

EKONOMICZNA OPŁACALNOŚĆ MONTAŻU PANELI FOTOWOLTAICZNYCH PRZEZ GOSPODARSTWA DOMOWE: ANALIZA KOSZTÓW I KORZYŚCI

Mateusz Bajor^{1*}

Politechnika Częstochowska, Wydział Zarządzania, Polska


Streszczenie: Polska ma najwyższe ceny hurtowe energii elektrycznej w Unii Europejskiej. Taka sytuacja, pomimo kolejnego zamrożenia cen prądu, budzi dużą niepewność odnośnie przyszłego kształtowania się cen energii dla gospodarstw domowych. Od pewnego czasu można zaobserwować dość dynamiczny wzrost jej cen. Instalacja fotowoltaiczna o dobrze dobranej mocy jest w stanie znacząco obniżyć koszty energii elektrycznej. Taka inwestycja wiąże się z dość sporym nakładem finansowym. Głównym celem niniejszego artykułu jest badanie oraz ocena korzyści, jakie niesie ze sobą decyzja o montażu paneli fotowoltaicznych przez gospodarstwa domowe. Wykorzystane metody badawcze to analiza literatury przedmiotu oraz wykorzystanie autorskich danych związanych z wielkością produkcji energii ze szczególnym uwzględnieniem autokonsumpcji.

Słowa kluczowe: autokonsumpcja, ekonomia, fotowoltaika, korzyści, koszty

Kod klasyfikacji JEL: E21, E22, E23, D24

Wprowadzenie

Wzrost zainteresowania odnawialnymi źródłami energii to zjawisko, które w ostatnich dekadach stało się jednym z kluczowych (Sobierajski et al., 2009) trendów globalnej polityki energetycznej i środowiskowej. Wynika to z połączenia kilku istotnych czynników.

¹ Mateusz Bajor, mgr inż., ul. Dąbrowskiego 69, 42-201 Częstochowa, Polska, mateusz.bajor@pcz.pl,  <https://orcid.org/0000-0002-3459-7912>

* Autor korespondencyjny Mateusz Bajor, mateusz.bajor@pcz.pl

Pierwszy odnosi się do zmian klimatycznych, które wpływają na postępujące ocieplenie się klimatu, co z kolei wiąże się z coraz bardziej powszechnymi, również w Polsce, ekstremalnymi zjawiskami pogodowymi. Międzynarodowa społeczność przystąpiła do działań na rzecz redukcji emisji gazów cieplarnianych przy bardziej powszechnym wykorzystaniu technologii odnawialnych źródeł energii (OZE), takich jak energia słoneczna, wiatrowa, wodna czy geotermalna (Czarnecka & Ogłódek, 2020).

Drugi jest związany z dynamicznym rozwojem technologii OZE, co w ostatnich latach znacząco obniżyło koszty ich wytwarzania i instalacji (Sowa, 2018). Ceny paneli fotowoltaicznych spadły o ponad 80% od 2010 roku dzięki masowej produkcji i postępowi technologicznemu.

Trzeci aspekt jest związany z regulacjami i polityką międzynarodową, a dokładniej z:

- porozumieniem paryskim (2015), które zobowiązało kraje do działań na rzecz ograniczenia globalnego ocieplenia poniżej 2°C w porównaniu z poziomem sprzed epoki przemysłowej (Wąsiński, 2015);
- celami Unii Europejskiej, która jest światowym liderem w działaniach proklimatycznych poprzez realizację ambitnych strategii zmierzających do osiągnięcia neutralności klimatycznej (Olczak, 2016) w roku 2050.

Najważniejsze strategie i regulacje dotyczą:

1. Europejskiego Zielonego Ładu (Kasztelan, 2022), który zawiera:
 - plan strategiczny UE mający na celu przekształcenie Europy w pierwszy kontynent neutralny klimatycznie do 2050 roku;
 - redukcję emisji gazów cieplarnianych o co najmniej 55% do 2030 roku (względem poziomów z 1990 roku);
 - transformację w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym i promowanie inwestycji w zrównoważone technologie.
2. Systemu handlu emisjami (EU ETS) uwzględniającego:
 - największy na świecie system handlu uprawnieniami do emisji CO₂;
 - objęcie sektorów energochłonnych, energetyki i lotnictwa, które odpowiadają za największe emisje;
 - regularne zmniejszanie limitów emisji, co motywuje firmy do inwestowania w technologie niskoemisyjne.
3. Dyrektywy RED II (Renewable Energy Directive II), mówiącej o:
 - wymogu zwiększenia udziału energii z OZE w finalnym zużyciu energii w UE do co najmniej 32% do 2030 roku;
 - promowaniu samowystarczalności energetycznej oraz systemów prosumenckich (Lubowicz, 2023).
4. Mechanizmu dostosowywania cen na granicach (CBAM):
 - wprowadzenie opłat za emisje w imporcie wyrobów energochłonnych spoza UE;
 - wyrównanie konkurencji między unijnymi firmami a producentami spoza obszaru z rygorystycznymi regulacjami emisyjnymi.

5. Fit for 55:

- pakiet legislacyjny wprowadzony w 2021 roku w celu dostosowania prawa unijnego do celu redukcji emisji o 55% do 2030 roku;
- wprowadzenie bardziej restrykcyjnych limitów emisji w transporcie, budownictwie i przemyśle.

