

## Analiza Opłacalności Stosowania Instalacji Fotowoltaicznej We Współpracy Z Magazynem Energii Dla Domu Jednorodzinne

**Streszczenie.** W artykule scharakteryzowano instalacje fotowoltaiczne oraz magazyny energii. W części analitycznej wykonano analizę opłacalności instalacji fotowoltaicznej współpracującej z magazynami energii. Symulacji poddano systemy z zasobnikami energii o różnej pojemności. W pracy uwzględniono profil obciążenia gospodarstw domowych oraz dane udostępnionych przez IMGW. Analizie poddano wyniki otrzymane z zaproponowanego algorytmu na podstawie, których została wyznaczona rentowność instalacji fotowoltaicznej współpracującej z magazynem energii.

**Abstract.** The article describes photovoltaic installations and energy storage. In the analytical part, an analysis of the profitability of a photovoltaic installation cooperating with energy storage was performed. Systems without energy storage and with storage tanks were analyzed. The work takes into account the load profile of households and the data provided by the Institute of Meteorology and Water Management. The results obtained from the proposed algorithm were analyzed, on the basis of which the profitability of the photovoltaic installation cooperating with the energy storage was determined. (**Profitability Analysis of Using a Photovoltaic Installation in Cooperation with an Energy Storage for a Single-Family House**)

**Słowa kluczowe:** Instalacja fotowoltaiczna, magazyny energii, opłacalność instalacji, rentowność instalacji.

**Keywords:** Photovoltaic installation, energy storage, installation profitability, installation profitability.

### Wstęp

Rozwój instalacji fotowoltaicznych (PV) przyczynił się do wzrostu ilości energii elektrycznej wprowadzanej do sieci energetycznej, której charakterystyka jest ściśle zależna od warunków nasłonecznienia. Istniejące przepisy prawne, pozwalające na oddawanie energii do sieci elektroenergetycznej i późniejszy jej odbiór na poziomie 80% dla instalacji do 10 kW był dobrą alternatywą zastępującą zasobniki energii elektrycznej. Po zmianach przepisów niepewność co do systemu rozliczania nadwyżek oraz wydłużone czasy zwrotu inwestycji powodują, że zasobniki energii elektrycznej stają się pewną alternatywą na przechowywanie wygenerowanej energii, a nie na jej odsprzedaż. Istnieje wiele publikacji w których autorzy zajmują się analizą ekonomiczną opłacalności stosowania PV z zasobnikami energii [1, 2, 3]. Stosuje się wiele metod dyskontowych w celu określenia kosztów inwestycyjnych [4] i ujednoczonego kosztu energii elektrycznej (LCOE) [5].

W artykule autorzy przedstawili analizę opłacalności instalacji fotowoltaicznej dla domu jednorodzinne wraz z chemicznym zasobnikiem energii elektrycznej dla różnych założonych scenariuszy z zastosowaniem metod dyskontowych stosując wysokopoziomowy język programowania Python wraz z aplikacją Excel.

### Instalacje fotowoltaiczne

Instalacje fotowoltaiczne można podzielić na trzy podstawowe warianty:

- działające z siecią elektroenergetyczną (on grid) – składają się one z następujących elementów: panele fotowoltaiczne, falownik sieciowy oraz licznik dwukierunkowy (mierzący energię pobieraną i oddawaną do sieci). System ten oddaje nadwyżki energii, która nie została zużyta na cele autokonsumpcji do systemu elektroenergetycznego. Działa on również w drugą stronę, jeśli użytkownik nie jest w stanie wyprodukować tyle energii, aby zaspokoić swoje potrzeby może pobrać brakującą ilość energii z sieci,

- niezależne od sieci elektroenergetycznej (off grid) – skład takiej instalacji różni się od poprzedniej koniecznością wyposażenia systemu w magazyn energii oraz regulator ładowania. Zaletą tego systemu jest całkowite uniezależnienie się od sieci, a wadę stanowi konieczność zamontowania odpowiedniej liczby

akumulatorów, aby być w stanie zaspokoić potrzeby własne przez całą dobę,

- hybrydowe (mieszane) – posiadają elementy z dwóch poprzednich typów. Podobnie jak w przypadku układu on grid polega on na oddawaniu nadwyżek wygenerowanej energii, którą prosument nie jest w stanie zużyć, lecz w tym przypadku system ten posiada dwa lub więcej źródeł energii. Pierwszym jest sieć elektroenergetyczna, a drugim jest energia zmagazynowana na użytek własny w domowym magazynie energii w postaci np. akumulatorów.

