme dedicated to prosumers in Poland was also described. Key factors of investment's profitability under net-metering scheme were underlined with recommendations for new installations. Methodology for appropriate design of PV system capacity operating under net-metering scheme, depending on electricity demand in household was also given.

WPROWADZENIE

Rynek fotowoltaiki w Polsce stale się rozwija, czego dowodem jest systematyczny przyrost mocy zainstalowanej w ostatnich latach. Roczna stopa wzrostu wielkości energii wytwarzanej w systemach fotowoltaicznych (PV) w Polsce wyniosła w latach 2013-2017 o 224% (GUS 2018). Obecnie, rozwój systemów wykorzystujących energię promieniowania

słonecznego do produkcji energii elektrycznej stymulowany jest przez dwa systemy wsparcia: aukcje energii dedykowane dużym projektom fotowoltaicznym i system opustów dla instalacji prosumenckich. Jedyną aukcją w 2018 roku dla instalacji wiatrowych i fotowoltaicznych o jednostkowej mocy nie przekraczającej 1 MW, była przeprowadzona w dniu 15 listopada aukcja o przewidzianym do wykorzystania wolumenie energii 16 065 000 MWh i wartości 6 243 300 000 zł. Jak wynika z informacji podanej przez Urząd Regulacji Energetyki, wsparcie uzyskało 554 ofert złożonych przez 251 wytwórców, o całkowitym wolumenie sprzedanej energii 8 169 917,016 MWh, na łączną wartość 2 878 556 631,19 zł. W przeprowadzonej aukcji nie wykorzystano nawet połowy przewidzianego budżetu, a wśród wygranych ofert, w zdecydowanej większości znalazły się projekty fotowoltaiczne.

Dynamicznie rozwija się też rynek instalacji prosumenckich, charakteryzujący się również dużym potencjałem, a znacznie liczniejszą grupą docelową. Rynek ten pomimo niewielkich mocy jednostkowych instalacji będzie z pewnością systematycznie zyskiwał na znaczeniu i w coraz większym wymiarze kształtował cały rynek fotowoltaiki w Polsce. W związku z tym warto spojrzeć na prosumentów, dedykowany im system wsparcia i towarzyszący mu model finansowy. Zainteresowanie budzi efektywność instalacji determinująca również ich efekt ekonomiczny. Postęp technologiczny określa lepsze parametry techniczne modułów i innych elementów instalacji. Zwiększające się możliwości i ułatwienia monitoringu parametrów instalacji, pozwalają na wszechstronną ocenę ich funkcjonowania. Artykuł przedstawia taką ocenę odniesioną do prosumenckiego systemu fotowoltaicznego o mocy 9,75 kW_p.

SYSTEM WSPARCIA INSTALACJI PROSUMENCKICH

Krajowa Agencja Poszanowania Energii S.A. (KAPE) od 1 września 2017 roku realizuje projekt programu Horyzont 2020 Komisji Europejskiej pt. „EU routes for High Penetration of solar PV into local networks” o akronimie EU-HEROES. Celem projektu jest rozwój instalacji fotowoltaicznych wśród

społeczności lokalnych i indywidualnych prosumentów. Międzynarodowe konsorcjum zrzeszające partnerów z 7 krajów europejskich prowadzi m.in. działania w celu identyfikacji i analizy modeli biznesowych dla inwestycji fotowoltaicznych. Analizie poddano również obecny w Polsce system opustów, dedykowany instalacjom prosumenckim, wprowadzony na mocy nowelizacji ustawy o odnawialnych źródłach energii z dnia 22 czerwca 2016 roku, której postanowienia weszły w życie z dniem 1 lipca 2016 r. Ideą systemu opustów jest wsparcie prosumentów (jednoczesnych producentów i wytwórców energii elektrycznej), którzy uzyskują największe korzyści przy największej bezpośredniej konsumpcji (auto-konsumpcji) produkowanej energii i „zbilansowaniu” rocznym energii pobranej i dostarczonej do sieci. System opustów polega na założeniu, że energia, która została wytworzona w mikroinstalacji OZE, przyłączonej do sieci elektroenergetycznej operatora OSD, a nie została zużyta na bieżące potrzeby, zostaje wprowadzona do sieci. Sieć elektroenergetyczna stanowi w takim przypadku „wirtualny magazyn energii”. Możliwe jest odebranie z sieci bez opłaty do 80% zmagazynowanej energii (w przypadku instalacji o mocy do 10 kW) lub 70% (w przypadku instalacji większej niż 10 kW, ale mniejszej niż 50 kW). W zależności od Spółki Obrotu, rozliczanie przeprowadzane jest w okresach rocznych lub półrocznych. Zgodnie z ustawą o OZE, z systemu opustów mogą korzystać osoby fizyczne, podmioty należące do sektora publicznego, wspólnoty mieszkaniowe czy też związki wyznaniowe. Wsparcie w formule systemu opustów przewidziane jest dla prosumentów na okres 15 lat, lecz nie dłużej niż do dnia 31 grudnia 2035 r.