Czwarty związany jest z narodowymi dotacjami wspierającymi finansowo gospodarstwa domowe inwestujące w OZE. W Polsce dla przykładu funkcjonuje program „Mój Prąd”, „Czyste Powietrze”, a w innych państwach „Feed-in Tariffs”. Również wzrost świadomości wśród społeczeństwa odgrywa kluczową rolę. Kampanie edukacyjne i raporty naukowe (np. IPCC) podnoszą świadomość na temat wpływu energii konwencjonalnej (Igliński, 2018) na środowisko. Konsument i firmy coraz częściej wybierają „zieloną energię” jako wyraz odpowiedzialności ekologicznej i społecznej.

Piąty aspekt związany jest z dążeniem do niezależności energetycznej. Odnawialne źródła energii umożliwiają krajom oraz społecznościom ograniczenie zależności od importu (Janik et al., 2018) coraz droższych oraz nie do końca dobrej jakości paliw kopalnych, co znacząco wpływa na zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego. Duży rozwój inwestycji w OZE dostrzega się wśród krajów rozwijających się (Skibicki et al., 2022), które w ten sposób minimalizują ryzyko związane z wciąż dużą niestabilnością rynków surowców energetycznych, powstałą na skutek konfliktów zbrojnych.

Szósty argument to rozwój nowych modeli biznesowych:

- Model prosumenta skierowany do przedsiębiorstw, jak i osób prywatnych decydujących się rozpocząć produkcję energii elektrycznej na własny użytek oraz na odsprzedaż zakładowi energetycznemu nadwyżek produkcji.
- Model technologiczny kładący nacisk na rozwój pojemnych baterii litowo-jonowych umożliwiających magazynowanie coraz to większej ilości energii elektrycznej pochodzącej z odnawialnych źródeł energii.

Podsumowując: OZE odgrywają kluczową rolę w procesie transformacji energetycznej, która ma na celu przejście od systemu energetycznego opartego na paliwach kopalnych do bardziej zrównoważonych, czystych i ekologicznych rozwiązań. W obliczu zmian klimatycznych, rosnącego zapotrzebowania na energię oraz wyczerpywania się zasobów naturalnych rozwój i integracja OZE są priorytetem globalnej polityki energetycznej (Jędral, 2020). Jedną z najpopularniejszych technologii OZE, za sprawą dużej dostępności, szybkiego czasu montażu oraz wciąż spadających cen, jest fotowoltaika.

Taksonomia fotowoltaiki

Fotowoltaika to dziedzina nauki i technologii zajmująca się procesem przekształcania energii promieniowania słonecznego w energię elektryczną za pomocą zjawiska fotowoltaicznego. Proces ten odbywa się w specjalnych urządzeniach zwanych ogniwami fotowoltaicznymi, które są głównym elementem paneli fotowoltaicznych (Sarniak, 2019). Technologia ta stanowi jedno z kluczowych rozwiązań w dziedzinie

odnawialnych źródeł energii, przyczyniając się do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, ochrony środowiska oraz zwiększenia niezależności energetycznej. Samo zaś zjawisko fotowoltaiczne związane jest z wytwarzaniem różnicy potencjałów elektrycznych w półprzewodniku pod wpływem absorpcji promieniowania świetlnego (Jaskółowski, 2016). W praktyce ogniwa fotowoltaiczne, zazwyczaj wykonane z krzemu, wykorzystują energię fotonów zawartą w promieniowaniu słonecznym do wzbudzenia elektronów, co prowadzi do powstania prądu elektrycznego. W układach fotowoltaicznych energia elektryczna wytwarzana jest w postaci prądu stałego (DC), który następnie, za pomocą urządzenia zwanego inwerterem (falownikiem), jest przekształcany na prąd zmienny (AC) – formę odpowiednią do zasilania urządzeń elektrycznych w gospodarstwach domowych i przedsiębiorstwach lub przesyłania jej do sieci elektroenergetycznej (Jaskółowski, 2016).

Fotowoltaika obejmuje różnorodne zastosowania – od niewielkich systemów off-grid, które zaspokajają potrzeby energetyczne pojedynczych budynków, po duże elektrownie fotowoltaiczne (tzw. farmy słoneczne), które dostarczają energię do krajowych systemów energetycznych. Rozwój fotowoltaiki jest napędzany zarówno postępem technologicznym, który zwiększa efektywność i obniża koszty produkcji paneli, jak i rosnącą świadomością, stając się coraz bardziej popularnym rozwiązaniem energetycznym na całym świecie (Góralczyk & Tytko, 2016). Jest kluczowym elementem transformacji energetycznej, zmierzającej do ograniczenia zależności od paliw kopalnych i osiągnięcia neutralności klimatycznej w wielu krajach. W ostatnich latach można zaobserwować szybki rozwój technologii fotowoltaicznych zarówno na obszarach miejskich (Fu et al., 2024), głównie na dachach budynków mieszkalnych oraz przedsiębiorstwach, jak i wiejskich, w formie dużych farm fotowoltaicznych na otwartych terenach. W zależności od zastosowanego systemu wyprodukowana energia może być:

- zużywana na bieżąco,
- magazynowana w akumulatorach,
- sprzedawana do sieci elektroenergetycznej.