Kluczowym warunkiem do stosowania instalacji fotowoltaicznych jest poziom nasłonecznienia, który umożliwia produkcję energii elektrycznej. Na świecie występują obszary o wysokim poziomie nasłonecznienia energii słonecznej, która osiąga 4000 kWh/m<sup>2</sup> na rok. Natomiast na terenie całej Polski zasoby energii słonecznej można oszacować na poziomie 950-1250 kWh/m<sup>2</sup> na rok [6].

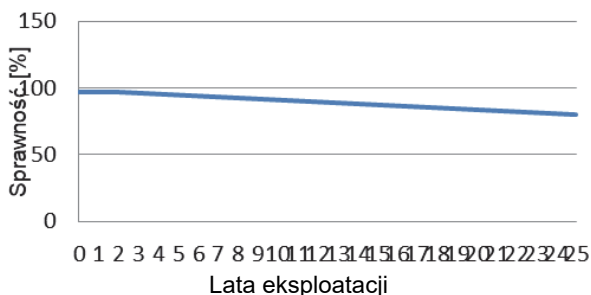
Wpływ na taką ilość energii słonecznej ma położenie geograficzne oraz odchylenie od kierunku południowego. Wysokość nad poziomem morza jest również istotnym czynnikiem, gdyż tereny te są bardziej nasłonecznione oraz panele mogą osiągnąć wyższą sprawność, gdy panuje niska temperatura powietrza. Najwyższy stopień nasłonecznienia występuje w miesiącach letnich. Aż 75% użytecznego promieniowania słonecznego przypada na miesiące od kwietnia do września. W miesiącach zimowych (od listopada do lutego) jest to zaledwie 12,5% [7].

Instalacja fotowoltaiczna składa się z kilku niezbędnych elementów, za pomocą których możliwe jest przetworzenie energii słonecznej na elektryczną:

- moduł fotowoltaiczny,
- inwerter (falownik),
- rozłącznik DC,
- zabezpieczenia i okablowanie.

Instalacje typu off grid oraz hybrydowe posiadają dodatkowo: regulator ładowania oraz magazyn energii.

Moduły fotowoltaiczne wraz z upływem czasu tracą sprawność. Jest ona zależna między innymi od technologii wykonania, zastosowanych materiałów podczas produkcji oraz warunków klimatycznych. Na rysunku numer 1 przedstawiono przykładową zależność mocy wyjściowej panelu od czasu eksploatacji w okresie 25 letnim.



Rys. 1. Sprawność modułu fotowoltaicznego na przestrzeni lat [8].

Sprawność modułu na przestrzeni 25 lat spada do około 80%. Jest to pewien wyznacznik jak długo instalacja może zaspokajać potrzeby użytkownika oraz po jakim okresie czasu sprawność modułu spadnie do wartości, w której nie będzie w stanie pokryć zaplanowanego zużycia energii. Przedstawiony okres jest przyjętym standardem przez producentów, w którym sprawność modułu nie spada poniżej 80%.

### Magazyny energii

Nadmiar wyprodukowanej energii można zmagazynować wykorzystując akumulatory. Moduły fotowoltaiczne wytwarzają prąd stały i poprzez regulator ładowania możemy naładować akumulatory. Magazyny energii wykorzystywane w instalacjach hybrydowych oraz wyspowych powinny posiadać: długą żywotność, niewielkie rozmiary, nieszkodliwość dla środowiska, odporność na wysokie temperatury oraz dużą pojemność. Istotnym czynnikiem wpływającym na czas pracy, a tym samym na żywotność akumulatora jest środowisko, w jakim akumulator musi pracować. Aby uniknąć skrócenia tego czasu należy wystrzegać się m.in. głębokich rozładowań, wydłużonych okresów, gdzie akumulator nie jest w pełni naładowany oraz wysokich temperatur baterii. Producenci (np. LG Chem RESU) zapewniają gwarancję na 10 lat na sprawność magazynu energii na poziomie 80%. Natomiast całkowita żywotność jest określona na minimum 6000 cykli ładowania, co oznacza okres ok. 15 lat eksploatacji [9].

