

Pomiary charakterystyk prosumenckiej instalacji fotowoltaicznej z magazynem energii

Krzysztof Górecki, Ewa Krac

Uniwersytet Morski w Gdyni, Katedra Energoelektroniki

Wojciech Kowalke

Arch Systems, Palo Alto, CA, USA

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych ilustrujących charakterystyki prosumenckiego systemu fotowoltaicznego zawierającego magazyn energii. Opisano budowę badanego systemu i parametry komponentów tego systemu. Przedstawiono sposób wykonywania pomiarów oraz ich wyniki ilustrujące wpływ pory dnia i pory roku na przebieg charakterystyk testowanego systemu. W oparciu o uzyskane wyniki przedyskutowano wpływ warunków pogodowych na produkcję energii przez rozważany system w wybranych dniach. Przeanalizowano także procesy ładowania i rozładowania magazynu energii w wybranych porach doby oraz roku.

Słowa kluczowe: instalacja fotowoltaiczna, pomiary, magazyn energii, badania dobowe, badania sezonowe

1. Wprowadzenie

Prosumenckie instalacje fotowoltaiczne są coraz popularniejsze w Polsce [A1]. Oprócz zalet tego trendu w postaci wzrostu udziału OZE w krajowym miksie energetycznym, widoczna jest także wada w postaci niepożądanego wzrostu napięcia w sieci skutkującego odłączaniem od niej części instalacji prosumenckich. Zjawisko to związane jest z istotnymi rozbieżnościami między czasowym rozkładem mocy produkowanej przez instalację i mocy konsumowanej przez gospodarstwo domowe [1, 2].

W celu kompensacji występujących rozbieżności, coraz częściej stosuje się sieciowe magazyny energii oraz instaluje się takie magazyny w instalacjach prosumenckich [3, 4]. W literaturze można znaleźć liczne prace opisujące właściwości instalacji fotowoltaicznych [5–7], jednak w większości są to prace dotyczące instalacji bez magazynów energii.

W pracach [8, 9] scharakteryzowano właściwości komponentów instalacji fotowoltaicznych. W pracy [5] zaproponowano model takiej instalacji i zweryfikowano doświadczalnie jego poprawność. Prace [6, 7] opisują efekty badań doświadczalnych wybranych instalacji fotowoltaicznych zlokalizowanych zarówno w Polsce [6, 7], jak i w innych krajach [10, 11]. Opisywane są także różne rozwiązania elektrochemicznych magazynów energii [12–14] oraz wyniki ich testowania. Brakuje jednak prac opisujących

długoterminowe badania instalacji fotowoltaicznych z magazynem energii.

W pracy zaprezentowano wyniki pomiarów parametrów prosumenckiej instalacji fotowoltaicznej wyposażonej w elektrochemiczny magazyn energii i zlokalizowanej w województwie pomorskim. Przedstawiono opis testowanej instalacji i zastosowanej metody pomiarowej. Zaprezentowano wyniki pomiarów ilustrujących czasowe przebiegi wytwarzanej i konsumowanej mocy w ciągu całej doby. Analizowano też zmiany stanu naładowania magazynu energii. Badania zrealizowano dla arbitralnie wybranych dni przypadających w różnych porach roku. W oparciu o uzyskane wyniki pomiarów przedyskutowano korzyści wynikające z zastosowania magazynu energii.

W rozdziale drugim opisano testowaną instalację fotowoltaiczną. Rozdział trzeci prezentuje stosowaną metodę pomiarową. W rozdziale czwartym przedstawiono i przedyskutowano wyniki uzyskanych pomiarów.

2. Testowana instalacja fotowoltaiczna

Obecnie stosowane są trzy typy instalacji fotowoltaicznych (PV): on-grid, off-grid oraz hybrydowe [15]. Instalacje on-grid współpracują z zewnętrzną siecią elektroenergetyczną. Instalacja off-grid jest niezależna od zewnętrznej sieci energetycznej i magazynuje energię w akumulatorach i zasilać odbiorniki pracujące w lokalnej sieci energetycznej. Instalacje hybrydowe łączą cechy obu poprzednich rozwiązań, umożliwiając zarówno współpracę z zewnętrzną siecią energetyczną, jak i pracę autonomiczną przy wykorzystaniu magazynu energii [15, 16].