PRZEDSTAWIENIE INSTALACJI FOTOWOLTAICZNEJ

Przeprowadzono ocenę funkcjonowania instalacji PV zlokalizowanej w Dąbrowie Chotomowskiej (województwo mazowieckie). Instalacja on-grid o mocy 9,75 kW_p znajduje się na dachu jednorodzinny budynku pasywnego o południowej ekspozycji. Zgodnie z obowiązującymi przepisami prosumencki system fotowoltaiczny o mocy 9,75 kW_p został zintegrowany z siecią elektroenergetyczną, która pełni funkcję "magazynu energii" w myśl idei systemu wsparcia. Dom wybudowany w 2016 roku, o powierzchni 204 m², wyposażono w pompę ciepła powietrze/woda, służącą do pokrycia zapotrzebowania na c.o. i c.w.u. oraz system wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła. Obliczeniowe zapotrzebowanie budynku na energię do celów ogrzewania/chłodzenia wyniosło 12,6 kWh/m²/rok, a budynek spełnił wymagania programu NF-15 Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Instalacja fotowoltaiczna została zwymiarowana dla całkowitego pokrycia rocznego zapotrzebowania budynku na energię elektryczną, która jest jedynym nośnikiem energii.

Monitoring pracy instalacji PV prowadzony jest za pomocą zaawansowanych układów zwanych Datamanager'ami. Dane w takich układach mogą być rejestrowane, przechowywane i prezentowane przez wyspecjalizowane oprogramowanie, dostępne w formie dedykowanej strony internetowej. Przewodowe połączenie Ethernet lub bezprzewodowe połączenia Wi-Fi są coraz częściej oferowane jako standardowe wyposażenie falowników, a przoduje w tej dziedzinie firma SMA. Dysponując połączeniem internetowym, dane można zdalnie na bieżąco uzyskiwać i analizować w dowolnym okresie czasu. Na dedykowanej stronie internetowej, udostępnionej właścicielowi instalacji i KAPE, możliwy jest odczyt danych w 15-minutowym interwale, uśrednionych wartości dziennych, miesięcznych czy rocznych produkcji energii oraz generacja odpowiednich raportów.

W przypadku badanej instalacji zastosowano układ pomiarowy (inteligentny licznik energii SMA Energy Meter), który mierząc zużycie energii przez odbiorniki zainstalowane w budynku pozwala porównywać profil produkcji instalacji fotowoltaicznej z profilem zużycia energii w budynku. Dodatkowo pozwala łatwo obliczyć stopień wykorzystania energii na potrzeby własne, a także korzyści finansowe wynikające z zainstalowania elektrowni słonecznej.

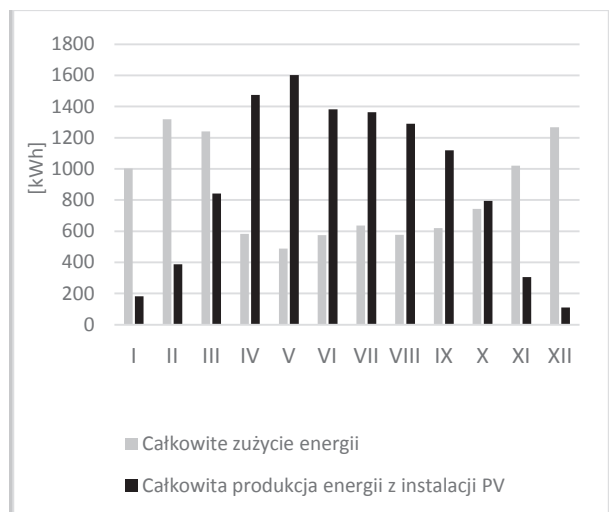
W celu prowadzenia pełnego monitoringu, w ramach projektu EU-HEROES zainstalowano 15 sierpnia 2018 roku stację pogodową. Opomiarowanie firmy SolarEdge pozwoliło na monitorowanie wartości temperatury zewnętrznej, temperatury paneli PV oraz natężenia promieniowania słonecznego, z możliwością on-line dostępu do danych.



Rys. 1. Instalacja PV o mocy 9,75 kW_p na dachu budynku, , fot. Przemysław Romaniuk

**WSKAŹNIKI OCENY FUNKCJONOWANIA
INSTALACJI PV**

Analizę danych przeprowadzono w odniesieniu do roku 2018, w którym to instalacja PV wytworzyła 10 851 kWh energii elektrycznej, przy całkowitym zużyciu energii elektrycznej na poziomie 10 070 kWh. Na rys. 2 przedstawiono produkcję energii oraz zużycie w poszczególnych miesiącach.