Taksonomia fotowoltaiki to systematyczny podział technologii i zastosowań związanych z wykorzystaniem energii słonecznej do produkcji energii elektrycznej. Podział ten obejmuje różne aspekty, takie jak typy materiałów, konstrukcje ogniw, systemy instalacyjne, zastosowania oraz połączenia z innymi technologiami. Poniżej przedstawiono szczegółowy opis kluczowych kategorii (Szymański, 2017):

1. Podział według rodzaju ogniw fotowoltaicznych:

a) Ogniwa monokrystaliczne:

- wykonane z jednego kryształu krzemu;
- najwyższa sprawność (20-24%) i długa żywotność;
- dobre w instalacjach o ograniczonej powierzchni.

b) Ogniwa polikrystaliczne:

- wykonane z wielu kryształów krzemu;
- nieco niższa sprawność (15-20%) w porównaniu z monokrystalicznymi;
- tańsze w produkcji, szeroko stosowane.

-
- c) Ogniwa cienkowarstwowe:
 - wykonane z materiałów takich jak tellurek kadmu (CdTe), miedź-indygal-diselenek (CIGS) lub amorficzny krzem (a-Si);
 - charakteryzują się elastycznością i możliwością zastosowania w niestandardowych (Marszałek, 2023) konstrukcjach (np. elewacjach budynków);
 - niższa sprawność (8-15%), ale są lżejsze i tańsze.
 - d) Ogniwa nowej generacji:
 - ogniwa perowskitowe – obiecująca technologia o wysokiej sprawności i niskim koszcie produkcji;
 - ogniwa tandemowe – połączenie różnych typów ogniw dla maksymalnej sprawności;
 - ogniwa organiczne (OPV) – elastyczne i tanie, ale o ograniczonej trwałości.
 2. Podział według konstrukcji systemów fotowoltaicznych:
 - a) Systemy stacjonarne:
 - panele zamontowane na stałe, skierowane w stronę optymalną do maksymalizacji nasłonecznienia.
 - b) Systemy z trackingiem (śledzeniem):
 - wyposażone w mechanizmy śledzące ruch słońca, co zwiększa wydajność o 20-30%.
 - c) Systemy zintegrowane z budynkiem (BIPV):
 - panele fotowoltaiczne zintegrowane z elementami konstrukcyjnymi budynku, np. dachami, fasadami, oknami.
 - d) Systemy wolnostojące:
 - instalacje montowane na otwartym terenie, np. farmy fotowoltaiczne.
 3. Podział według zastosowania systemu fotowoltaicznego (Wichliński, 2022):
 - a) Systemy on-grid (podłączone do sieci):
 - połączone z siecią elektroenergetyczną;
 - nadwyżki energii są oddawane do sieci, a deficyty uzupełniane energią z sieci.
 - b) Systemy off-grid (autonomiczne):
 - niezależne od sieci energetycznej;
 - wykorzystywane w miejscach bez dostępu do sieci (np. odległe gospodarstwa, łodzie, przyczepy).
 - c) Systemy hybrydowe:
 - łączą fotowoltaikę z innymi źródłami energii (np. generatorami diesla, turbinami wiatrowymi);
 - wyposażone w magazyny energii, co zapewnia większą elastyczność i niezależność.
 - d) Mikroinstalacje:
 - niewielkie systemy przeznaczone dla domów jednorodzinnych lub małych firm.
 - e) Farmy fotowoltaiczne:
 - wielkoskalowe instalacje o dużej mocy, zasilające sieci elektroenergetyczne.

4. Podział według funkcji i integracji z technologiami:
 - a) Fotowoltaika w rolnictwie (Agri-PV):
 - instalacje fotowoltaiczne na polach uprawnych, łączące produkcję energii i rolnictwo.
 - b) Fotowoltaika pływająca (Floating PV):
 - panele montowane na powierzchni wody, np. na jeziorach czy zbiornikach retencyjnych.
 - c) Fotowoltaika z magazynowaniem energii:
 - systemy wyposażone w akumulatory, umożliwiające magazynowanie nadwyżek energii do późniejszego wykorzystania.
 - d) Fotowoltaika w transporcie:
 - zastosowanie paneli na pojazdach (np. samochodach, łodziach, samolotach).
5. Podział według lokalizacji geograficznej i warunków klimatycznych:
 - a) Fotowoltaika w strefach tropikalnych:
 - wysoka dostępność światła słonecznego, ale potencjalne problemy z przegrzewaniem paneli.
 - b) Fotowoltaika w strefach umiarkowanych:
 - sezonowe zmiany nasłonecznienia, co wymaga odpowiedniego doboru systemu.
 - c) Fotowoltaika w strefach arktycznych i subarktycznych:
 - ograniczone światło w zimie, ale większa wydajność paneli w niskich temperaturach.
6. Podział według skali inwestycji:
 - a) Instalacje indywidualne:
 - przeznaczone dla gospodarstw domowych.
 - niskie moce (do 10 kW).
 - b) Instalacje komercyjne:
 - dla firm i przedsiębiorstw, często zintegrowane z procesami produkcyjnymi;
 - średnie moce (10-500 kW).
 - c) Instalacje przemysłowe:
 - duże instalacje dla zakładów przemysłowych;
 - moce powyżej 500 kW.
 - d) Farmy fotowoltaiczne:
 - projekty wielkoskalowe na otwartych terenach, generujące energię dla sieci publicznej (Zheng et al., 2021).

