

doi:10.15199/48.2023.12.56

Analiza zastosowania akumulatorów w hybrydowym systemie fotowoltaicznym dla małego prosumenta

Streszczenie. W artykule przedstawiono sposób wykorzystania akumulatorów w domu jednorodzinnym, podłączonym do systemu fotowoltaicznego. Dokonano analizy wpływu pojemności akumulatorów na współczynnik samowystarczalności oraz bilans energetyczny w okresie rocznym. Omówiono wyniki symulacji przepływu energii elektrycznej w hybrydowym systemie fotowoltaicznym przeznaczonym do domu jednorodzinnego.

Abstract. The article considers the implementation of batteries for a typical single-family house with a photovoltaic system. The calculations of the impact of accumulator capacity on the self-sufficiency coefficient and the annual energy balance were analysed. The results of simulation of electricity flow in a hybrid system for a typical single-family house are given. **(The batteries analysis in a hybrid photovoltaic system for a small prosumer of photovoltaic energy)**

Słowa kluczowe: hybrydowy system fotowoltaiczny, bilans elektroenergetyczny, magazynowanie energii.

Keywords: hybrid photovoltaic system, power balance, energy storage.

Wstęp

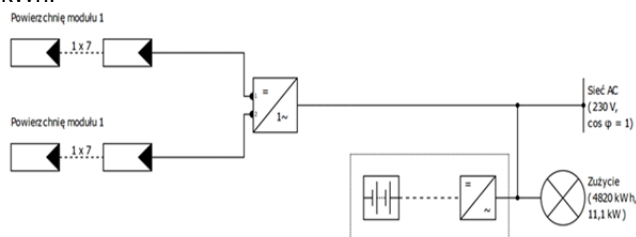
Zastosowanie akumulatora w hybrydowym systemie fotowoltaicznym daje wiele korzyści. Przede wszystkim, umożliwia zwiększenie wykorzystania energii pochodzącej z paneli słonecznych. Pozwala na przechowywanie nadmiaru energii i wykorzystanie jej w momencie, gdy jest na nią zapotrzebowanie. Dzięki temu i system ciepły staje się niezależny od sieci energetycznej, co daje oszczędności finansowe. Kolejną korzyścią zastosowania akumulatora w hybrydowym systemie fotowoltaicznym jest zapewnienie ciągłego dostarczania energii, nawet gdy panele fotowoltaiczne nie generują wystarczającej jej ilości. Dzięki temu, użytkownik może mieć pewność, że nie zostanie pozbawiony dostępu do energii elektrycznej, co może być szczególnie ważne w przypadku awarii sieci energetycznej [1]. Należy jednak pamiętać, że zastosowanie akumulatora w hybrydowym systemie fotowoltaicznym zwiększa koszty instalacji i konserwacji.

Do zwiększenia samowystarczalności energetycznej domu jednorodzinnego oraz małych prosumentów energii elektrycznej, stosuje się hybrydowe systemy zasilania, w których wykorzystuje się zarówno źródła odnawialne, takie jak wiatraki i panele fotowoltaiczne, jak i sieć elektryczną dystrybucyjną. Niestabilność źródeł odnawialnych wynika ze zmiennych warunków nasłonecznienia i prędkości wiatru, co wpływa na nieprzewidywalność ich produkcji. Rozwój elektrycznych systemów OZE wpłynął na jakość przesyłanej energii oraz wymusił konieczność stosowania dodatkowych systemów sterowania, kontroli i bezpieczeństwa [1]. Wprowadzenie energii elektrycznej z systemów OZE do sieci niskiego napięcia (0,4 kV) oraz średniego napięcia (15-30 kV) i traktowanie tych sieci jako dużych magazynów energii jest niewłaściwe z technicznego punktu widzenia. Wymaga znacznych wysiłków w zakresie bilansowania chwilą mocy pochodzącą z elektrociepłowni i konwencjonalnych elektrowni. Aby uniknąć takich zakłóceń, wprowadzono nowy system rozliczeniowy "net-billing". Pierwszy etap zmian został wprowadzony 1 kwietnia 2022 roku, drugi etap zaczyna obowiązywać od 1 lipca 2022 roku, a trzeci etap zostanie wprowadzony od 1 lipca 2024 roku [2]. W odpowiedzi na zmiany, system rozliczania energii elektrycznej w kilowatogodzinach kWh, zastąpił system rozliczeń pieniężnych, czyli "net-billing". To z kolei zachęciło prosumentów energii odnawialnej do stosowania akumulatorów energii i wdrażania nowych systemów hybrydowych. Główną zaletą takich instalacji jest możliwość magazynowania i wykorzystywania energii elektrycznej na własne potrzeby, zwłaszcza w porach dnia, kiedy