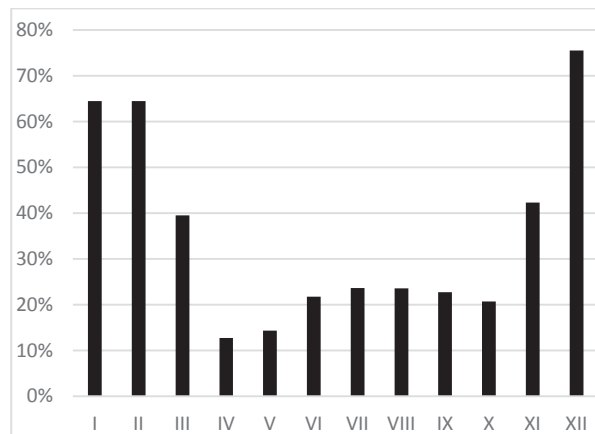


Rys. 2. Całkowite zużycie energii elektrycznej i wytwarzanie energii przez instalację PV w poszczególnych miesiącach 2018 r.

Największy uzysk energetyczny odnotowano w maju (1601 kWh), jednakże również duża produkcja energii elektrycznej wystąpiła w kwietniu (1475 kWh). Największa różnica w produkcji energii w ciągu dwóch kolejnych miesięcy dotyczy marca i kwietnia. 76% wygenerowanego w ciągu roku wolumenu energii przypadło na okres kwiecień – wrzesień, gdzie produkcja energii z 1 kW_p nie spadła poniżej 100 kWh. Różnica pomiędzy największym i najmniejszym miesięcznym uzyskiem wyniosła 1491 kWh.

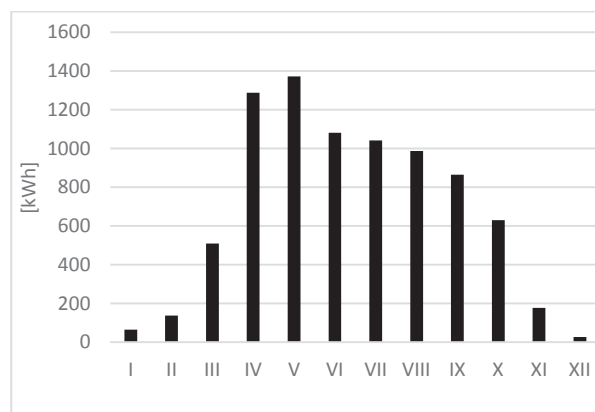
Zużycie energii w budynku jest niekoherentne do produkcji z generatora PV. W okresie od listopada do marca widoczne jest największe zapotrzebowanie na energię, związane ze zwiększonym wykorzystaniem pompy ciepła na cele grzewcze, co jest charakterystyczne dla naszego położenia geograficznego. 65% energii zużytej w 2018 roku przypadło na okres styczeń-marzec i październik-grudzień. W okresie od kwietnia do września zanotowano zbliżone wartości zużycia energii w poszczególnych miesiącach. Profil zużycia energii elektrycznej jest determinantą kluczowego czynnika opłacalności prosumenckich instalacji fotowoltaicznych - autokonsumpcji generowanej energii.

Autokonsumpcja lub inaczej współczynnik bezpośredniego (natychmiastowego) wykorzystania energii wytworzonej przez instalację fotowoltaiczną zdefiniowany jest jako iloraz energii z systemu PV zużytej przez odbiorniki domowe (bez oddawania do sieci) [kWh] i energii wyprodukowanej przez system PV [kWh] (rys. 3).



Rys. 3. Współczynnik natychmiastowego wykorzystania energii wytworzonej przez instalację fotowoltaiczną

Wielkość autokonsumpcji generowanej energii koresponduje z zużyciem energii elektrycznej w budynku. Wynika to ze znacznie zwiększonego zapotrzebowania na energię elektryczną pompy ciepła w okresie grzewczym i dużo mniejszej generacji energii w tym okresie. Stąd wielkość autokonsumpcji w grudniu wyniosła 75%. Cechą charakterystyczną dla miesięcy zimowych jest wysoka wartość autokonsumpcji, osiągnięta przy najmniejszych wolumenach energii bezpośrednio wykorzystanej. W tym okresie największy wolumen energii wyprodukowanej wykorzystano bezpośrednio w marcu (332 kWh), jednak z powodu generacji energii na poziomie 841 kWh uzyskano relatywnie niski stopień autokonsumpcji na poziomie 39,5%. Jedynie część wyprodukowanej energii została bezpośrednio wykorzystana na potrzeby budynku. Średnioroczny wskaźnik autokonsumpcji wyniósł blisko 25%, a nadwyżka energii została wprowadzona do sieci elektroenergetycznej. Wolumeny energii wyprodukowanej przez generator fotowoltaiczny i wprowadzonej do sieci elektroenergetycznej w poszczególnych miesiącach przedstawia rys. 4.