Metodyka badawcza

Głównym celem niniejszego artykułu jest badanie oraz ocena korzyści, jakie niesie ze sobą decyzja o montażu paneli fotowoltaicznych przez gospodarstwa domowe. W niniejszym artykule sformułowano następujące pytania badawcze:

1. Jakie są koszty instalacji fotowoltaicznej dla gospodarstwa domowego?
2. Jaki jest czas zwrotu z tej instalacji oraz ile on wynosi?

W celu uzyskania danych badawczych związanych z aktualnymi cenami komponentów, jak również montażu wysłano zapytanie o wycenę do kilku ogólnopolskich firm działających od wielu lat w branży. Po uzyskaniu informacji zwrotnych ceny zostały uśrednione. Natomiast dane związane z produkcją energii są danymi autorskimi pochodzącymi z zamontowanej już instalacji fotowoltaicznej o mocy 7,92 kWp, z lat 2021, 2022, 2023 oraz 2024. Dane te zostały pozyskane przy pomocy oprogramowania inwertera, które zlicza na bieżąco aktualną produkcję energii, oraz oprogramowania inteligentnego licznika energii elektrycznej zamontowanego przez zakład energetyczny.

Wyniki badań

Ostateczny koszt zakupu oraz montażu paneli fotowoltaicznych jest kluczowym czynnikiem przy ocenie opłacalności inwestycji w ten rodzaj odnawialnych źródeł energii. Elementy takie jak panele, falowniki, stelaż, akumulatory oraz montaż mają różne ceny, które zależą od mocy systemu, jakości komponentów, marki, lokalnych warunków rynkowych oraz poziomu trudności związanych z ich montażem – tutaj główne czynniki to kształt dachu (kąt), poziom jego nasłonecznienia, jak również stan instalacji elektrycznej w domu. Poniżej przedstawiono szczegółową analizę pod kątem kosztów związanych z zakupem materiału, jak i samym montażem.

Kluczowym elementem każdej instalacji fotowoltaicznej jest falownik. W zależności od producenta, sprawności, jakości, komfortu eksploatacji go czy też samej mocy cena waha się od 650 zł do nawet 10 000 zł. Falownik zastosowany w badanej instalacji fotowoltaicznej to trójfazowy Growatt o mocy 7 kW oraz koszcie 6000 zł. Drugim, a zarazem najdroższym elementem są panele fotowoltaiczne. Cena jednostkowa standardowych paneli monokrystalicznych o mocy 350-500 W to koszt, w zależności od producenta oraz sprawności, w przedziale 400-700 zł. W badanej instalacji zamontowano 18 paneli firmy Seraphim o mocy 440 W o koszcie jednostkowym 600 zł. Cena całości wyniosła 10 800 zł. W przypadku paneli można zaobserwować wzrost ceny wprost proporcjonalny do wzrostu ich efektywności i zmniejszenia wymaganej powierzchni montażowej. Kolejny istotny element to konstrukcja montażowa. Cena uzależniona jest od rodzaju dachu. Dachy skośne to koszt ok 300-600 zł za kWp, w zależności od kąta jego nachylenia, dachy płaskie, z uwagi na konieczność instalacji dodatkowych podpór, generują koszt w przedziale 500-1000 zł za kWp. Instalacje wykonywane na ziemi są najdroższe z uwagi na konieczność wykonania odpowiednich fundamentów gwarantujących bezpieczeństwo eksploatacji – tutaj cena mieści się w przedziale od 1000 zł do nawet 2500 zł za kWp. W przypadku projektowania instalacji nie można zapomnieć o bezpieczeństwie, należy zwrócić szczególną uwagę na zakup odpowiednich bezpieczników, takich jak zabezpieczenie przepięciowe po stronie AC, zabezpieczenie przepięciowe po stronie DC, zabezpieczenie przeciwpożarowe (ten bezpiecznik ma za zadanie w przypadku wykrycia przegrzewania się układu wyłączyć instalację, tym samym zapobiegając pożarowi dachu), zabezpieczenie przez łukiem elektrycznym, bezpiecznik wyłączający instalację. W kosztach należy również uwzględnić odpowiedni przewód (grubość oraz długość) – tutaj cena waha się w przedziale 1500-2500 zł. Oczywiście instalacja

może być dodatkowo rozbudowana o magazyn energii. Magazyn energii służy do przechowywania nadwyżek energii z produkcji za dnia i umożliwia odzyskanie tej energii w pochmurne dni lub w nocy. Magazyn energii jest zalecany nowym instalacjom działającym w oparciu o system rozliczeń net-billing, który nie umożliwia gromadzenia nadwyżek pochodzących z produkcji w sieci i swobodnego ich odbioru w momencie zapotrzebowania na energię, lecz polega na sprzedaży nadwyżek po bardzo niekorzystnych cenach. Koszt magazynu energii to 1000-4000 zł za 1 kWh – oczekuje się, iż te koszty znacznie spadną w przypadku akumulatorów litowo-jonowych (Serag et al., 2024). Koszt związany z montażem to, w zależności od wielkości systemu, dodatkowy wydatek rzędu 800-1600 zł za 1 kWp w instalacjach o mocy do 5 kWp, w przypadku większych instalacji koszt ten maleje. Przykładowe wyliczenie kosztów instalacji fotowoltaicznej o mocy 7,92 kWp przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Koszty instalacji paneli fotowoltaicznych

Element	Koszt jednostkowy	Łączny koszt
Panele 18 sztuk	600	10 800
Falownik	6 000	6 000
Konstrukcja montażowa	300	2 376
Zabezpieczenia	2 000	2 000
Montaż	800	6 336
Suma	9 700	27 512

Źródło: Opracowanie własne na podstawie posiadanych danych

W Tabeli 2 zaprezentowano koszty w przypadku rozbudowania powyższej instalacji o magazyn energii.