promieniowanie słoneczne jest maksymalne, a zapotrzebowanie minimalne [2].

Badanie i analiza wyników

W pracy przeanalizowano typowe gospodarstwo domowe jednorodzinnie w warunkach klimatycznych Polski (Województwo Lubelskie) o mocy systemu fotowoltaicznego 4,76 kWp, powierzchni 23,6 m² z falownikiem hybrydowym. Dla konkretnej lokalizacji PV instalacji wzięto pod uwagę dane [3] dotyczące potencjału fotowoltaicznego: z 1 kWp uzyskujemy średnio 1094 MWh w ciągu 1 roku przy rocznej gęstości energii 1353,0 kWh na 1 m². Rozważony zainstalowane panele fotowoltaiczne jako typowy paneli cienkowarstwowy CuInGaSe. W jakości warstwy absorpcyjnej taki typowe fotokomórki zawierają CuIn_xGa_{1-x}Se₂, warstwę buforową CdS i warstwę przejrzystą ZnO. Pasma wzbronione Cu(In,Ga)Se₂ mieści się w zakresie od 1,04 do 1,68 eV [4]. Dla analizy samowystarczalności do zainstalowanego systemu fotowoltaicznego rozważono jeden, dwa oraz trzy akumulatory IBC SolStore Li [5], podłączanych równolegle o pojemności 351 Ah i napięciu U=55,5 V każdy, tworząc system hybrydowy. Przedstawiono wyniki wyliczeń za metodą [6,7], dotyczących gospodarstwa domowego o całkowitym rocznym zużyciu energii wynoszącym 4820 kWh.



Rys.1. Schemat rozważanego hybrydowego systemu fotowoltaicznego [opracowanie własne]

Początkowo system fotowoltaiczny on-grid podłączono do sieci jednofazowej o napięciu 230 V z maksymalną mocą przyłączeniową do 10kW miał następujący parametry bilansu energii elektrycznej ON-GRID systemu:

- ✓ energia wyprodukowana przez system PV (sieć AC) **4 978 kWh;**
- ✓ konsumpcja własna energii **1 013 kWh;**
- ✓ energia oddana do sieci zewnętrznej AC **3 965 kWh;**
- ✓ udział procentowy konsumpcji własnej energii **20,1%;**

- ✓ zainstalowane urządzenia gospodarstwa domowego **4 820 kWh/rok;**
- ✓ energia dostarczona bezpośrednio przez PV **1 013 kWh/rok;**
- ✓ energia dostarczona przez sieć AC elektroenergetyczną **3 822 kWh/rok;**
- ✓ procentowy udział energii słonecznej **20,9%.**

Energia wyprodukowana przez system PV (sieć AC)



Konsumpcja własna energii
 Regulacja w punkcie zasilania
 Energia oddana do sieci

Zużycie całkowite



pokryte przez PV
 pokryte przez sieć

Rys.2. PV Energia wyprodukowana oraz udział w pokryciu zapotrzebowania ON-GRID systemu [opracowanie własne]

Energia wyprodukowana pi system PV (sieć AC)