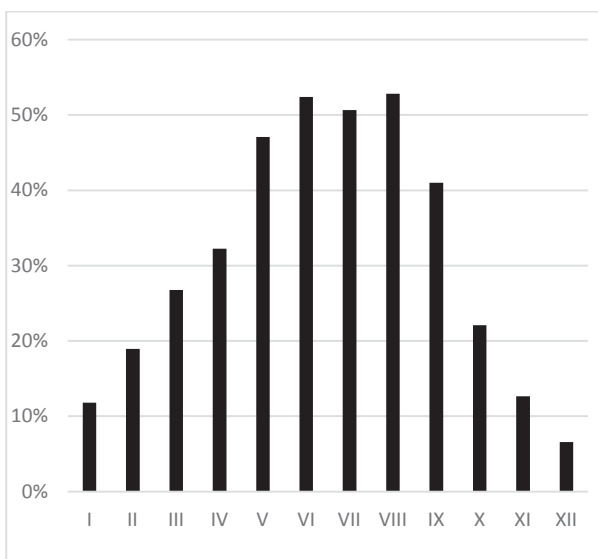
Rys. 4. Energia wytworzona w instalacji PV i wprowadzona do sieci elektroenergetycznej

Całkowita ilość energii wprowadzonej do sieci elektroenergetycznej w 2018 roku wyniosła 8 175 kWh. To pozwoliło na późniejsze odebranie energii z sieci w ilości 6 540 kWh bez ponoszenia

dodatkowych kosztów. Aby pokryć w 100% zapotrzebowanie na energię elektryczną właściciel musiał dokonać zakupu energii w ilości 1340 kWh po stawce zgodnej z obowiązującą taryfą. Z ekonomicznego punktu widzenia rozkład w czasie wprowadzonej do sieci energii nie jest istotny, z uwagi na roczne bilansowanie energii wprowadzonej do sieci i z niej odebranej, znamionujące system opustów.

Bardziej szczegółową analizę funkcjonowania systemu fotowoltaicznego umożliwiają wskaźniki, częściowo opisane w (Kyritsis et al. 2018), zaproponowane jak poniżej.

Współczynnik samowystarczalności (współczynnik niezależności energetycznej) zdefiniowano jako iloraz energii z systemu PV zużytej przez odbiorniki domowe (bez oddawania do sieci [kWh]) i całkowitego zapotrzebowania na energię w budynku [kWh] (rys. 5).

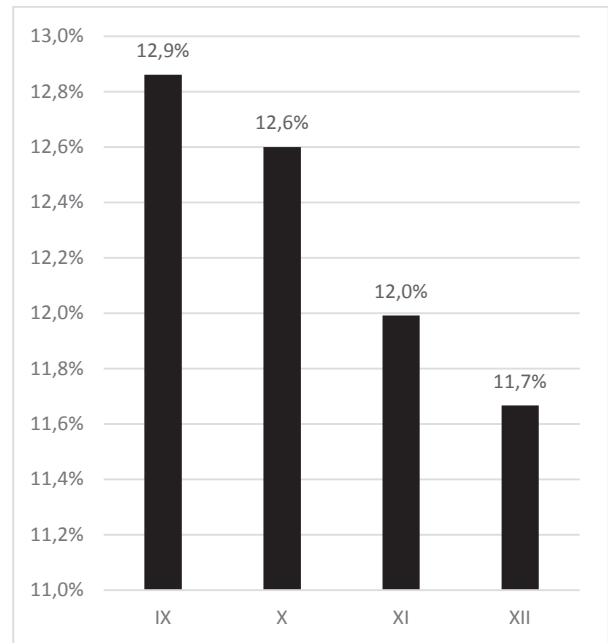


Rys. 5. Współczynnik niezależności energetycznej budynku wyposażonego w instalację PV

Średnioroczna wartość współczynnika samowystarczalności w 2018 roku wyniosła 26,6%. Zatem energia zużyta bezpośrednio pozwoliła na pokrycie w 26,6% zapotrzebowania. Nawet w miesiącach czerwiec - sierpień, przy największych wartościach napromieniowania i produkcji energii, a najmniejszym zapotrzebowaniu budynku na energię, współczynnik niezależności energetycznej niewiele przewyższa wartość 50%. Współczynnik niezależności energetycznej w znacznym stopniu wpływa na efekt ekonomiczny przedsięwzięcia. W przypadku instalacji prosumenckich im większa wartość współczynnika samowystarczalności, tym krótszy okres zwrotu inwestycji. W praktyce wartość współczynnika niezależności energetycznej dla budynków jednorodzinnych z odpowiednio dobraną mocą instalacji PV (w celu całkowitego rocznego pokrycia zapotrzebowania na energię elektryczną budynku) zazwyczaj nie przekracza 30%. Tym samym zasadne jest korzystanie z systemu opustów, pozwalającego zminimalizować niekorzystne skutki ekonomiczne wprowadzania do sieci wytworzonej energii w momencie braku zapotrzebowania.

Do wyliczenia sprawności systemu fotowoltaicznego wykorzystano wartości napromieniowania modułów fotowoltaicznych. Sprawność systemu fotowoltaicznego zdefiniowano jako iloraz energii wytworzonej przez system fotowoltaiczny i napromieniowania powierzchni modułów (rozumiana również jako sprawność konwersji energii promieniowania słonecznego na energię elektryczną netto).