Rozważana instalacja fotowoltaiczna ma moc nominalną 4,92 kWp i należy do trzeciego z wymienionych typów instalacji PV. Jest to instalacja trójfazowa, która dostarcza energię elektryczną do jednorodzinnego gospodarstwa domowego zlokaliz-

Autor korespondujący:

Krzysztof Górecki, k.gorecki@we.umg.edu.pl

Artykuł recenzowany

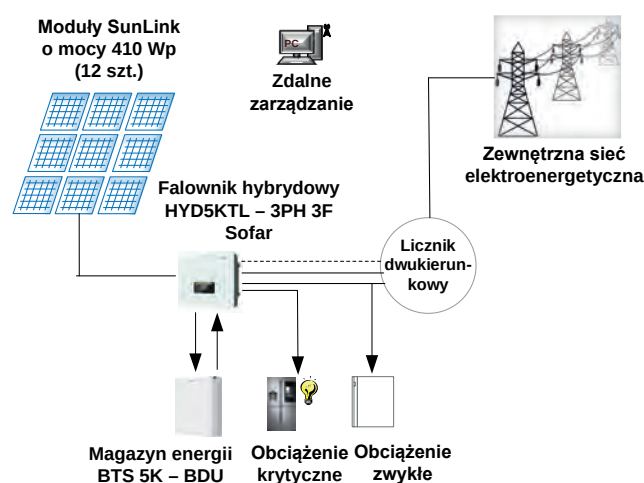
nadesłany 10.02.2026 r., przyjęty do druku 27.07.2026 r..



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 4.0 Int.

zowanego w okolicach Gdańska. Schemat blokowy rozważanej instalacji PV przedstawiono na rys. 1.

Instalacja ta zawiera 12 monokrystalicznych modułów fotowoltaicznych typu SL5M108 – 410 produkowanych przez firmę SunLink o mocy 410 Wp [A2]. Moduły te wykonano w technologii Half-Cell, tj. dzieląc fotoogniwa na pół, co zmniejsza straty rezystancyjne i zwiększa odporność na częściowe zacinienie pracujących modułów PV [17]. Fotoogniwa te wykorzystują technologię PERC (ang. *Passivated Emitter Rear Cell*), dzięki czemu tylna powierzchnia fotoogniwa jest pasywna. Zwiększa to absorpcję promieni światła przez powierzchnię aktywną i efektywność konwersji energii słonecznej na elektryczną. Konstrukcja modułu oparta jest na SMBB (ang. *Shingled Multi-Busbar*), czyli wielu cienkich przewodach prądowych łączących fotoogniwa w układzie nakładanych segmentów, które zwiększają aktywną powierzchnię modułu i redukują straty elektryczne. Dzięki połączeniu tych technologii moduł SL5M108 – 410 osiąga wysoką sprawność, lepszą odporność na degradację oraz stabilną pracę w różnych warunkach pogodowych. Moduły te połączone są ze sobą szeregowo tworząc łańcuch.



Rys. 1. Schemat blokowy rozważanej instalacji PV
Fig. 1. Block diagram of the considered PV installation

Rozważana instalacja wyposażona została również w hybrydowy trójfazowy falownik HYD5KTL-3PH 3F firmy SOFAR [A3]. Falownik ten ma moc znamionową 5 kW i przeznaczony jest do niskonapięciowych systemów fotowoltaicznych. Charakteryzuje się sprawnością przekraczającą 98 %. Jego maksymalne napięcie wejściowe (DC) wynosi 1000 V, przy napięciu nominalnym 600 V. Falownik może pracować w trybie MPPT (ang. *Maximum Power Point Tracking*) w zakresie 180–960 V DC. Maksymalna dopuszczalna moc dla rozważanego falownika, po stronie DC wynosi 7,5 kW. Urządzenie pozwala na podłączenie dwóch oddzielnych łańcuchów modułów fotowoltaicznych. Maksymalny prąd wejściowy na każdy tor wynosi 12,5 A, natomiast prąd zwarcia sięga 15 A. Falownik wyposażono w regulatory mocy biernej i elastyczne tryby obciążenia. Dodatkowo urządzenie oferuje funkcję EPS/UPS z czasem przełączenia poniżej 15 ms, co pozwala zasilać priorytetowe odbiorniki gospodarstwa domowego w razie zaniku napięcia w sieci. Umożliwia on integrację z magazynem energii [A3].