Specyfikacje akumulatorów można opisać za pomocą trzech najważniejszych parametrów [6]:

- Głębokość rozładowania DoD (ang. Depth of Discharge) – opisuje jak głęboko akumulator jest rozładowany. Wartość DoD 0% oznacza w pełni naładowany, a DoD 100% oznacza całkowicie rozładowany akumulator.
- Stan naładowania SOC (ang. State of Charge) – parametr określający, w jakim stopniu naładowany jest akumulator, jest parametrem przeciwnym do DoD, także SOC 100% oznacza w pełni naładowany akumulator.
- Liczba cykli ładowania – określa żywotność akumulatora. Wraz ze wzrostem cykli zmniejsza się pojemność akumulatora. Każde naładowanie i rozładowanie skutkuje degradacją ogniwa. Im głębiej się rozładowuje tym jego żywotność szybciej spada.

### Założenia przyjęte w analizie

Przedmiotem pracy jest analiza ekonomiczna opłacalności instalacji fotowoltaicznej współpracującej z magazynem energii na przykładzie dwukondygnacyjnego domu jednorodzinnego w gminie Poniec, powiat gostyński, województwo wielkopolskie. Zbudowany jest on z tradycyjnej konstrukcji murowanej, całość budynku przykryta jest dachem dwuspadowym o kącie nachylenia 30° w kierunkach północ-południe. Obszar połaci dachowej łącznie wynosi 140 m<sup>2</sup> – równo po obu stronach.

Budynek mieszkalny jest zamieszkiwany przez 4-osobową rodzinę, która między 8:00-16:00 przebywa poza miejscem inwestycji. W mieszkaniu wykorzystuje się typowe dla domowego przeznaczenia sprzęty elektroniczne, a podgrzewanie wody jest realizowane poprzez zainstalowane grzałki elektryczne. W celu zapewnienia stałego dostępu do energii elektrycznej, zastosowano instalację on-grid z zainstalowanym magazynem energii w formie akumulatorów litowo-jonowych. Zdecydowano się na połączenie z siecią elektroenergetyczną ze względu na okres zimowy, w którym moc zainstalowana na dachu nie pozwoli na wyprodukowanie wystarczającej ilości energii, aby niezależnie się od sieci. W miesiącach letnich produkcja znacząco przekroczy zapotrzebowanie oraz ilość energii jaką magazyn energii będzie mógł zmagazynować, przez co przyjęto, że nadwyżka wyprodukowanej energii zostanie oddana do operatora systemu elektroenergetycznego.

Obecnie w obiekcie jest stosowana taryfa G11. Roczne zużycie energii w roku 2019 wyniosło 4344 kWh, a za rok 2020 stanowiło 4759 kWh. Szczegółowe dane rocznego zużycia energii za okres od maja 2020 do maja 2021 przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Roczne zużycie energii przez domowników

Okres rozliczeniowy	Ilość zużytej energii elektrycznej [kWh]
09.05.2020 – 14.07.2020	720
15.07.2020 – 11.09.2020	671
12.09.2020 – 16.11.2020	740
17.11.2020 – 19.01.2021	860
20.01.2021 – 15.03.2021	800
16.03.2021 – 17.05.2021	830
Suma	4621

W celu uzyskania rzeczywistych rezultatów w analizie zostały uwzględnione następujące czynniki, bezpośrednio wpływające na wydajność instalacji: spadek sprawności, żywotność elementów instalacji, zmiana wartości waluty, wzrost cen energii elektrycznej, utrzymanie instalacji fotowoltaicznej.

W celu zwiększenia autokonsumpcji został dodany magazyn energii z akumulatorem litowo-jonowym. Rozpatrzono instalacje wraz z magazynami energii o różnej pojemności, Moc instalacji została ustalona na poziomie 4,9 kW. Instalacja będzie składała się z 11 modułów LR4-72HPH o mocy 445 W firmy Longi. Moduły zostaną umieszczone na południowej połaci dachowej (tab. 2).

Tabela 2 Instalacja fotowoltaiczna

Nazwa	Model
Moduł fotowoltaiczny	11 x Longi 445 W LR4-72HPH
Inwerter	Hybrid Inverter HYD 5000-ES
Okablowanie	Helukabel EN 50618, 50 m
Akumulator	LG RESU Chem

W tabeli 3 przedstawiono parametry techniczne magazynów energii, które zastosowano w analizie energetycznej i ekonomicznej.