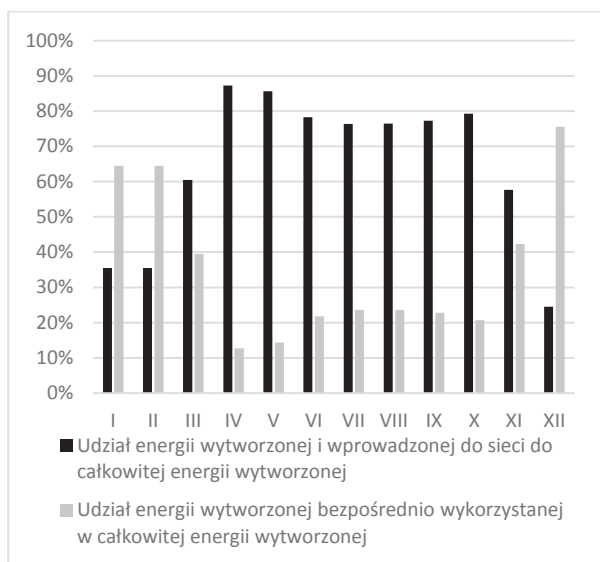
Ze względu na instalację stacji meteorologicznej w sierpniu 2018 roku, wyliczone miesięczne sprawności systemu obejmują okres od września do grudnia 2018.



Rys. 6. Sprawność systemu fotowoltaicznego

W miesiącach zimowych widoczny jest spadek całkowitej sprawności systemu fotowoltaicznego spowodowany pracą przy niskich wartościach napromieniowania. Średnia sprawność systemu w badanym okresie wyniosła 12,3%, a zanotowana wartość sprawności w grudniu była o 10% mniejsza niż we wrześniu.

Na rys. 7 zestawiono udziały energii wytworzonej w instalacji PV i wprowadzonej do sieci elektroenergetycznej oraz energii z instalacji PV bezpośrednio wykorzystanej w całkowitej energii wytworzonej w systemie PV. (Suma udziałów wynosi 100%).

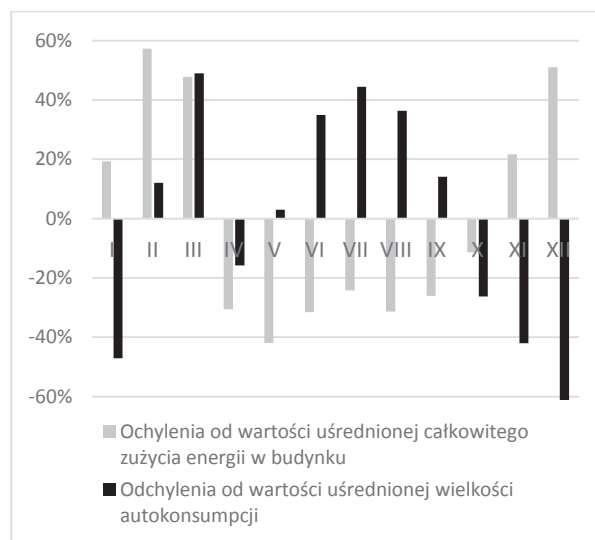


Rys. 7. Udziały energii wytworzonej w instalacji PV i wprowadzonej do sieci elektroenergetycznej oraz energii z instalacji PV bezpośrednio wykorzystanej w całkowitej energii wytworzonej w systemie PV

Średnia wartość autokonsumpcji dla 2018 roku wyniosła 24,7%, osiągając maksymalnie 75,5% w grudniu, jednakże przy najmniejszym wolumenie wytworzonej energii (110 kWh). Zaś najmniejszy udział energii bezpośrednio wykorzystanej w całkowitej energii wytworzonej zanotowano w kwietniu (12,7%). Jedynie w trzech miesiącach zimowych (styczeń, luty, grudzień), ilość energii zużytej bezpośrednio przewyższyła wolumen wprowadzony do sieci elektroenergetycznej. W pozostałych dziewięciu miesiącach procent energii wytworzonej i wprowadzonej do sieci w całkowitej energii wytworzonej przewyższył autokonsumpcję. W siedmiu miesiącach udział energii wprowadzonej do sieci w całkowitej energii wytworzonej przekroczył 70%, osiągając w kwietniu 87,3%. Zestawienie tych dwóch parametrów ukazuje jak istotne i korzystne z ekonomicznego punktu widzenia dla budynków jednorodzinnych jest istnienie systemu wsparcia w postaci systemu opustów.