Konsumpcja własna energii bezpośrednio
 Ładowanie akumulatora
 Regulacja w punkcie zasilania
 Energia oddana do sieci

Zużycie całkowite



pokryte przez PV
 pokryte przez akumulator netto
 pokryte przez sieć

Ładowanie akumulatora (łącznie)



Ładowanie akumulatora (Instalacja PV)
 Ładowanie akumulatora (Sieć)

Rys 3. Energia wyprodukowana przez system PV z trzech akumulatorów , udział w pokryciu zapotrzebowana, stan ładowania akumulatora w hybrydowym systemie [opracowanie własne]

Wyniki wyliczeń bilansu zużycia energii elektrycznej systemu po zainstalowaniu równoległych trzech akumulatorów litowo-niklowo-tlenkowych o pojemności korzystnej całkowitej energii użytkowej **14 kWh** wraz z systemem kontroli ładowania i rozładowania:

- ✓ energia wyprodukowana przez system PV (sieć AC) **4 978 kWh;**
- ✓ konsumpcja własna energii **948 kWh/rok;**
- ✓ ładowanie akumulatora **2 013 kWh/rok**
- ✓ energia oddana do sieci **2 016 kWh;**

- ✓ udział procentowy konsumpcji własnej energii **59,4%;**
- ✓ zainstalowane urządzenia badanej instalacji **4 820 kWh/rok;**
- ✓ ilość energii oddanej z systemu trzech akumulatorów netto **1 665 kWh/rok;**
- ✓ energia dostarczona przez sieć elektroenergetyczną **2 222 kWh/rok;**
- procentowy udział energii słonecznej **54,1%.**

Bilans zużycia energii elektrycznej badanego systemu po równoległym zainstalowaniu dwóch akumulatorów litowo-niklowo-tlenkowego o pojemności korzystnej energii użytkowej **9,4 kWh** wraz z systemem kontroli ładowania i rozładowania:

- ✓ energia wyprodukowana przez system PV (sieć AC) **4 992 kWh;**
- ✓ konsumpcja własna energii **1 240 kWh/rok;**
- ✓ ładowanie akumulatora **1 417 kWh/rok;**
- ✓ energia oddana do sieci **2 335 kWh;**
- ✓ udział procentowy konsumpcji własnej energii **53,1%;**
- ✓ zainstalowane urządzenia badanej instalacji **4 820 kWh/rok;**
- ✓ ilość energii oddanej z systemu dwóch akumulatorów netto **1 770 kWh/rok**
- ✓ energia dostarczona przez sieć elektroenergetyczną **1 839 kWh/rok;**
- ✓ procentowy udział energii słonecznej **62,0%.**

Energia wyprodukowana przez system PV (sieć AC)



Konsumpcja własna energii bezpośrednio
 Ładowanie akumulatora
 Regulacja w punkcie zasilania
 Energia oddana do sieci

Zużycie całkowite



pokryte przez PV
 pokryte przez akumulator netto
 pokryte przez sieć

Ładowanie akumulatora (łącznie)



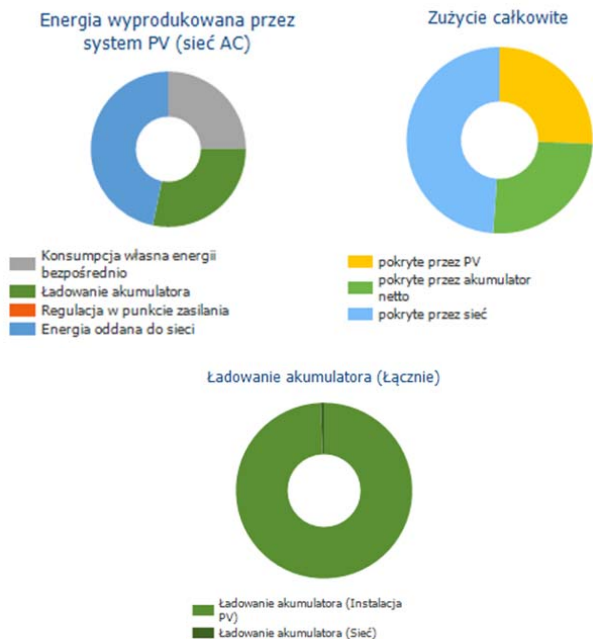
Ładowanie akumulatora (Instalacja PV)
 Ładowanie akumulatora (Sieć)

