Dorota Chojnacka
Państwowa Akademia Nauk Stosowanych im. Ignacego Mościckiego w Ciechanowie

Fotowoltaika – czy na pewno oszczędność dla gospodarstw domowych? – kalkulacja kosztów

https://doi.org/10.64158/o7b11gyjs7

Streszczenie: Niniejsze opracowanie dotyczy instalacji fotowoltaiki w gospodarstwach domowych. Cel przeprowadzonych przez autorkę badań to sprawdzenie czy instalacja fotowoltaiki jest opłacalna dla gospodarstw domowych. W pracy zostało zdefiniowane czym jest fotowoltaika, omówiono zasadę działania paneli fotowoltaicznych, ukazano czynniki wpływające na działanie instalacji fotowoltaicznej i produkcję energii elektrycznej. Aby osiągnąć wyznaczony cel wyliczono zapotrzebowanie energetyczne gospodarstwa domowego, przeanalizowano zyski energetyczne wynikające z produkcji z systemu fotowoltaicznego, obliczono rachunki za energię elektryczną z instalacją fotowoltaiczną oraz bez fotowoltaiki, przedstawiono kosztorys inwestycji wraz z dofinasowaniem oraz omówiono oszczędności wynikające z instalacji fotowoltaicznej.

Słowa kluczowe: instalacja fotowoltaiczna, moc instalacji fotowoltaicznej, oszczędność energii, wydajność fotowoltaiki, zapotrzebowanie energetyczne

1. Wprowadzenie

Fotowoltaika stanowi jedno z najpopularniejszych odnawialnych źródeł energii w sektorze gospodarki Polski. Cechuje się nowoczesną technologią dzięki, której możliwa jest produkcja energii elektrycznej z promieni słonecznych. Niniejsza praca została poświęcona tematyce fotowoltaiki, gdyż w ostatnim czasie ten temat zyskał szeroką popularność. Duża część społeczeństwa zainstalowała już panele fotowoltaiczne bądź planuje taką inwestycję w przyszłości, a przy tym pojawiają się jednak pewne wątpliwości, które stanowią problem w podjęciu decyzji czy zainwestować

w panele fotowoltaiczne. Fotowoltaika to niezwykle interesująca inwestycja ze względu na fakt, iż właściciel domu rodzinnego instalując panele fotowoltaiczne staje się producentem energii elektrycznej na własne potrzeby energetyczne oraz dzięki zainwestowaniu w instalację fotowoltaiczną może zaoszczędzić określone środki finansowe.

Fotowoltaika (*PV*) to dosyć nowa interdyscyplinarna specjalność naukowa, zajmująca się przekształcaniem światła uzyskanego z promieni słonecznych na energię elektryczną, wykorzystując do tego zjawisko fotowoltaiczne. Energetyka PV to nie tylko dziedzina nauki ale także gałąź, obejmująca swoim zasięgiem urządzenia techniczne wykorzystujące tę przemianę (konwersję) do uzyskania prądu elektrycznego. Pojęcie fotowoltaika wywodzi się od dwóch wyrazów: „foto"- co oznacza światło, oraz „wolt" – jednostkę napięcia[1].

Instalacja fotowoltaiczna składa się z paneli słonecznych, które na co dzień można ujrzeć na dachach budynków mieszkalnych, gospodarczych czy też jako wolnostojące na gruncie – zarówno w dużym mieście, jak i małej miejscowości. Panel fotowoltaiczny to inaczej płyta połączonych ze sobą kilku modułów fotowoltaicznych. Jeden moduł stanowi najmniejszy zestaw wzajemnie połączonych ze sobą szeregowo ogniw fotowoltaicznych (słonecznych), właściwie zabezpieczonych i umieszczonych w obudowie[2]. Najbardziej rozpowszechnionym i popularnym materiałem do wyprodukowania ogniw fotowoltaicznych (ogniw *PV*) jest krzem. Spośród ogniw słonecznych można wyróżnić dwa główne: I generacji – krystaliczne, II generacji - cienkowarstwowe.