Ilości energii wyprodukowanej przez panele fotowoltaiczne uzyskano dzięki danym o nasłonecznieniu z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW), Pomiarzy odczytano ze stacji znajdującej się w miejscowości Koło, które jest oddalone o około 130 km od Czarkowa. Ostatnie dane zostały zebrane w 2015 roku. Po zsumowaniu wartości dla całego roku można odczytać, że nasłonecznienie w regionie wynosi 1152,6 kWh/m<sup>2</sup>. Wartość należy pomnożyć przez współczynnik korekcji nasłonecznienia, który wynosi 1,06 [6, 10].

Tabela 3 Parametry techniczne magazynów energii

Model	Resu 3.3	Resu 6.5	Resu 13.1
Energia nominalna [kWh]	3.3	6.5	13.1
Pokrycie zapotrzebowania [%]	23%	47%	99 %
Energia użyteczna [kWh]	2.9	5.9	12.4
Napięcie nominalne [V]	51.8		
Zakres napięć [V]	42.0 – 58.8		
Moc maksymalna [kW]	3.0	4.2	5.0
Wymiary [szer. X wys. X gł. X, mm]	452 x 403 x 120	452 x 656 x 120	452 x 626 x 227
Waga [kg]	31	52	99

Rzeczywistą ilość energii produkowanej przez instalacje można zapisać jako [11]:

$$E_{RZ} = \frac{N \cdot W_K \cdot P \cdot W_W}{N_p} [kWh], \quad (1)$$

gdzie: N - nasłonecznienie [kWh],  $W_K$  - współczynnik korekcyjny, P - moc modułów w war.(STC)[kW],  $W_W$  - współczynnik wydajności,  $N_p$  - natężenie promieniowania w war.(STC)[kW/m<sup>2</sup>]

Współczynnik wydajności jest to poziom strat, które istnieją pomiędzy instalacją rzeczywistą i teoretyczną. Można opisać to wzorem:

$$W_W = 100 - \text{straty} [\%] \quad (2)$$

Aby wyznaczyć poziom wszystkich strat do obliczeń przyjęto [1]:

- straty na przewodach – 1%,
- straty falownika – 5%,
- straty na modułach PV związane z temperaturą – 6%,
- straty z uwagi na pracę przy niskim natężeniu promieniowania słonecznego – 1%,
- straty z uwagi na zabrudzenie/zacienienie – 1%,
- straty na diodach obejściowych – 0,5%,
- straty z niedopasowania prądowego modułów PV – 1,5%.

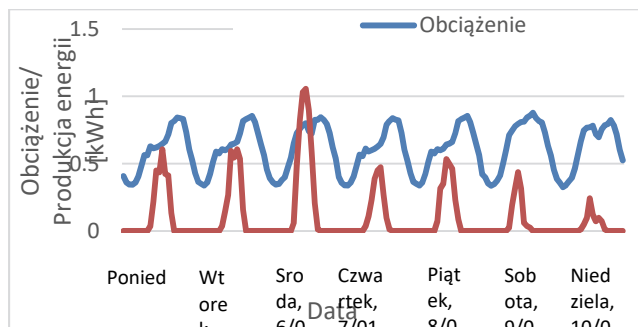
Łączna suma strat wynosi 16%. Podstawiając pod wzór (2) sumę strat, wartość współczynnika wydajności wynosi 0,84. Kolejno podstawiając do wzoru (1) odpowiednie wartości współczynników, otrzymano energię rzeczywistą na poziomie 5.028 kWh.

W tabeli 4 przedstawiono wyniki obciążenia i produkcji z dwóch okresów.

Tabela 4 Obciążenie oraz produkcja energii elektrycznej w tygodniu zimowym oraz letnim

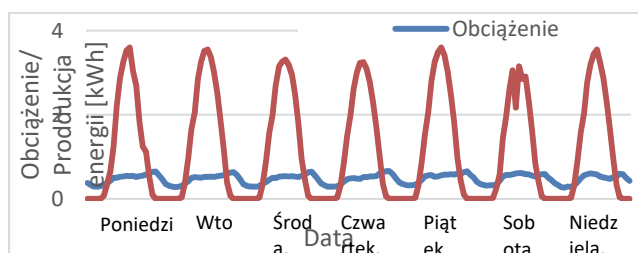
Rodzaj tygodnia	Obciążenie [kWh]	Produkcja energii elektrycznej [kWh]
Zimowy	102,34	17,54
Letni	80,22	201,76

Na podstawie tabeli 1 i wartości nasłonecznienia można zauważyć, że w okresie zimowym instalacja PV nie zapewnia wystarczającej ilości energii elektrycznej, aby pokryć całkowite zapotrzebowanie. W takim okresie większość energii będzie pochodziła od operatora sieci (rys. 2).