Tabela 2. Koszty instalacji paneli fotowoltaicznych wraz z magazynem energii

Elementy	Koszt jednostkowy	Łączny koszt
Akumulatory	2500 zł/kWh	25 000
Falownik hybrydowy	+ 2000 zł	2 000
Całkowity koszt z magazynem energii		54 512

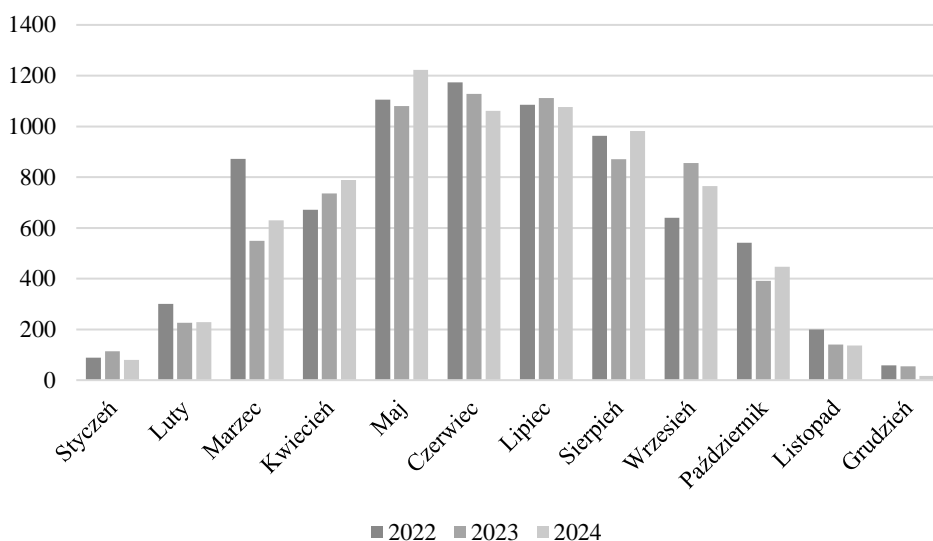
Źródło: Opracowanie własne na podstawie posiadanych danych

Instalacja fotowoltaiczna wymaga minimalnych nakładów związanych z eksploatacją, ograniczają się one jedynie do przeglądu oraz konserwacji.

Po dogłębnym przeanalizowaniu kosztów należałoby zwrócić uwagę na korzyści, jakie generuje instalacja fotowoltaiczna, oraz na to, ile jest w stanie wyprodukować energii elektrycznej, jak się to przekłada na budżet gospodarstwa domowego i najważniejsze: jaki jest czas zwrotu takiej instalacji.

Czas zwrotu będzie uzależniony od mocy instalacji, jak również warunków atmosferycznych – im więcej dni słonecznych i wietrznych, tym produkcja będzie większa, słońce sprzyja produkcji, natomiast wiatr skutecznie chłodzi panele, zapobiegając spadkowi wydajności na skutek przegrzewania się. Kolejnym ważnym czynnikiem wpływającym na czas zwrotu jest umowa, jaka została zawarta z zakładem energetycznym, a mianowicie czy jest to korzystna umowa net-metering, czy mniej korzystna net-billing. Pierwsza umożliwia magazynowanie nadwyżek energii w sieci oraz odbiór tej energii w ciągu 12 miesięcy, pomniejszonej o 20% jako opłata za magazynowanie. Drugi system umożliwia jedynie sprzedaż nadwyżki energii po cenie 0,3305 zł za 1 kWh oraz przelanie tych pieniędzy na specjalne subkonto w celu zakupu brakującej energii w cenie ok 1,08 zł.

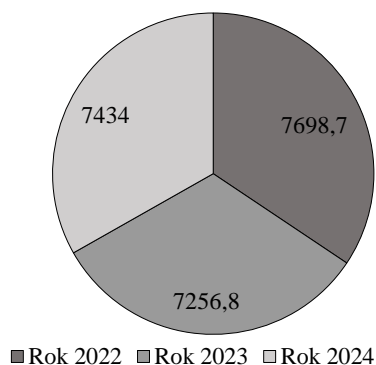
Instalacje fotowoltaiczne w Polsce produkują średnio 1 MWh na każdy 1 kWp zainstalowanej mocy. Na Rysunku 1 przedstawiono dane z produkcji energii na przestrzeni 3 lat z podziałem na miesiące.