Badaną instalację fotowoltaiczną wyposażono w litowo-jonowy magazyn energii BTS 5K-BDU firmy SOFAR o pojemności nominalnej 5,12 kWh. Magazyn energii BTS 5K-BDU ma budowę modułową. W magazynie tym moduł BTS 5K służy do magazynowania wytworzonej energii elektrycznej. Natomiast moduł kontrolny BTS 5K-BDU zarządza pracą magazynu [A4].

Dodatkowo instalacja wyposażona została w licznik dwukierunkowy, który mierzy energię pobieraną z zewnętrznej sieci elektroenergetycznej oraz oddawaną do niej przez rozważaną

instalację fotowoltaiczną. Dzięki temu możliwe jest również monitorowanie bilansu energetycznego gospodarstwa domowego oraz efektywności pracy zainstalowanej instalacji PV.

3. Metodyka badań

Wbudowane w falowniku układy pomiarowe umożliwiają rejestrowanie wartości chwilowych takich wielkości, jak: napięcie stałe na wejściu falownika, prąd stały wytwarzany przez panele, prąd ładowania magazynu energii, napięcie na magazynie energii, stan naładowania magazynu energii SoC (ang. *State of Charge*), moc wytwarzana przez system fotowoltaiczny P_{PV} , moc zużywana przez zasilane gospodarstwo domowe P_{KON} , moc dostarczana do sieci elektroenergetycznej lub z niej pobierana P_{NET} . Podawane są także wartości chwilowe napięcia i prądu w każdej fazie. Wartości tych wielkości są rejestrowane ze stałym krokiem równym 5 minut i zapisywane w chmurze.

Falowniki SOFAR HYD5KTL-3PH wyposażone są w mikroprocesory sterujące, typowo z rodzin Texas Instruments i/lub NXP, zawierające przetworniki analogowo-cyfrowe (ADC) o rozdzielczości 12 bitów. Przekłada się na błąd względny pomiaru około 0,024% pełnej skali, wystarczającą do precyzyjnej realizacji algorytmów sterowania PWM i MPPT.

Jednocześnie, w celu zapewnienia spójności prezentowanych danych oraz stabilności procesu raportowania, oprogramowanie (firmware) falownika SOFAR HYD5KTL-3PH stosuje programową kwantyzację danych wyjściowych, niezależną od rozdzielczości sprzętowej ADC.

Pomiary energii przekazywanej między siecią publiczną a siecią domową wykonywane są za pomocą licznika energii elektrycznej Chint DTSU666 [A5]. Licznik ten charakteryzuje klasa dokładności 1 (typowo $\pm 1\%$ dla energii czynnej). Pomiary prądów realizowane są pośrednio przez zewnętrzne przekładniki prądowe, a napięcia mierzone są bezpośrednio na fazach. Rejestrowane są wartości chwilowe oraz skumulowane mocy czynnej, mocy biernej i mocy pozornej oraz energii pobieranej oraz oddawanej do publicznej sieci elektroenergetycznej.

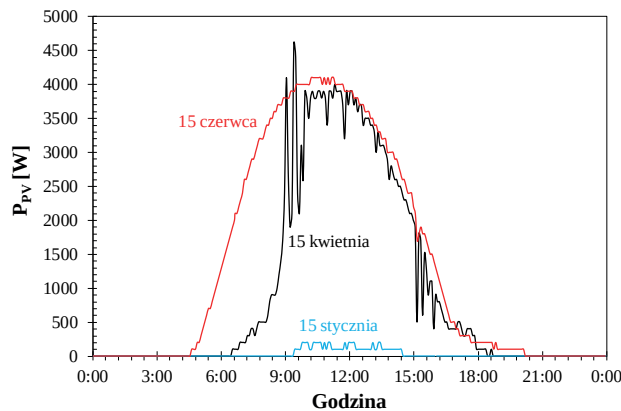
Zarejestrowane wyniki są transmitowane przez RS-485/Modbus. Pomiar jest wykonywany dla każdej fazy oddzielnie, co pozwala na identyfikację asymetrii obciążeń w instalacji trójfazowej. Urządzenie dostarcza dane, aktualizowane co 1 s, o mocy i kierunku przepływu energii, co pozwala falownikowi i systemowi magazynowania energii dynamicznie reagować (np. ładować/rozładowywać akumulator lub ograniczać energię przesyłaną do sieci).