Rys 4. Energia wyprodukowana przez system PV z dwóch akumulatorów , udział w pokryciu zapotrzebowana, stan ładowania akumulatora w hybrydowym systemie [opracowanie własne]

Bilans zużycia energii elektrycznej badanego systemu po zainstalowaniu równoległe jednego akumulatora litowo-niklowo-tlenkowego o pojemności korzystnej energii użytkowej **4,7 kWh** wraz z systemem kontroli ładowania i rozładowania:

- ✓ energia wyprodukowana przez system PV (sieć AC) **4 992 kWh;**
- ✓ konsumpcja własna energii **1 226 kWh/rok;**
- ✓ ładowanie akumulatora **2 070 kWh/rok;**
- ✓ energia oddana do sieci **1 697 kWh;**
- ✓ udział procentowy konsumpcji własnej energii **65,9 %;**
- ✓ zainstalowane urządzenia badanej instalacji **4 820 kWh/rok;**

- ✓ ilość energii oddanej z systemu jednego akumulatora netto **1 231 kWh/rok**;
- ✓ energia dostarczona przez sieć elektroenergetyczną **2 364 kWh/rok**;
- ✓ procentowy udział energii słonecznej **51,1%**.



Rys 5. Energia wyprodukowana przez system PV z jednego akumulatora, udział w pokryciu zapotrzebowania, stan ładowania akumulatora w hybrydowym systemie [opracowanie własne]

Analizując bilans przepływu energii przed i po wdrażaniu akumulatorów do systemu fotowoltaicznego, widać znaczący wzrost udziału energii słonecznej w pokryciu zapotrzebowania własnego konsumenta. Udział procentowy energii słonecznej w zużyciu własnym zwiększył się z 20,9% dla systemu on-grid i od 54,1% do 62,0% procentowy udziału energii słonecznej dla systemu hybrydowego. Przed modernizacją konsument wyprodukował z systemu PV 4 978 kWh, co przekroczyło jego zapotrzebowanie. Tylko 1 013 kWh zostało użyte na własne potrzeby, a pozostałe 3 172 kWh oddano do sieci. Niewłaściwie jest traktować sieć zewnętrzną AC jako magazyn energii, w którą przekazane 3 985 kWh. Podsumowując, 4 185 kWh nie pokrywało zapotrzebowania konsumenta, które wyniosło 4 820 kWh. Wykorzystując akumulatory w instalacji, konsumpcja własna energii pochodzącej z PV jest prawie dwukrotnie wyższa dla trzech pojemności akumulatorów. Bezpośrednio z systemu PV wykorzystano od 948 kWh do 1240 kWh, a na ładowanie akumulatorów zużyto od 1665 do 1770 kWh od energii fotowoltaicznej. Pozostała energia (od 2 222 kWh do 1839 kWh) została pobrana z sieci elektroenergetycznej, do której oddano od 2 016 kWh do 1697 kWh.

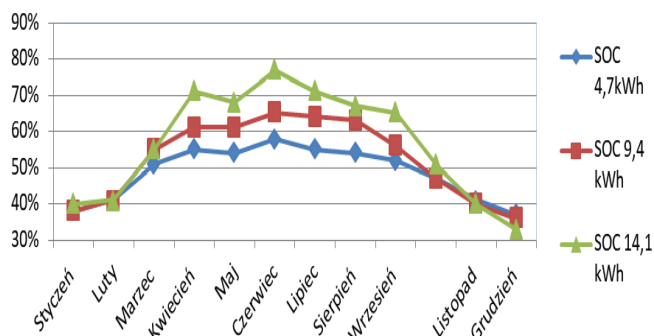
Obliczenia bilansu ładowania akumulatorów od systemu PV oraz z sieci AC ma następujący wyniki (Tab .1).