Pierwsza grupa, czyli fotoogniwa krystaliczne cieszą się największą popularnością wśród instalacji fotowoltaicznych zakładanych w gospodarstwach domowych. Powodem tego wyboru jest wydajność, która jest najwyższa spośród pozostałych kategorii ogniw. Grupa ogniw wykonanych z krystalicznego krzemu dzieli się na dwa typy. Pierwszy to ogniwa monokrystaliczne, które zbudowane są z jednego kryształu krzemu. Wydajność modułu słonecznego utrzymuje się na poziomie od 17 do 20

[1] M.T. Sarniak, *Systemy fotowoltaiczne*, Wydawnictwo Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2019, s. 7.

[2] H. Łotocki, *ABC sytemów fotowoltaicznych sprzężonych z siecią energetyczną. Poradnik dla instalatorów*, Wydawnictwo i Handel Książkami KaBe, Krosno 2021, s. 17.

procent. Drugi typ ogniw - polikrystaliczne, są tańsze od tych wykonanych z krzemu monokrystalicznego, ale mają mniejszą moc wydajności. Efektywność wyprodukowanych z nich modułów słonecznych waha się od 14 do 18 procent[3]. Ogniwa II generacji powstały jako poszukiwanie alternatywnych metod i materiałów dla ogniw PV, aby zmniejszyć koszty produkcji. Ponad połowa kosztów I generacji wynika z przygotowania krzemu, a obróbka ogniw i paneli to kolejne 20 proc. i 30 proc. kosztów[4]. Dlatego opracowano produkcję modułów z ogniw cienkowarstwowych, w tym krzemu amorficznego (*aSi*), tellurku kadmu (*CdTe*), diselenku indowo-miedziowego (*CIS*) i diselenku miedziowo-indowo-galowego (*CIGS*)[5]. Istnieje również wiele innych typów ogniw słonecznych opartych na różnych surowcach[6].

2. Zasada działania paneli fotowolotaicznych

Aby energia z paneli fotowoltaicznych mogła zasilać urządzenia domowe lub być sprzedawana do sieci, prąd stały (DC) jest przekształcany na prąd przemienny (AC) przez inwerter. Istnieją dwa główne rodzaje inwerterów: sieciowe, które współpracują z siecią elektryczną, i autonomiczne, które działają niezależnie. Inwertery mogą być zależne od sieci lub współpracować z akumulatorami. Po przekształceniu energia płynie do rozdzielnicy elektrycznej, która rozdziela prąd na własne potrzeby domowe, a nadwyżka energii przesyłana jest do licznika dwukierunkowego, który rejestruje ilość energii pobranej i oddanej do sieci[7].

[3] Tamże, s. 33.

[4] K. Marszałek, K. Dyndał, G. Lewińska, *Fotowoltaika*, Wydawnictwo Akademia Górniczo – Hutnicza im St. Staszica w Krakowie, Kraków 2021, s. 38, https://www.researchgate.net/profile/Konstanty-Marszalek/publication/350523538_Fotowoltaika/links/60648096458515e83485ceb9/Fotowoltaika.pdf.

[5] M. Dębowski, A. Luberański, M. Michalski, J. Polański, (… i in.), *Praktyczny poradnik instalatora. Systemy fotowoltaiczne*, Wydawnictwo ATUM, Wrocław 2021, s. 38-39.

[6] Tamże, s. 40-41.

[7] R. Mayfield, *Fotowoltaika. Projektowanie i instalacja dla bystrzaków*, Wydawnictwo Septem, Gliwice 2021, s. 42-43.

Nadwyżka energii w systemie *of-grid* – gdy system fotowoltaiczny nie jest podłączony do sieci elektroenergetycznej

W systemie *off-grid* nadwyżka energii z paneli fotowoltaicznych może być gromadzona w akumulatorach. Magazynowanie jest istotne ze względu na nieregularność produkcji energii. Koszty magazynów mogą sięgać 30 proc. całkowitych kosztów instalacji. Akumulatory mają wysoką efektywność około 90 proc. i mogą być wykorzystywane w nocy lub w złych warunkach pogodowych[8]. Pracują w fazach ładowania i rozładowywania, choć rzadko osiągają pełne naładowanie. Mimo to, odznaczają się pozytywnymi cechami takimi jak: możliwość przenoszenia magazynu energii elektrycznej, niezawodność, możliwość dostarczania dużej ilości energii w krótkim czasie, wytrzymałość na zmiany cykliczne, wzrost wydajności przy wolnym tempie rozładowania, niskie samorozładowanie, możliwość pracy w szerokim zakresie temperatur, opłacalność, długa żywotność, niskie wymagania konserwacyjne[9].