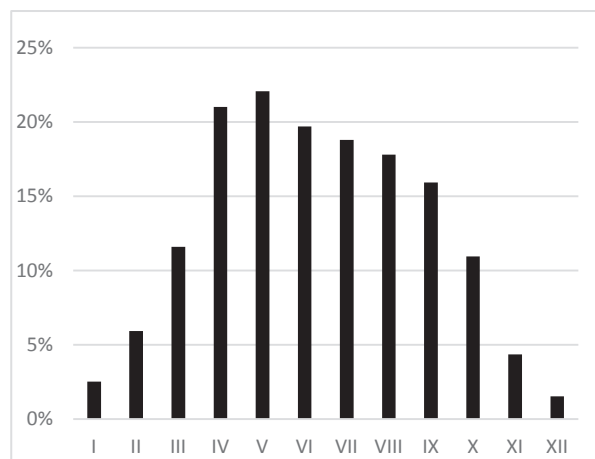
Dla poszczególnych miesięcy zestawiono odchylenia, wyrażone jako udziały bezwzględne, od wartości uśrednionych za okres pomiarowy, całkowitego zużycia energii w budynku oraz wielkości autokonsumpcji (rys. 8).

Maksymalne wahania odchylenia od wartości uśrednionej całkowitego zużycia energii wyniosły 57% i -42% oraz odpowiednio 49% i -63% dla odchylenia od wartości uśrednionej autokonsumpcji. W przypadku odchylenia od wartości uśrednionej całkowitego zużycia energii w budynku w półroczu letnim zanotowano wartości ujemne, a dodatnie w miesiącach zimowych. Przebieg miesięcznych odchylenia od wartości uśrednionej autokonsumpcji jest niekoherentny z całkowitym zużyciem (najczęściej występują przeciwne wartości odchylenia dla poszczególnych miesięcy).



Rys. 8. Odchylenia od wartości uśrednionych za okres pomiarowy, całkowitego zużycia energii w budynku oraz wielkości autokonsumpcji (wyrażone jako udziały bezwzględne)

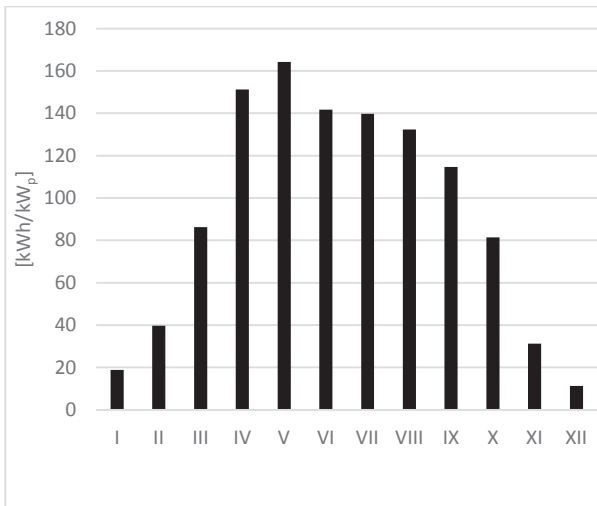
Współczynnik wydajności (Szymański 2013) określono jako iloraz wytworzonej przez system PV energii i energii, jaką wytworzyłby system fotowoltaiczny pracując w określonym czasie z mocą nominalną (rys. 9).



Rys. 9. Współczynnik wydajności wykorzystania mocy instalacji fotowoltaicznej

Współczynnik wydajności generatora PV wykazuje się dużymi wahaniami miesięcznymi w ciągu roku, notując 1,5% w grudniu i osiągając maksymalnie 22% w maju. Jednakże charakter wykresu jw. tożsamy jest z wykresem ukazującym produkcję energii elektrycznej. Stopień wykorzystania mocy determinuje roczną produktywność systemu PV, która w 2018 roku wyniosła 1113 kWh/kW_p. Jest to bardzo dobry rezultat dla instalacji fotowoltaicznych, dla których średnia wielkość wynosi ok. 1000 kWh/kW_p.

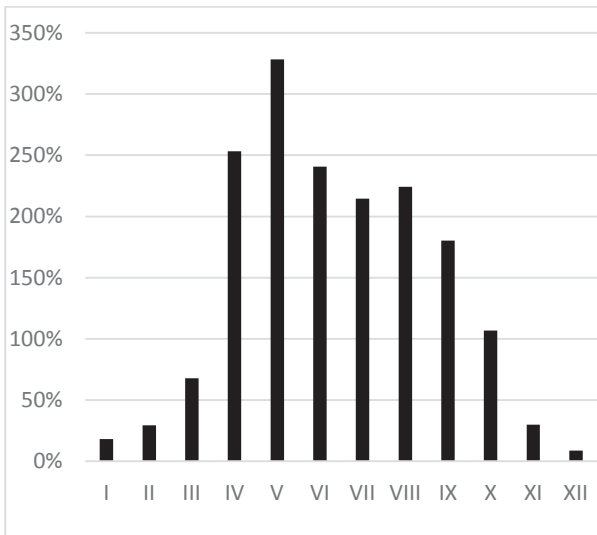
Stopień wykorzystania mocy jest definiowany jako iloraz całkowitej produkcji energii w danym okresie [kWh] i nominalnej mocy siłowni PV [kW_p].