Rysunek 1. Produkcja energii elektrycznej przez fotowoltaikę w okresie 3 lat z podziałem na miesiące

Źródło: Opracowanie własne na podstawie badań autorskich

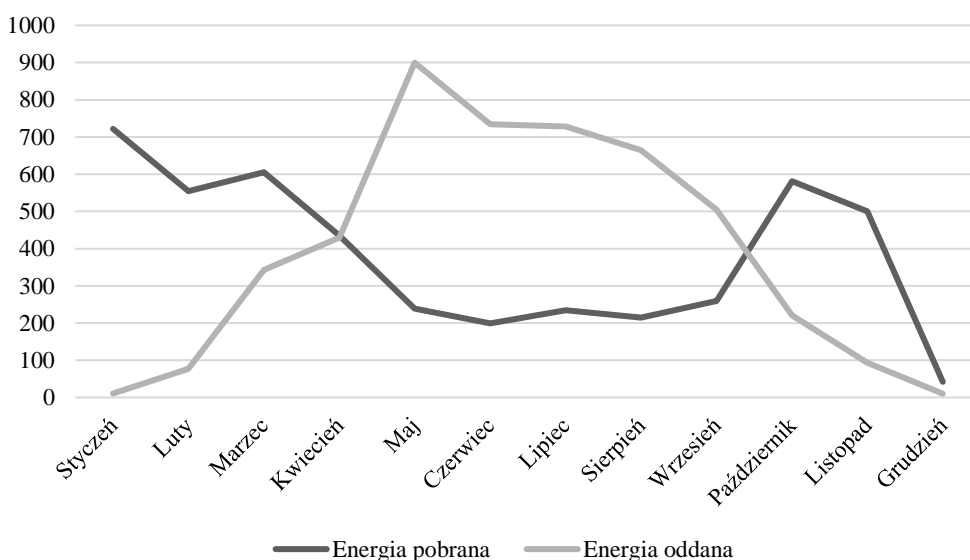
Na podstawie Rysunku 1 można zaobserwować, iż największa produkcja energii występuje od marca do października, pozostałe miesiące, z uwagi na krótki czas nasłonecznienia oraz śnieg zalegający na panelach, generują znikome ilości energii. Na Rysunku 2 natomiast przedstawiono, ile energii zostało wyprodukowanej na przestrzeni 3 pełnych lat działania instalacji. Zilustrowano, iż rok 2022 wygenerował najwięcej energii, bo aż 7698 kWh, rok 2024 to 7397 kWh oraz rok 2023 7256 kWh. W sumie jest to 22 351 kWh. Doliczając do tego niepełny rok 2021, w którym instalacja została przyłączona do sieci, wynik jej pracy to 27 036 kWh.



Rysunek 2. Suma wyprodukowanej energii elektrycznej z podziałem na lata

Źródło: Opracowanie własne na podstawie badań autorskich

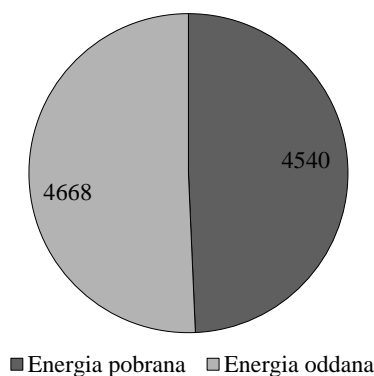
Na Rysunku 3 przedstawiono ilość energii elektrycznej oddanej oraz pobranej z sieci z podziałem na miesiące w roku 2024. Można zaobserwować, że największe oddanie energii do sieci wystąpiło w miesiącach: maj, czerwiec, lipiec, sierpień. Październik jest miesiącem równowagi, w tym miesiącu ilość energii oddanej jest praktycznie identyczna jak ilość energii pobranej. Natomiast miesiąc największego poboru energii to styczeń, luty oraz grudzień.



Rysunek 3. Energia pobrana oraz oddana do sieci w 2024 r.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie badań autorskich

Na Rysunku 4 przedstawiono całkowitą ilość energii elektrycznej pobranej i oddanej do sieci w roku 2024.



Rysunek 4. Ilość energii pobranej oraz oddanej do sieci w roku 2024

Źródło: Opracowanie własne na podstawie badań autorskich

Na Rysunku 4 zilustrowano delikatną różnicę w ilości energii oddanej względem pobranej z sieci, jednakże należy zwrócić uwagę, iż rok jeszcze się nie skończył i finalnie wynik może być równy lub nieznacznie większy po stronie energii pobranej.

Biorąc pod uwagę ilość energii wyprodukowanej oraz ilość energii oddanej do sieci, można wyliczyć, ile w danym roku udało się zużyć energii w trybie najbardziej pożądanym przez prosumenta, czyli autokonsumpcji, co przedstawiono w Tabeli 3.

Tabela 3. Autokonsumpcja energii elektrycznej przez gospodarstwo domowe

Rok	Ilość energii oddanej	Ilość energii wyprodukowanej	Autokonsumpcja
2021	3 901	4 699	798
2022	4 550	7 698	3 148
2023	4 618	7 256	2 638
2024	4 668	7 434	2 766

Źródło: Opracowanie własne na podstawie badań autorskich

To właśnie ilość zużytej energii w tzw. autokonsumpcji ma największy wpływ na czas zwrotu zainwestowanych pieniędzy w instalację fotowoltaiczną. Tabela 4 zawiera wyliczenia, ile pieniędzy wygenerowała instalacja.