Rys. 2. Obciążenie oraz produkcja energii elektrycznej w tygodniu zimowym

Na rysunku 3 przedstawiono obciążenie oraz produkcja energii elektrycznej w tygodniu letnim.



Rys. 3. Obciążenie oraz produkcja energii elektrycznej w tygodniu letnim

W tym przypadku część energii zostanie sprzedana do sieci lub wykorzystana w celu ładowania zasobnika energii elektrycznej [12].

### Analiza

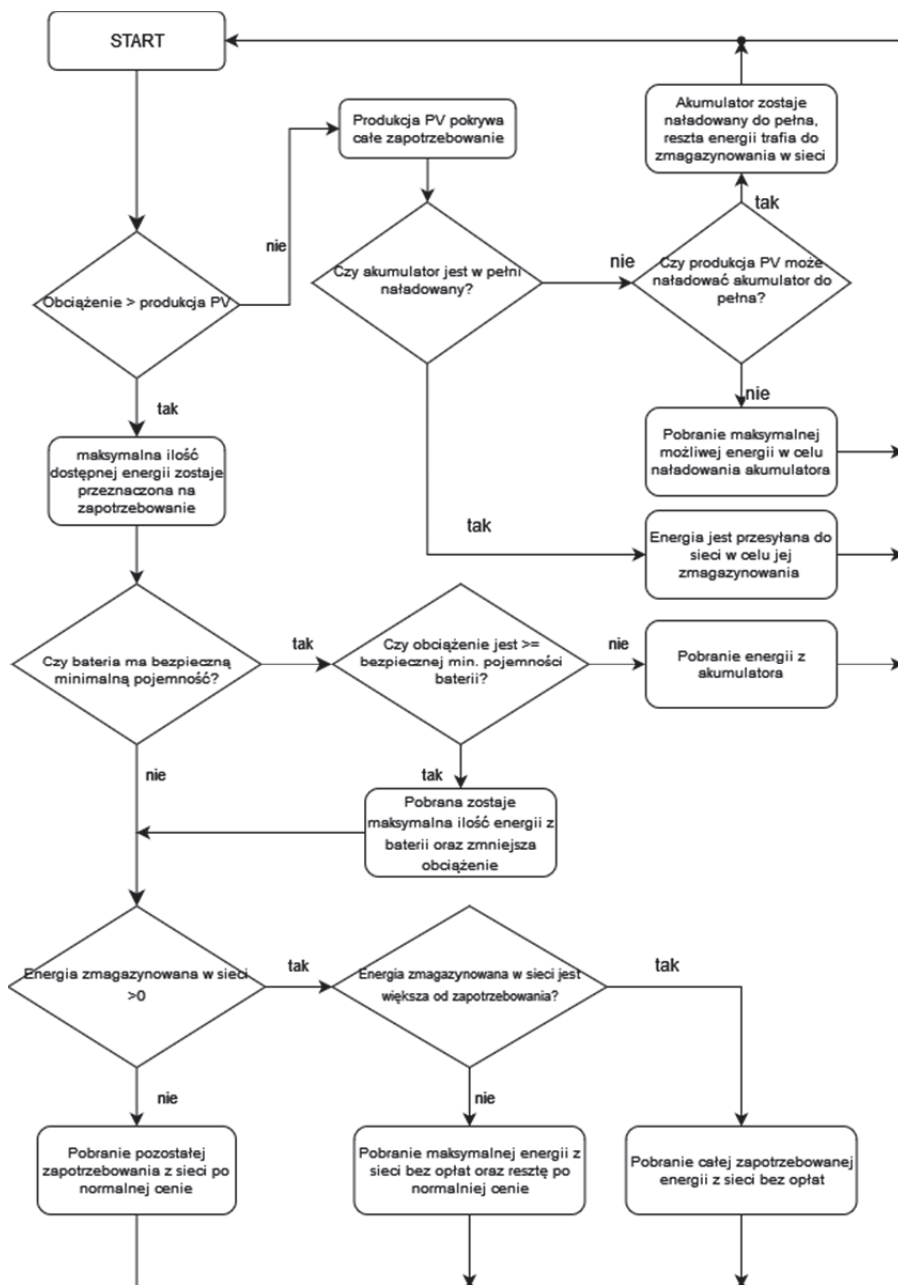
W celu przeprowadzenia analizy opłacalności instalacji opracowano algorytm działania programu (rys.4), który ma za zadanie sterować energią elektryczną w zależności od czynników, tj. aktualnej produkcji energii elektrycznej z paneli fotowoltaicznych, ilości zmagazynowanej energii, ilości energii oddanej do sieci oraz pobranej z sieci.