Rys. 10. Stopień wykorzystania mocy instalacji fotowoltaicznej

Stopień wykorzystania mocy ilustruje wielkość produkcji energii w systemie PV z 1 kW_p mocy zainstalowanej. Suma wartości za poszczególne miesiące odpowiada rocznej produktywności systemu PV.

Iloraz całkowitej produkcji energii [kWh] z instalacji fotowoltaicznej i całkowitego zużycia energii elektrycznej w budynku [kWh], w różnych okresach czasu opisuje wielkość dysponowanej energii wytworzonej w instalacji PV w odniesieniu do zużywanej energii.



Rys. 11. Iloraz całkowitej produkcji energii (kWh) instalacji fotowoltaicznej i całkowitego zużycia energii elektrycznej w budynku (kWh), w poszczególnych miesiącach roku

Iloraz ten, ze względu na zmniejszony popyt na energię, a zwiększoną znacząco produkcją osiąga w miesiącach IV-VIII wartości powyżej 200%. W miesiącach zimowych z powodu dużej niekoherentności generacji energii i zapotrzebowania na nią, wartości nie przekraczają 70%. Średnioroczna wartość ilorazu zdefiniowanego jak wyżej, wyniosła 107,8%, co oznacza, że całkowita produkcja energii

w bilansie rocznym przekracza o 8% zapotrzebowanie na energię. Nadwyżka w tym przypadku została osiągnięta intencjonalnie, w celu uzupełnienia luki spowodowanej sposobem rozliczania energii wprowadzonej do sieci w systemie opustów. Stąd też determinantem opłacalności instalacji PV jest dopasowanie mocy instalacji PV do całkowitego rocznego zużycia energii w budynku. W okresie 5 miesięcy IV – IX, pomimo, że miesięczne wartości produkcji energii znacznie przekroczyły wartości zapotrzebowania na energię, stopień samowystarczalności niewiele przekroczył 50%. Decyduje o tym niekoherentność dobową produkcji i zużycia energii.

Ze względów j.w. dla instalacji prosumenckich, moc generatora PV można wyliczyć następująco.

Energię, którą ma wytworzyć system fotowoltaiczny, z uwzględnieniem wielkości opustu i wielkości autokonsumpcji (definiowanej jako udział energii bezpośrednio konsumowanej do wielkości energii wytworzonej przez system PV), można określić formułą:

$$E_w = \frac{E_z}{o+a-o \cdot a} \quad (1)$$

gdzie:

- E_w - energia wytworzona przez system fotowoltaiczny [kWh];
- E_z - zapotrzebowanie na energię elektryczną [kWh];
- o - wielkość opustu: 0,8 dla instalacji do 10 kW, 0,7 dla instalacji powyżej 10 kW;
- a - wielkość autokonsumpcji, definiowana jako udział energii bezpośrednio konsumowanej w wielkości energii wytworzonej przez system PV.

Moc sytemu fotowoltaicznego, (Marcewicz et al. 2016) opisuje zależność:

$$P = \frac{E_w}{H \cdot \eta_{inst.}} \cdot STC \quad (2)$$

Uwzględniając (1) otrzymano:

$$P = \frac{E_z}{\frac{o+a-o \cdot a}{H \cdot \eta_{inst.}}} \cdot STC \quad [kW_p] \quad (3)$$

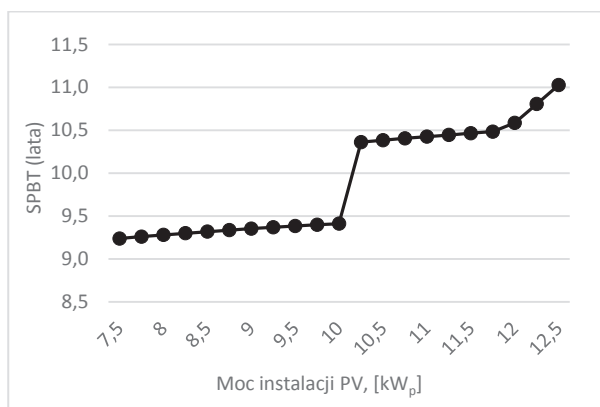
gdzie:

- H - roczne napromieniowanie powierzchni czołowej modułów fotowoltaicznych [kWh];
- $\eta_{inst.}$ - sprawność instalacji, (1 – straty), na podstawie wyników pomiarów badanej instalacji, wynosi 0,87 (nie jest to wielkość związana ze sprawnością modułów);
- STC - gęstość strumienia napromieniowania w warunkach testowych, wynosi 1 kW/m².