W oparciu o dane zarejestrowane na przestrzeni roku przeprowadzono analizę pracy badanej instalacji fotowoltaicznej w wybranych dniach przypadających w różnych porach roku. Do analiz wybrano zarówno dni słoneczne, jak i pochmurne.

4. Wyniki pomiarów

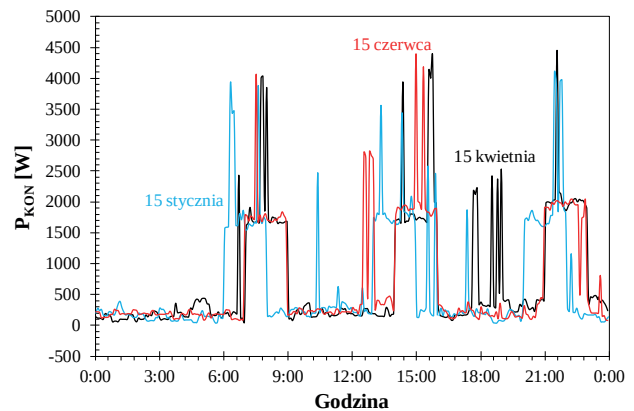
Wykorzystując metodę pomiarową opisaną w poprzednim rozdziale przeanalizowano wybrane właściwości badanej instalacji fotowoltaicznej. Wyniki tych badań zamieszczono w dalszej części tego rozdziału. Wyniki te ilustrują zmiany dobowe i sezonowe w pracy całego systemu oraz poszczególnych jego komponentów. Poniżej przedstawiono wyniki uzyskane dla trzech dni: 15 stycznia, 15 kwietnia i 15 czerwca. Charakteryzują się one różną długością dnia, różnymi wartościami kąta padania promieni słonecznych oraz różnym nasłonecznieniem. Wyniki pomiarów zaprezentowane na rys. 2–6 obejmują całą dobę, a oś czasu jest wyskalowana w jednostkach czasu rzeczywistego.

Na rys. 2 przedstawiono zmierzone czasowe przebiegi mocy generowanej przez moduły fotowoltaiczne (P_{PV}).



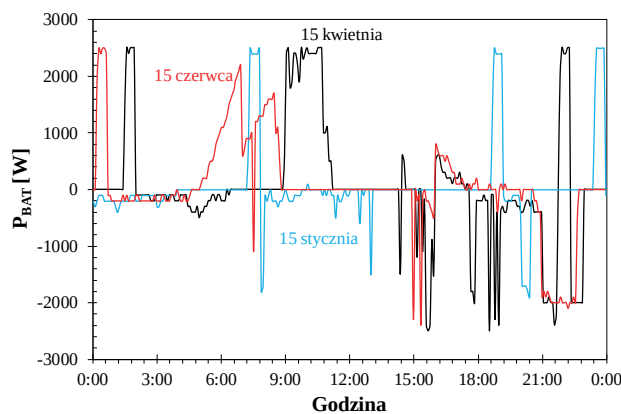
Rys. 2. Czasowe przebiegi mocy generowanej przez moduły fotowoltaiczne

Fig. 2. Waveforms of power generated by photovoltaic modules



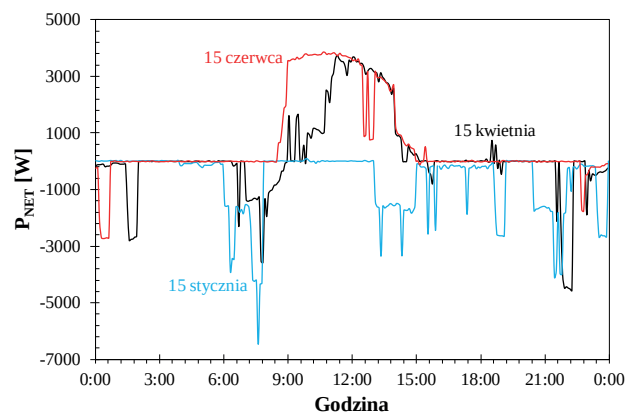
Rys. 4. Czasowe przebiegi mocy pobieranej przez zasilany budynek

Fig. 4. Waveforms of the power consumed by the supplied building



Rys. 3. Czasowe przebiegi mocy dostarczanej lub odbieranej z magazynu energii

Fig. 3. Waveforms of power supplied to or drawn from the energy storage system



Rys. 5. Czasowe przebiegi mocy przekazywanej między budynkiem a publiczną siecią elektroenergetyczną