Model został utworzony w programie Python 3.8. Pozwala on na odczyt jak i zapis danych z arkusza kalkulacyjnego. Program początkowo importuje dane z arkusza z podstawowymi danymi rozbitymi na godziny. Następnie przetwarza wczytane dane i zmienia wartości zmiennych, a po ukończeniu procesu dane wyjściowe zostają zapisane w formie arkusza kalkulacyjnego.

Dane wejściowe użyte do algorytmu:

- Efektywność paneli fotowoltaicznych maleje z każdym rokiem o 0,55%,
- Pojemność magazynu energii zmniejsza się o 1,5% rocznie (uproszczona wartość),
- Przez cały okres wartość nasłonecznienia została ustalona zgodnie z danymi stacji pogodowej,
- Zapotrzebowanie w każdym roku wynosi 4600 kWh,
- Została przewidziana wymiana akumulatora po 15 latach użytkowania

Na podstawie zaproponowanego algorytmu wyznaczono konsumpcję własną w poszczególnych latach użytkowania. W tabeli 5 został przedstawiony poziom konsumpcji własnej w pierwszym roku użytkowania oraz jej udział procentowy. Analizie poddano trzy warianty użytkowania wraz z magazynem energii o pojemnościach 3,3 kWh, 6,1 kWh i 13,1 kWh. Energia wyprodukowana w pierwszym roku eksploatacji wynosi 4928 kWh.



Rys. 4. Algorytm sterowania energią elektryczną

Tabela 5 Energia zmagazynowana w ciągu roku przez magazyn energii

Rodzaj instalacji	Instalacja z akumulatorem (RESU 3.3)	Instalacja z akumulatorem (RESU 6.5)	Instalacja z akumulatorem (RESU 13.1)
Poziom autokonsumpcji [kWh]	2514,8	2958,2	3054,48
Udział w konsumpcji własnej [%]	51	60	62

#### Analiza ekonomiczna

Analizę ekonomiczną poprzedzoną ustaleniem następujących danych początkowych:

- okres eksploatacji – 30 lat,
- finansowanie ze środków własnych,
- roczny wzrost cen energii elektrycznej za [kWh] – 6%,
- koszt 1 kWh energii w pierwszym roku eksploatacji wynosi 0,74 zł (w przypadku ENEA S.A.) [13],

- ubezpieczenie – 150 zł/rok,
- opłaty stałe dostawcy – 20 zł/miesiąc (rocznie 240 zł) [13],
- koszt czyszczenia paneli fotowoltaicznych – 20 zł/m<sup>2</sup>,
- stałe zapotrzebowanie na poziomie 4600 kWh.
- stopa inflacji na podstawie okresu (01.2017 -04.2022) – 5% [14, 15].

W tabeli 6 przedstawiono kosztorys poszczególnych podzespołów instalacji fotowoltaicznej. Całkowity koszt urządzeń instalacji został przedstawiony w tabeli 7.

Najmniejszymi kosztami poniesionymi zarówno przy montażu, jak i przy okresowej wymianie urządzeń, posiada instalacja z magazynem energii o najmniejszej pojemności. Różnica kosztów zależy bezpośrednio od wielkości magazynu energii.

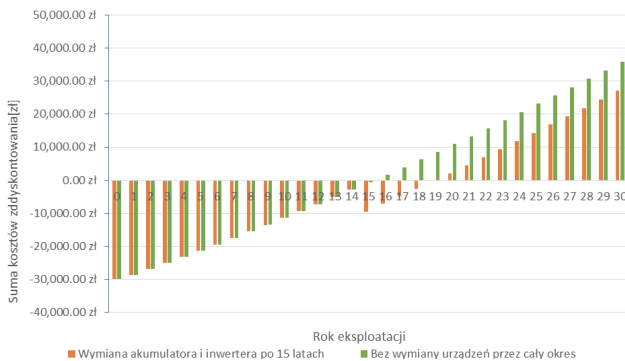
Tabela 6 Kosztorys poszczególnych podzespołów instalacji fotowoltaicznej