W przypadku zdefiniowania współczynnika autokonsumpcji a^* jako udziału energii z systemu PV bezpośrednio wykorzystanej do zapotrzebowania na energię, formuła określania mocy instalacji ma postać:

$$P = \frac{E_w}{H \cdot \eta_{inst.}} \cdot STC = \frac{E_z \cdot \left(a^* + \frac{1-a^*}{o}\right)}{H \cdot \eta_{inst.}} \cdot STC \quad [\text{kW}_p] \quad (4)$$

Rozważono opłacalność systemu fotowoltaicznego, przy warunkach funkcjonowania jak w przedstawionym budynku. Założono proporcjonalność kosztów systemu i mocy instalacji, przyjmując koszt 5508 zł za 1 kW_p (rzeczywisty w czasie budowy domu i instalacji 9,75 kW_p). Obliczono wartości SPBT (rys. 12) dla instalacji w zakresie mocy od 7,5 kW_p do 12,5 kW_p. Przyjęto stałą wartość energii z systemu PV bezpośrednio wykorzystanej 2676 kWh w okresie rocznym, przy zapotrzebowaniu 10 070 kWh, a cenę energii 0,62 zł/kWh.



Rys. 12. Zmiana wartości prostego okresu zwrotu nakładów (SPBT) w zależności od mocy instalacji

Kluczowym wyznacznikiem opłacalności jest progowa wartość mocy 10 kW_p, przy której zmienia się wielkość opustu z 0,8 na 0,7, determinująca wielkość energii możliwej do odebrania z sieci (bez kosztów) w stosunku do energii wprowadzonej do sieci z systemu PV. Charakterystycznym również punktem jest moc 11,75 kW_p. Przy tej mocy, system PV wytwarza więcej energii niż można odebrać, przy opuszczeniu 0,7. Nadmiar ten pozostaje przekazany operatorowi sieci (bez możliwości późniejszego jego odbioru), a opłacalność instalacji gwałtownie spada (zwiększenie wartości SPBT). Niewielka zmiana SPBT, przy mocy poniżej 10 kW_p i powyżej do 11,75 kW_p określona jest założeniem proporcjonalności kosztów instalacji do jej mocy (w zakresie jw.). W badanym przypadku zdecydowanie nieopłacalne jest zwiększanie mocy powyżej 11,75 kW_p. Zmiana kosztów jednostkowych czy kosztu energii elektrycznej nie spowoduje zmiany charakteru krzywej przedstawionej na rysunku powyżej.

PODSUMOWANIE

Dom pasywny wyposażony w instalację fotowoltaiczną stanowi rzeczywisty przykład integracji architektury i systemów energetycznych wykorzystujących odnawialne źródła energii. Pracę systemu na podstawie wyliczonych wskaźników ocenia się na bardzo dobrą. Jest to skutkiem przemyślanej i właściwie zaprojektowanej instalacji PV, jak również zastosowania wysokiej jakości komponentów. Na dobry rezultat ekonomiczny wpływa przede wszystkim wykorzystanie dedykowanego prosumentom systemu wsparcia i rocznego bilansowania energii w systemie opustów. Cechą charakterystyczną dla budynków jednorodzinnych z instalacją PV jest relatywnie niewielki procent energii bezpośrednio zużywanej na potrzeby własne. Bez systemu opustów nie byłoby możliwe pokrycie całkowitego rocznego zapotrzebowania na energię elektryczną w budynku jednorodzinym (w bilansie rocznym) i uzyskanie satysfakcjonującego inwestora okresu zwrotu kosztów inwestycji. Przykład ten ukazuje jak istotne jest rozważenie budowy instalacji OZE już na etapie projektowania domu jednorodzinnego i wybór właściwego modelu biznesowego jej funkcjonowania. Połączenie pompy ciepła i systemu fotowoltaicznego w domu pasywnym daje dobre rezultaty, a w efekcie prowadzi do znaczących oszczędności, gdy instalacja PV jest właściwie zaplanowana. Na przykładzie analizowanego budynku jednorodzinnego wykazano, że odpowiednio dobrana instalacja fotowoltaiczna może wytworzyć wystarczającą ilość energii, aby pokryć całkowite zapotrzebowanie budynku jednorodzinnego, nawet o tak znaczącym zużyciu energii jak w tym przypadku. Efektem odpowiedniej realizacji inwestycji w OZE w Dąbrowie Chotomowskiej jest dom "niemal zero-energetyczny". Analizy jw. wskazują na opłacalność obecnego systemu wsparcia prosumentów.

LITERATURA

- GUS, 2018, *Energia ze źródeł odnawialnych*
- Kyritsis A., Mathas E., Nowakowski P., Wnuk R., 2018, *Pilot data systems. PV Energy Communities offered by Poland*, Deliverable 3.1.5 of EU-HEROES project
- Marcewicz T., Partyka J., Mazur M., 2016-8, *Elektrownie fotowoltaiczne w Polsce – rozwiązania techniczne na przykładzie istniejących obiektów*, Przegląd Elektrotechniczny
- Szymański B., 2013, *Instalacje fotowoltaiczne*, Kraków, Geosystem Burek

*Ustawa z dnia 22 czerwca 2016r. o zmianie ustawy
o odnawialnych źródłach energii oraz niektórych
innych ustaw (DZ.U. 2016 POZ. 925)*

*URE, 2018, Informacja Prezesa Urzędu regulacji
Energetyki (nr 96/2018) w sprawie ogłoszenia
wyników Aukcji Zwykłej Nr AZ/9/2018*