Tabela 4. Zysk wygenerowany przez instalację

Rok	Cena za 1 kWh	Autokonsumpcja	Zysk	Energia odebrana	Zysk z odebranej energii
2021	0,59	798	470	3 120	1 840
2022	0,72	3 148	2 266	3 640	2 620
2023	0,78	2 638	2 057	3 694	2 881
2024	1,08	2 766	2 987	3 750	4 050
Suma	-	-	7 780	-	11 391

Źródło: Opracowanie własne na podstawie badań autorskich

Na podstawie danych z Tabeli 4 można wyliczyć, iż instalacja fotowoltaiczna w czasie swojej pracy wygenerowała energię elektryczną na kwotę 19 171 zł. Biorąc pod uwagę koszt związany z jej instalacją oraz wygenerowaną energię, do zwrotu z inwestycji brakuje 8341 zł, a po uwzględnieniu dofinansowania w wysokości 3000 zł z programu „Mój Prąd”, brakująca kwota do zwrotu to 5341 zł. Uwzględniając rosnącą cenę energii, przewidywany czas zwrotu z inwestycji wyniesie ok 5 lat. Po tym okresie instalacja zacznie przynosić korzyści.

Podsumowanie

Celem artykułu było badanie oraz ocena korzyści, jakie niesie ze sobą decyzja o montażu paneli fotowoltaicznych przez gospodarstwa domowe. Badanie zostało wykonane na podstawie aktualnych danych dotyczących cen elementów tworzących system fotowoltaiczny oraz danych własnych wykazujących całkowitą produkcję energii. Dane te zostały pozyskane bezpośrednio z urządzenia generującego prąd oraz dodatkowo potwierdzone za pomocą aplikacji e-licznik należącej do zakładu energetycznego.

Badanie wykazuje, iż taka inwestycja jest ekonomicznie opłacalna dla gospodarstwa domowego, ponieważ po pewnym czasie zaczyna generować korzyści finansowe, w przypadku badanej inwestycji ta korzyść nastąpi po 5 latach od montażu. Czas zwrotu uzależniony jest od kilku istotnych aspektów, tj.:

- źródła finansowania – jeśli inwestycja była realizowana ze środków własnych, to nie jest ona obciążona oprocentowaniem bankowym, a co za tym idzie czas zwrotu jest krótszy;
- autokonsumpcji – im większa autokonsumpcja, tym korzystnej dla prosumenta. Jeśli generowana energia nie jest konsumowana na bieżąco, lecz oddawana do sieci, to jest to związane z pewną stratą. W przypadku net-meteringu odebrać można 80% oddanej energii do sieci w ciągu roku, wówczas po roku zwrot wynosi 0%, natomiast w net-billingu jest to sprzedaż energii w cenie 0,33 gr;
- mocy instalacji – im większa moc, tym więcej generuje energii;
- warunków pogodowych – im więcej dni słonecznych, tym czas zwrotu szybszy;
- cen energii elektrycznej – wzrost cen energii elektrycznej skraca czas zwrotu.

Badania opłacalności inwestycji mają pewne ograniczenia, których nie da się uwzględnić w trakcie analizy. Ograniczenia te wynikają z tego, że inwestycja związana z panelami fotowoltaicznymi, jak każda inwestycja, jest obciążona szeregiem ryzyk, z czego do najczęściej występujących zalicza się (Wieteska & Laskowska, 2018):

- Ryzyko związane z bezpieczeństwem – niewłaściwy montaż, niskiej jakości złączki przewodów lub przegrzanie paneli może doprowadzić do pożaru instalacji.
- Ryzyko wysokiego napięcia – zbyt wysokie napięcie wychodzące z transformatora, duża ilość instalacji fotowoltaicznych znajdujących się w pobliżu lub zbyt cienkie przewody niskiego napięcia – te trzy często spotykane sytuacje mogą przyczynić się do wyłączenia instalacji w przypadku przekroczenia 253 V napięcia wyjściowego. Każda przerwa w produkcji energii w słoneczne dni jest traktowana jako strata wydłużająca okres zwrotu nakładów poniesionych na inwestycję.

- Ryzyko degradacji paneli – to ryzyko związane jest ze stopniowym spadkiem wydajności ogniw rozłożonym w czasie.
- Ryzyko awarii systemu – panele mogą ulec uszkodzeniu w wyniku obfitego gradu, falownik może ulec spaleni w trakcie burzy lub przepięcia instalacji.

Powyższe ryzyka mogą znacząco wpłynąć na ostateczny koszt instalacji, jak i finalnie na jej czas zwrotu czy też opłacalność.

W ramach dalszych prac autor zamierza w osobnych publikacjach porównać szczegółowo system rozliczeń net-metering z net-billing z uwzględnieniem magazynów energii.