Urządzenie	Liczba	Cena [zł/szt.]
Moduł fotowoltaiczny Longi 445 W LR4-72HPH	11 szt.	549 zł
Inwerter Hybrid Inverter HYD 5000-ES 5.0	1 szt.	6267 zł
System montażowy	1 kpl.	4000 zł
Okablowanie wraz z zabezpieczeniami	1 kpl.	1500 zł
Akumulator LG RESU Chem 3.3/6.5/13.1	1 szt.	12103/ 16537/30250 zł

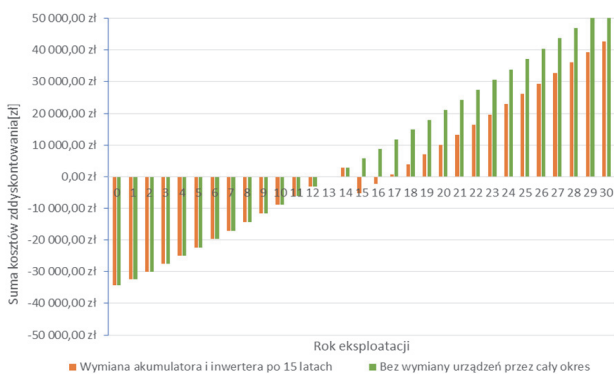
Tabela 7 Koszt urządzeń i koszt ich wymiany po 15 latach eksploatacji

Rodzaj systemu	Koszt poniesiony przy założeniu instalacji [zł]	Koszt wymiany urządzeń w 15 roku eksploatacji [zł]
Instalacja z magazynem LG RESU 3.3	39732	28193
Instalacja z magazynem LG RESU 6.5	44166	32627
Instalacja z magazynem LG RESU 13.1	57879	46340

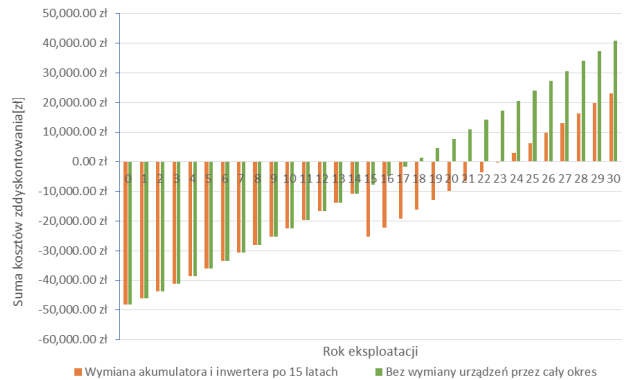
Na podstawie własnego programu oraz arkusza kalkulacyjnego obliczono koszty poniesione podczas czasu eksploatacji instalacji, a także szacowany czas zwrotu nakładów poniesionych podczas inwestycji. W symulacjach uwzględniono stałą liczbę cykli ładowania chemicznego zasobnika energii bez uwzględnienia wydłużenia jego żywotności podczas niepełnego ładowania (np. zimą). Na rysunkach 5, 6 i 7 kolejno przedstawiono zwrot kosztów instalacji z magazynem LG RESU 3.3, 6.5 i 13.1.



Rys. 5. Zdyskontowany okres zwrotu instalacji z magazynem LG RESU 3.3



Rys. 6. Zdyskontowany okres zwrotu instalacji z magazynem LG RESU 6.5



Rys. 7. Zdyskontowany okres zwrotu instalacji z magazynem LG RESU 13

Z przeprowadzonej analizy wynika że zastosowanie magazynu energii o niedoszacowanej wartości pojemności wydłuża okres zwrotu inwestycji do około 20 lat. Jest to związane z tym, że energia elektryczna jest oddawana do sieci, a później kupowana po wyższej cenie. Kolejnym skrajnym przypadkiem jest przewymiarowanie magazynu energii tak, że jest on niewykorzystywany w pełni, szczególnie w miesiącach zimowych. Czas zwrotu wydłużył się do 23 lat. Optymalny dobór pojemności zastosowanego magazynu energii pozwolił na jego pełne wykorzystanie i jednocześnie na skrócenie czasu zwrotu inwestycji do 17 lat w analizowanym przykładzie.