Fig. 5. Waveforms of the power exchanged between the building and the public electricity grid

Analiza przebiegów z rys. 2 pokazuje, że w żadnym z rozważanych dni instalacja nie osiąga wartości znamionowej generowanej mocy. W czerwcu wartość maksymalna osiąga 4,2 kW, a w styczniu wynosi zaledwie 300 W. Nietypowy kształt przebiegu mocy P_{PV} w kwietniu wynika z dużego zachmurzenia w godzinach porannych. Warto zauważyć, że w godzinach popołudniowych gwałtownie maleje wartość wytwarzanej mocy ze względu na kierunek ustawienia modułów badanej instalacji. W godzinach popołudniowych znajduje się ona w cieniu, co wiąże się ze znacznym spadkiem wartości irradiancji na powierzchni paneli fotowoltaicznych. Ta utrata produkowanej mocy w godzinach popołudniowych jest kompensowana przez zwiększoną jej produkcję wczesnym rankiem.

Rysunek 3 ilustruje czasowe przebiegi mocy (P_{BAT}) dostarczanej (wartości dodatnie) lub pobieranej (wartości ujemne) z magazynu energii.

Przebiegi na rys. 3 pokazują, że w każdym z rozważanych dni następuje doładowywanie magazynu energii w porze nocnej oraz w czasie przedpołudniowej pracy instalacji. Energia jest pobierana z magazynu w czasie, gdy jej produkcja jest niewystarczająca dla potrzeb zasilanego budynku. Warto zwrócić uwagę na fakt, że energia jest pobierana z magazynu w formie impulsów o czasie trwania do kilkunastu minut.

Czasowe przebiegi mocy pobieranej (P_{KON}) przez zasilany budynek pokazano na rys.4.

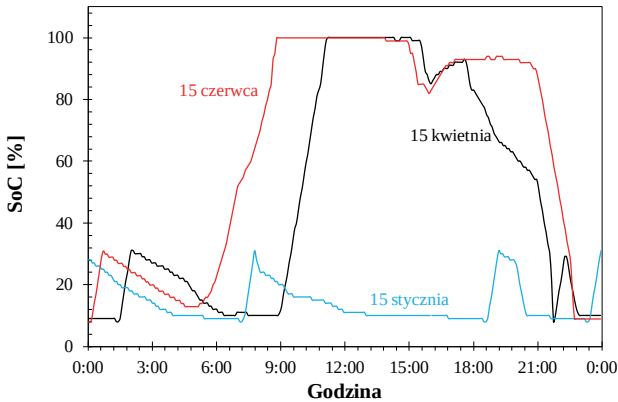
Można zaobserwować pewne regularności na prezentowanych przebiegach. Widać istotny pobór mocy przez dwie godziny nad ranem, dwie godziny po południu i dwie godziny wieczorem. Może to być związane z pracą urządzeń kuchennych, bo

jest skorelowane z typowym czasem przygotowywania posiłków. Widoczne są także impulsy o krótkim czasie trwania i wartości od 2,5 kW do 3 kW, związane z krótkotrwałą pracą wybranych urządzeń, np. czajnika elektrycznego.

Na rys. 5 zaprezentowano czasowe przebiegi mocy wymienianej między domową instalacją elektryczną a publiczną siecią elektroenergetyczną. Dodatkowo wartości mocy oznaczają, że energia jest przekazywana do sieci publicznej, a wartości ujemne oznaczają, że energia jest pobierana z sieci publicznej.

Można zauważyć, że w styczniu zapotrzebowanie na energię dla zasilanego budynku jest pokrywane dzięki sieci elektroenergetycznej. W innych dniach występują przedziały czasu, w których energia wyprodukowana przez instalację fotowoltaiczną jest oddawana do sieci publicznej. Ma to miejsce wtedy, gdy produkcja energii jest duża, a jej zużycie jest niskie. Warto zauważyć, że w okresie wiosenno-letnim też występują przedziały czasu (w nocy), gdy energia jest pobierana z sieci publicznej. Energia ta jest wykorzystywana do doładowywania magazynu energii.