Literatura

- Czarnecka, M., & Oglódek, T. (2020). *Prawo energetyczne. Ustawa o odnawialnych źródłach energii. Ustawa o rynku mocy. Ustawa o inwestycjach w zakresie elektrowni wiatrowych. Komentarz*. C.H. Beck.
- Fu, Y., Hao, S., Tian, F., & Cai, Y. (2024). Research progress and frontiers of energy savings in building integrated photovoltaic by using bibliometric analysis. *Energy Reports*, 12, December, 5693-5703. DOI: 10.1016/j.egy.2024.11.003
- Góralczyk, I., & Tytko, R. (2016). *Fotowoltaika: urządzenia, instalacje fotowoltaiczne i elektryczne* (wyd. 4). Wydawnictwo i Drukarnia Towarzystwa Słowaków w Polsce.
- Igliński, B. (2018). *Badanie sektora energii odnawialnej w Polsce – potencjał techniczny, badania ankietowe, analiza SWOT, analiza PEST*. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika.
- Janik, W., Kaproń, H., & Paździor, A. (2018). Uwarunkowania rozwoju produkcji energii elektrycznej na bazie źródeł odnawialnych. *Rynek Energii*, 2, 45-57.
- Jaskółowski, W. (2016). Instalacje fotowoltaiczne. Podstawy fizyczne działania. Ochrona odgromowa. Zasady neutralizacji zagrożeń porażenia prądem elektrycznym w czasie pożaru. *Zeszyty Naukowe SGSP*, 59(3), 71-99.
- Jędral, W. (2020). Zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego jako warunku zrównoważonego rozwoju Polski. *Studia Ecologica, Bioethicale*, 18(2), 19-32. DOI: 10.21697/seb.2020.2.08
- Kasztelan, A. (2022). Europejski Zielony Ład – wnioski dla Polski. Przegląd literatury. *Facta Simondis*, 1, 203-221. DOI: 10.56583/fs.2002
- Lubowicz, J. (2023). Dyrektywa RED II – obliczanie emisji GHG paliw odnawialnych RED II. *Nafta-Gaz*, 4, 278-285. DOI: 10.18668/NG.2023.04.07
- Marszałek, K. (2023). Rozwój fotowoltaicznych źródeł energii. W: Z. Hanzelka, K. Piątek (Red.), *Instalacje fotowoltaiczne w systemie elektroenergetycznym* (s. 74-76). Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Olczak, K. (2016). Polityka Unii Europejskiej w odniesieniu do odnawialnych źródeł energii – ramy prawne. *Studia Prawno-Ekonomiczne*, 101, 87-97.
- Sarniak, M. (2019). *Systemy fotowoltaiczne*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- Serag, S., Echchel, A., & Morrone, B. (2024). Hydroelectric and hydrogen storage systems for electric energy produced from renewable energy sources. *Energy Engineering*, 121(10), 2719-2741. DOI: 10.32604/ee.2024.054424
- Skibicki, O., Dończyk, M., Stupak, M., & Korzon, M. (2022). *Odnawialne źródła energii. Poradnik dla inwestorów oraz wytwórców energii*. Wolters Kluwer.
- Sobierajski, J., Starzomska, M., & Piotrowski, J. (2009). *Odnawialne źródła energii – wiadomości ogólne*. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach.
- Sowa, S. (2018). Odnawialne źródła energii jako czynnik wpływający na poprawę efektywności energetycznej. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk*, 105, 187-196. DOI: 10.24425/124381
- Szymański, B. (2017). *Instalacje fotowoltaiczne*. Glob Energia.

- Wąsiński, M. (2015). Historyczne porozumienie w Paryżu: znaczenie dla Polski i Unii Europejskiej. *Biuletyn*, 10(1347), 1-2. <https://pism.pl/upload/images/artykuly/legacy/files/21113.pdf> (dostęp: 30.07.2024).
- Wichliński, M. (2022). Instalacje fotowoltaiczne. W: A. Gawlak (Red.), *Kierunki i perspektywy rozwoju odnawialnych źródeł energii. Wybrane aspekty* (s. 61-73). Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej.
- Wieteska, S., & Laskowska, I. (2018). Ocena ryzyka eksploatacji urządzeń fotowoltaicznych dla potrzeb ich ubezpieczenia od wybranych zdarzeń losowych na terenie polski, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach*, 364, 185-201.
- Zheng, Z., Sun, Z., Pan, J., & Luo, X. (2021). An integrated smart home energy management model based on a pyramid taxonomy for residential houses with photovoltaic-battery systems, *Applied Energy*, 298(4), 117159. DOI: 10.1016/j.apenergy.2021.117159

Wkład autorów: Mateusz Bajor – 100%.

Konflikt interesów: Brak konfliktu interesów.

Źródła finansowania: Brak finansowania.

ECONOMIC PROFITABILITY OF INSTALLING PHOTOVOLTAIC PANELS BY HOUSEHOLDS: COST-BENEFIT ANALYSIS

Abstract: Poland has the highest wholesale electricity prices in the European Union. This situation, despite the next freeze in electricity prices, raises great uncertainty regarding the future development of energy prices for households. For some time now, a quite dynamic increase in its prices has been observed. A photovoltaic installation with a well-selected power can significantly reduce electricity costs. Such an investment involves quite a large financial outlay. The main aim of this article is to analyze the costs and benefits of the decision to install photovoltaic panels by households. The employed research methods include analysis of the literature on the subject and the use of original data related to the volume of energy production, with particular emphasis on auto-consumption.

Keywords: auto consumption, economy, photovoltaics, benefits, costs

Articles published in the journal are made available under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License. Certain rights reserved for the Czestochowa University of Technology.