### Wnioski

W pracy przeanalizowano instalację elektryczną domu jednorodzinnego z instalacją fotowoltaiczną i magazynem energii. Wyznaczone pokrycie zapotrzebowania na energię dla wybranego obiektu jest ściśle powiązane z wykorzystaniem tej energii na potrzeby własne. Zasobnik o energii użytecznej (5,9 kWh) pokrywający zapotrzebowanie energii na poziomie 60% jest najbardziej dopasowany pod względem energetycznym i inwestycyjnym. Zmniejszenie zasobnika energii zmniejsza poziom autokonsumpcji o około 9% i wydłuża czas zwrotu inwestycji o 3 lata z uwagi na większy pobór energii z systemu energetycznego. Natomiast zwiększenie zasobnika energii powoduje, że zwrot z inwestycji wydłuży się z uwagi na jego niewykorzystanie w pełni. Analiza ukazuje kluczową rolę doboru elementów składowych systemu fotowoltaicznego z magazynem energii w celu zapewnienia jego właściwej pracy i zapewnienia najkrótszego okresu zwrotu zainwestowanych środków finansowych.

**Autorzy:** dr inż. Dariusz Kurz, Politechnika Poznańska, Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: Dariusz.Kurz@put.poznan.pl; prof. dr hab. inż. Ryszard Nawrowski, Politechnika Poznańska, Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: Ryszard.Nawrowski@put.poznan.pl; dr inż. Michał Filipiak, Politechnika Poznańska, Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: Michal.Filipiak@put.poznan.pl; mgr inż. Remigiusz Pierzchała, Politechnika Poznańska, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: RemigiuszPierzchala@gmail.com.

### LITERATURA

- [1] Rotella Junior, P., Rocha, L. C. S., Morioka, S. N., Bolis, I., Chicco, G., Mazza, A., & Janda, K. (2021). Economic analysis of the investments in battery energy storage systems: review and current perspectives. *Energies*, 14(9), 2503.
- [2] Su, W. F., Huang, S. J., & Lin, C. E. (2001). Economic analysis for demand-side hybrid photovoltaic and battery energy storage

- system. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 37(1), 171-177,
- [3] Szczerbowski R.: Instalacje fotowoltaiczne - aspekty techniczno-ekonomiczne, *Przegląd Elektrotechniczny*, 10 (2014), s. 31-36, <https://doi:10.12915/pe.2014.10.08>.
- [4] Michalak, J. (2013). Wybrane metody wspomagające podejmowanie decyzji inwestycyjnych w energetyce. *Polityka Energetyczna*, 16,
- [5] Kasprzyk, L., Tomczewski, A., Bednarek, K., & Bugała, A. (2017). Minimisation of the LCOE for the hybrid power supply system with the lead-acid battery. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 19, p. 01030). EDP Sciences,
- [6] Szymański B „Instalacje fotowoltaiczne”, Globenergia, Kraków 2020,
- [7] Piech K. "Energia elektryczna pochodząca z ogniw fotowoltaicznych i budownictwo energooszczędne". *Energetyka dla budownictwa - spojrzenie młodych naukowców* : monografia 2015. Kraków 2015,
- [8] Bakalarczyk J. „Przekształtniki energoelektroniczne w instalacjach fotowoltaicznych” 2014,
- [9] <https://www.gramzielone.pl/energia-sloneczna/17312/lg-wprowadza-na-rynek-domowy-magazyn-energii> [dostęp 19.05.2022],
- [10] [https://danepubliczne.imgw.pl/data/dane\\_pomiarowo\\_obserwacyjne/dane\\_aktynometryczne/Ko%c5%82o/zweryfikowane/2015](https://danepubliczne.imgw.pl/data/dane_pomiarowo_obserwacyjne/dane_aktynometryczne/Ko%c5%82o/zweryfikowane/2015), [dostęp:14.10.2021],
- [11] <https://www.kompaniasolarna.pl/fotowoltaika/obliczyc-uzysk-energii-instalacji-fotowoltaicznej/> [dostęp:14.01.2022],
- [12] <https://www.operator.enea.pl/dlafirmy/uslugidystybucyjne/iriesd>, [dostęp:19.05.2022],
- [13] <http://cena-pradu.pl/tabela-vat-23.html>, [dostęp:19.05.2022],
- [14] Dane statystyczne: Roczne wskaźniki cen towarów i usług konsumpcyjnych od 1950. <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/ceny-handel/wskazniki-cen/wskazniki-cen-towarow-i-uslug-konsumpcyjnych-pot-inflacja-roczne-wskazniki-cen-towarow-i-uslug-konsumpcyjnych>, [dostęp:19.05.2022],
- [15] <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/ceny-handel/wskazniki-cen/wskazniki-cen-towarow-i-uslug-konsumpcyjnych-w-kwietniu-2022-roku,2,126.html>, [dostęp:19.05.2022].