Na rys. 6 przedstawiono czasowe zmiany stanu naładowania magazynu energii (SoC). Widać, że minimalny poziom naładowania magazynu energii wynosi około 10 %. W styczniu poziom naładowania tego magazynu tylko krótkookresowo osiąga 30 % dzięki energii pobieranej z sieci publicznej. W miesiącach wiosenno-letnich magazyn energii osiąga pełne naładowanie w czasie maksymalnej produkcji energii przez instalację fotowoltaiczną. Dzięki wykorzystaniu tego magazynu istotną część zapotrzebowania na energię zasilanego budynku można zaspokoić przez pracę instalacji fotowoltaicznej.



Rys. 6. Czasowe zmiany stanu naładowania magazynu energii
Fig. 6. Waveforms of the state of charge of the energy storage system

W Tabeli 1 zebrano wartości energii charakteryzujących efekt pracy rozważanej instalacji w ciągu doby. Dla rozważanych w pracy dni podano wartości energii E_{PV} wyprodukowanej przez instalację fotowoltaiczną, energii skonsumowanej przez zasilane gospodarstwo domowe E_{KON} , energii pobranej z publicznej sieci elektroenergetycznej E_{ZAK} oraz energii przekazanej do tej sieci E_{SPR} .

Tabela 1. Wartości energii E_{PV} , E_{KON} oraz E_{ZAK} dla wybranych dni
Table 1. E_{PV} , E_{KON} and E_{ZAK} energy values for selected days

Data Energia	15 stycznia	15 lutego	15 kwietnia	15 czerwca
E_{PV} [kWh]	1,05	7,35	24,34	34,66
E_{KON} [kWh]	15,88	16,43	17,42	16,54
E_{ZAK} [kWh]	15,95	12,27	7,83	2,26
E_{SPR} [kWh]	0,06	0,37	12,30	18,11

Analizując zgromadzone w Tabeli 1 dane, można wnioskować, że energia produkowana w ciągu doby przez instalację fotowoltaiczną zmienia się aż 30-krotnie w okresie między styczniem a czerwcem. Wartość energii konsumowanej w ciągu doby przez gospodarstwo domowe zmienia się w zakresie $\pm 5\%$ w poszczególnych miesiącach. Mimo dużej nadwyżki energii produkowanej w kwietniu i w czerwcu przez instalację fotowoltaiczną i przekazywanie nadwyżki do sieci publicznej, niezbędne jest pobieranie energii z publicznej sieci elektroenergetycznej w czasie, gdy nie jest generowana w instalacji fotowoltaicznej, a zapas zgromadzony w magazynie uległ wyczerpaniu.

5. Podsumowanie

W pracy przeanalizowano wyniki badań instalacji fotowoltaicznej wyposażonej w elektrochemiczny magazyn energii. Instalacja ta jest dedykowana do zastosowania w budynku jednorodzinnym. Przedstawiono zmierzone czasowe przebiegi ilustrujące produkcję, magazynowanie oraz przepływ energii między komponentami rozważanej instalacji w wybranych dniach roku.

Przeprowadzone badania potwierdzają, że w warunkach pogodowych i nasłonecznieniu charakterystycznym dla województwa pomorskiego zastosowanie domowego magazynu energii pozwala na lepsze wykorzystanie energii produkowa-

nej przez instalację fotowoltaiczną w ramach autokonsumpcji. Magazyn taki pozwala na ograniczenie transferu energii z sieci elektroenergetycznej i zapobiega ewentualnym odłączeniom instalacji prosumenckich od sieci elektroenergetycznej. Jest to niestety okupione dodatkowymi stratami związanymi z uzupełnianiem energii w magazynie w czasie, gdy nie jest ona produkowana przez instalację fotowoltaiczną.

Uzyskane wyniki badań pokazały, że największe korzyści z zastosowania magazynu energii obserwuje się w miesiącach wiosenno-letnich. Pokazały też one, że konsumpcja energii przez gospodarstwo domowe jest podobna w różnych miesiącach.

Przedstawione wyniki badań mają charakter wstępny. Zostaną one wykorzystane do opracowania komputerowego modelu instalacji fotowoltaicznej. Model taki pozwoli na analizę i optymalizację konstrukcji rozważanej instalacji fotowoltaicznej dla różnych warunków jej eksploatacji.

Podziękowania

Publikacja w ramach projektu finansowanego ze środków budżetu państwa w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą Wektory Nauki nr projektu WNK/SP/0311/2025/01 kwota finansowania projektu: 276 232,00 zł całkowita wartość projektu: 635 552,00 zł.