Rozważając stan naładowania akumulatorów SOC , jako stosunek do jego pojemności w miesięcznym wymiarze, który jest pokazany na rys. 6 odnotujemy, że żaden z systemów nie jest w miesiącach zimowych rozładowań

do poziomu, bliskiemu do krytycznych 20%. Warto wskazać, że w miesiącach letnich akumulatory nie jest w całości naładowane, czyli od 58% do 77%.

Tab 1. Roczny bilans ładowania akumulatorów od systemu PV oraz z sieci AC [opracowanie własne]

Pojemność akumulatora, kWh	4,7 kWh	9,4 kWh	14,1 kWh
Ładowanie z systemu PV, kWh	1417	2070	2013
Ładowanie z sieci zewnętrznej AC, kWh	9	48	342



Rys 6. Stan naładowania akumulatorów w stosunku do jego pojemności w miesięcznym wymiarze [opracowanie własne]

Wnioski:

1. Analiza miesięcznego procentowego stanu naładowania SOC (Rys 6.) każdego systemu akumulatorów oraz przepływ energii elektrycznej z sieci zewnętrznej do akumulatora, współczynnik energii elektrycznej od systemu PV do ładowania wskazują, że najskuteczniej dla takiego gospodarstwa jest system akumulatorów o pojemności korzystnej **9,4 kWh**.

2. Dla każdego konsumenta przy przejściu na „net-billing” używanie odpowiedniej pojemności oraz mocy akumulatora jest niezbędne dla osiągnięcia poziomu samowystarczalności. Dla zwiększenia współczynnika samowystarczalności jest niezbędne oprócz odpowiedniego akumulatora zwiększenie mocy systemu fotowoltaicznego.

3. Tworzenie samowystarczalnych sieci energetycznych i smart gridów jest wyzwaniem obecnych czasów. Wymaga to jednak wsparcia finansowego i technicznego. Rozwój ekoinnowacyjnych technologii, a zwłaszcza, systemów magazynowania energii, jest kluczowy dla rozwiązywania problemów związanych z ochroną środowiska. Obecnie jest to jednym z najważniejszych celów rozwoju technologicznego.

Autor: dr Zinovi Kohut, Czestochowa University of Technology, Faculty of Electrical Engineering, Institute of Electrical Power Engineering (1), Armii Krajowej Avenue 17, p.o. box 42-200 Czestochowa, Poland, e-mail: zenon.kogut@pcz.pl;

LITERATURA

- [1] Kogut Z., Całus D., Porównanie efektywności stacjonarnego i nadążnego systemu fotowoltaicznego, Rozdział w monografii: *Możliwości i Horyzonty Ekoinnowacyjności - Proekologiczne rozwiązania innowacyjne jako elementy transformacji energetycznej*, ISBN 978-83-66550-55-1, 2020, s.75-94
- [2] <https://www.gov.pl/web/klimat/nowy-system-rozliczania-tzw-net-billing> [dostęp 05 kwietnia 2023]
- [3] <https://globalsolaratlas.info/> [dostęp 05 kwietnia 2023]
- [4] Kohut Z., Całus D., Chabecki P., Modelowanie ogniw słonecznych w oparciu o CIGS z defektami wdrożonymi w głównych warstwach, *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 99, Vol. 2023, No 3/2023, DOI: 10.15199/48.2023.03.19, p.117-119
- [5] <https://www.ibc-solar.pl/produkty/> [dostęp 04 kwietnia 2023]
- [6] Szymański B., *Instalacje fotowoltaiczne*. Wydanie IV. Kraków 2015. ISBN 976-83-64339-03-5
- [7] Tytko R., *Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej*, Wydanie XI, Kraków 2019, ISBN 976-83-8111-095-2