Nadwyżka energii w systemie sieciowym *on-grid* – gdy system fotowoltaiczny współpracuje z siecią elektroenergetyczną

Niewykorzystana energia elektryczna z paneli fotowoltaicznych może być sprzedana do dystrybutora sieci. Sposób rozliczania nadwyżki energii do 1 kwietnia 2022 r. opierał się na systemie *net-metering*, zaś zainteresowani klienci inwestycją w mikroinstalację fotowoltaiczną założoną po 1 kwietnia 2022 r. zmuszeni są do rozliczania energii w nowym systemie - tak zwanym *net-biling*[10]. Wcześniejszy system *net-metering* zakładał, że nadwyżka energii wyprodukowanej przez panele fotowoltaiczne była oddawana do wirtualnego magazynu sieci dystrybucyjnej i zapisywana na rocznym saldzie prosumenta. Odebrać ją można było w przeciągu 12 miesięcy z tym, że było to 70 (wielkość instalacji od 10 kW do 50 kW) lub 80 procent (wielkość instalacji do 10 kW) wartości wyprodukowa-

[8] K. Marszałek, K. Dyndał, G. Lewińska, dz. cyt., s. 111.

[9] Tamże, s. 114.

[10] M. Ilba, *Energetyka słoneczna. Nasłonecznienie i praktyczna efektywność mikroinstalacjii fotowoltaicznych na terenie Polski*, Wydawnictwo CeDeWu, Warszawa 2022, s. 52-53.

nej energii. Niewykorzystana nadwyżka po 12 miesiącach przepadała[11]. Nowy system rozliczeń wymaga, aby prosument sprzedawał swoją nadwyżkę energii elektrycznej po średniej cenie rynkowej i opłacał rachunki za zużytą energię jak standardowi klienci. Nadmiar energii sprzedawany jest po tej samej cenie, co klienci, a pieniądze z tym związane są przechowywane przez 12 miesięcy w tak zwanym depozycie. Jeśli energia nie zostanie zużyta w tym czasie, nadmiar traktowany jest jako nadpłata, ale zwracane są tylko do 20 proc. kwoty przeciętnego miesięcznego rachunku. Jeśli prosumentowi brakuje własnej energii, musi ją nabyć po cenie dystrybutora, prawie dwukrotnie wyższej niż przy średniej cenie rynkowej. Właściciele instalacji fotowoltaicznych zainstalowanych przed końcem marca 2022 r. są zwolnieni z tego systemu i nadal korzystają z net-meteringu, ale po 15 latach od instalacji będą musieli przejść na nowy system[12].

3. Czynniki wpływające na efektywność ekonomiczną i energetyczną instalacji fotowoltaicznej

Instalacja fotowoltaiczna w gospodarstwie domowym zapewnia właścicielowi korzyści energetyczne i oszczędności finansowe. Efektywność instalacji zależy głównie od ilości energii elektrycznej produkowanej przez panele słoneczne. Istnieje kilka kluczowych czynników wpływających na ilość wytworzonej energii[13].

Pierwszym z czynników wpływających na efektywność energetyczną jest nasłonecznienie. W słoneczne dni natężenie promieniowania może wynosić około 1000 W/m^2, ale jest to zależne od wysokości słońca na niebie. Przy różnych kątach padania promieni słonecznych wartość natężenia będzie inna między innymi dla: 90 stopni – 900 W/m^2, 30 stop-

[11] R. Mayfield, dz. cyt., s. 46.

[12] M. Ilba, dz. cyt., s. 53

[13] G. Frydrychowicz-Jastrzębska, P. Krawczyk, *Badania i ocena efektywności energetycznej instalacji fotowoltaicznej dachowej 5,5 kWp*, Politechnika Poznańska Instytut Elektrotechniki i Elektrowni Przemysłowej, Poznań 2017, http://pe.org.pl/articles/2017/11/33.pdf, (dostęp: 08.02.2023r.).

ni – 750 W/m^2, 20 stopni - 600 W/m^2 czy dla 12 stopni - 400 W/m^2 [14]. Wskazane jest także podkreślenie, iż pochmurne dni powodują spadek wartości natężenia promieniowania słonecznego, które dla małego zachmurzenia może wynosić 700 W/m^2, a przy pełnym zachmurzeniu chociażby 50 W/m^2 [15].