Bibliografia

1. Cieślak K.J., Adamek S., *Overvoltage Challenges in Residential PV Systems in Poland: Annual Loss Assessment and Mitigation Strategies*, "Energies", Vol. 18, No. 23, 2025, DOI: 10.3390/en18236247.
2. Aziz T., Ketjoy N., *PV Penetration Limits in Low Voltage Networks and Voltage Variations*, "IEEE Access", Vol. 5, 2017, 16784–16792, DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2747086.
3. Barzegkar-Ntovom A., Chatzigeorgiou N.G., Nousedilis A.I., Vomva S.A., Kryonidis G.C., Kontis E.O., Georghiou G.E., Christoforidis G.C., Papagiannis G.K., *Assessing the viability of battery energy storage systems coupled with photovoltaics under a pure self-consumption scheme*, "Renewable Energy", Vol. 152, 2020, 1302–1309, DOI: 10.1016/j.renene.2020.01.061.
4. von Appen J., Stetz T., Braun M., Schmiede M., *Local voltage control strategies for PV storage systems in distribution grids*, "IEEE Transactions on Smart Grid", Vol. 5, No. 2, 2014, 1002–1009, DOI: 10.1109/TSG.2013.2291116.
5. Górecki K., Dąbrowski J., Krac E., *SPICE-aided modeling of daily and seasonal changes in properties of the actual photovoltaic installation*, "Energies", Vol. 14, No. 19, 2021, DOI: 10.3390/en14196247.
6. Listewnik K.J., Nowak T., *Comparison of the Energy Efficiency of Fixed and Tracking Home Photovoltaic Systems in Northern Poland*, "Energies", Vol. 17, No. 17, 2024, DOI: 10.3390/en17174410.
7. Krac E., Górecki K., *Wpływ wybranych czynników na produktywność rzeczywistych instalacji fotowoltaicznych*, „Przegląd Elektrotechniczny”, R. 99, Nr 9, 2023, 246–249, DOI: 10.15199/48.2023.09.49.
8. Znajdek K., Sibiński M., *Postępy w fotowoltaice. Struktura i wytwarzanie ogniw PV*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2022.
9. Castaner L., Silvestre S., *Modelling Photovoltaic Systems Using PSpice*, John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2002.
10. Sanseverino E.R., Cellura M., Luu L.Q., Cusenza M.A., Nguyen Quang N., Nguyen N.H., *Life-Cycle Land-Use Requirement for PV in Vietnam*, "Energies", Vol. 14, No. 4, 2021, DOI: 10.3390/en14040861.

11. Carbajosa C., Marín-Coca S., Gavira-Aladro M., Martínez-Cava A., *Optimizing energy production in PV systems: Comprehensive review of radiation models and key factors influencing power generation*, “Renewable Energy”, Vol. 249, 2025, DOI: 10.1016/j.renene.2025.123085.

12. Stecca M., Elizondo L.R., Soeiro T.B., Bauer P., Palensky P., *A Comprehensive Review of the Integration of Battery Energy Storage Systems Into Distribution Networks*, “IEEE Open Journal of the Industrial Electronics Society”, Vol. 1, 2020, 46–65, DOI: 10.1109/OJIES.2020.2981832.

13. Hill C.A., Such M.C., Chen D., Gonzalez J., Grady W.M., *Battery Energy Storage for Enabling Integration of Distributed Solar Power Generation*, “IEEE Transactions on Smart Grid”, Vol. 3, No. 2, 2012, 850–857, DOI: 10.1109/TSG.2012.2190113.

14. Detka K., Górecki K., *Selected Technologies of Electrochemical Energy Storage – a Review*, “Energies”, Vol. 16, No. 13, 2023, DOI: 10.3390/en16135034.

15. Luque A., Hegedus S., Hegedus S., *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, Wiley, New York, 2003.

16. Marszałek K., Dyndał K., Lewińska G., *Fotowoltaika*, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, 2021.

17. Górecki K., Krac E., Dąbrowski J., *Modelling an Influence of Solar Cells’ Connection Manner in Silicon Photovoltaic Modules on Their Characteristics with Partial Shading*, “Energies”, Vol. 17, No. 22, 2024, DOI: 10.3390/en17225741.

A5. *Chint DTSU666 i DTSU666CT, Instrukcja obsługi*, [www.elektrosms.cz/ElektroSMS/media/com/D0000003436/DTSU-FE_technickylst2.pdf?srltid=Afm-BOopUsHJaKR vWlcI9slpI9vutMJfSOAR4z65Gmyoe-VwrORcdu2vR].

Inne źródła

A1. *Mikroinstalacje w Polsce*, Dane dotyczą pięciu OSD zrzeszonych w Polskie Towarzystwo Przesyłu i Rozdziału Energii Elektrycznej, [https://ptpiree.pl/mikroinstalacje-w-polsce].

A2. Panel fotowoltaiczny SunLink 415 W SL5M108-FB, [https://sklepsoltech.pl/pl/p/Panel-fotowoltaiczny-SunLink-410-W-SL5M108-FB/2362].

A3. *Trójfazowy hybrydowy falownik PV, HYD 5-20KTL-3PH*, [https://pl.sofarsolar.com/product/residentialstorage/falownikhybrydowy/HYD%205-20KTL-3PH.html].

A4. *User Manual BTS E5...E20-DS5*, [www.sofarsolar.com/upload/file/20240205/1707119308509065903.pdf].

Measurements of the Characteristics of a Prosumer Photovoltaic Installation with Energy Storage

Abstract: This paper presents the results of experimental studies illustrating the characteristics of a prosumer photovoltaic system incorporating an energy storage device. The structure of the tested system and its component parameters are described. The measurement procedure and the results are presented, illustrating the influence of time of day and season on the characteristics of the tested system. Based on the obtained results, the impact of weather conditions on energy production by the system on selected days is discussed. The charging and discharging processes of the energy storage device are also analyzed at selected times of day and year.

Keywords: photovoltaic installation, measurements, energy storage, daily tests, seasonal tests

prof. dr hab. inż. Krzysztof Górecki

k.gorecki@we.umg.edu.pl
ORCID: 0000-0002-9857-8235

Ukończył studia magisterskie na kierunku elektronika na Politechnice Gdańskiej w 1990 r. W tej samej uczelni uzyskał stopień doktora w dyscyplinie elektronika w 1999 r. Habilitację w zakresie elektroniki uzyskał na Politechnice Łódzkiej w 2008 r., a w 2016 r. Prezydent RP nadał mu tytuł profesora. Od 1990 r. pracuje na Wydziale Elektrycznym Uniwersytetu Morskiego w Gdyni. Obecnie jest zatrudniony na stanowisku profesora i kieruje Katedrą Energoelektroniki. Jego zainteresowania naukowe obejmują modelowanie, analizę i pomiary przyrządów półprzewodnikowych i układów elektronicznych ze szczególnym uwzględnieniem zjawisk cieplnych.



dr inż. Ewa Krac

e.krac@we.umg.edu.pl
ORCID: 0000-0003-4682-1093

Ukończyła studia magisterskie na kierunku elektronika i telekomunikacja w Akademii Morskiej w Gdyni w 2012 r. Stopień naukowy doktora w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika uzyskała w Uniwersytecie Morskim w Gdyni w 2022 r. Od 2017 r. pracuje na Wydziale Elektrycznym Uniwersytetu Morskiego w Gdyni. Obecnie jest zatrudniona na stanowisku adiunkta w Katedrze Energoelektroniki. Jej zainteresowania naukowe obejmują modelowanie, analizę i pomiary komponentów systemów fotowoltaicznych oraz technologie dronowe.



dr inż. Wojciech Kowalke

wkowalke@archsys.io
ORCID: 0009-0003-7713-682X

Ukończył studia magisterskie na kierunku Elektronika i telekomunikacja w Akademii Morskiej w Gdyni w 2006 r. W 2011 r. ukończył studia podyplomowe w zakresie zarządzania projektami w WSB w Gdańsku. W 2025 r. uzyskał stopień naukowy doktora w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne w Uniwersytecie Morskim w Gdyni. Od 2022 r. był dyrektorem ds. operacyjnych i technicznych w firmie Flex – segment motoryzacyjny. Zajmował się usprawnianiem procesów produkcji modułów elektronicznych, poprawą efektywności realizacji projektów oraz ograniczaniem i kontrolą materiałów niezgodnych w zakładach firmy Flex w Europie, obu Amerykach i Azji. Obecnie pracuje jako Strategic Customer Success Manager w firmie Arch Systems. Jego zainteresowania naukowe obejmują zagadnienia niezawodności urządzeń elektronicznych i optymalizacji procesu montażu modułów elektronicznych.