Kolejnym ważnym czynnikiem, wpływającym na efektywność energetyczną systemu fotowoltaicznego jest sprawność modułu fotowoltaicznego. Kluczową rolę na sprawność paneli przypisuje się materiałowi z jakiego wykonane są moduły, ale także istotna jest temperatura powietrza. Większa część społeczeństwa uważa, iż w letnie upalne dni pod wpływem temperatury ilość wyprodukowanej energii elektrycznej jest sporo wyższa niż w mroźne zimowe dni, tymczasem według technologii fotowoltaicznej wzrost temperatury ogniwa *PV* powoduje spadek mocy modułu. Moduły fotowoltaiczne w upalne dni nagrzewają się osiągając temperaturę nawet do 70 stopni Celsjusza i tym samym spada ich wydajność. Jednakże gdy temperatura w otoczeniu zewnętrznym spada i ma ujemne wartości to moduł może osiągnąć temperaturę do -25 stopni Celsjusza, w skutek czego instalacja fotowoltaiczna wytworzy większą ilość prądu elektrycznego niż podczas upału[16].

Kolejnym czynnikiem wpływającym na efektywność energetyczną systemu fotowoltaicznego są warunki atmosferyczne. Szczególnie warto uwzględnić opady śniegu, gdyż kilkucentymetrowa pokrywa śnieżna na instalacji fotowoltaicznej staje się przeszkodą dla dotarcia promieni słonecznych do ogniw słonecznych, a w konsekwencji spada wydajność modułu i spadek produkcji energii elektrycznej. Zalegający śnieg na panelach może powodować spadek wydajności modułów nawet do kilkudziesięciu procent[17].

---

[14] J. Korzeniowska*, Energetyka i ochrona środowiska. Współczesne rozwiązania i perspektywy na przyszłość*, A. Danielewska, K. Kalbarczyk (red.), Wydawnictwo Tygiel, Lublin 2021, s. 7-8.

[15] Kospel, *Ile energii słonecznej można uzyskać ze słońca na obszarze Polski?,* https://kospel.pl/blog/ile-energii-slonecznej-mozna-uzyskac-ze-slonca-na-obszarze-polski-b57.html, (dostęp:10.02.2023r.).

[16] H. Łotocki, dz. cyt., s. 54.

[17] Alex-electro, *Fotowoltaika, a warunki atmosferyczne i pogoda,* https://www.alex-electro.com/fotowoltaika-a-warunki-atmosferyczne-i-pogoda/, (dostęp: 11.02.2023r.).

Następny czynnik, który wpływa na efektywność energetyczną instalacji fotowoltaicznej to gorące punkty zwane *hot-spots*. W wyniku gorących punktów powstają mikrouszkodzenia, które nie są widoczne gołym okiem. Mikrouszkodzenia mogą powstawać już na etapie produkcji, transportu, montażu, a najczęściej poprzez zacienienie. Wystarczy, że jedno ogniwo fotowoltaiczne będzie zacienione i cała instalacja przez to obniży swoją wydajność. Zacienienie może powstawać poprzez kominy, drzewa lub słupy znajdujące się w pobliżu paneli słonecznych. W rezultacie długotrwałego zacienienia ogniwa tworzy się gorący punkt, który jest narażony na uzyskanie wysokiej temperatury dochodzącej nawet do 250 stopni Celsjusza[18]. W efekcie powstają uszkodzenia, moduł traci wydajność i spada ilość wytwarzanej energii elektrycznej.

Jeszcze innym czynnikiem wpływającym na ilość produkowanej energii elektrycznej z systemu fotowoltaicznego jest sposób montażu paneli słonecznych pod kątem ich nachylenia. Najczęstsze miejsce montażu instalacji to właśnie dach, gdyż tam jest największa możliwość ekspozycji na słońce oraz istnieje najmniejsze ryzyko zacienienia. Aby instalacja przynosiła jak największe korzyści energetyczne najlepsze będzie zamontowanie paneli fotowoltaicznych od strony południowej. Najkorzystniejszym rozwiązaniem w przypadku paneli na gruncie oraz dachach płaskich jest instalacja systemu technologii fotowoltaicznej pod kątem 35 stopni do płaszczyzny poziomej. Takie zamontowanie systemu *PV* pozwoli wyprodukować o około 28 procent więcej prądu elektrycznego niż w przypadku pozycji pionowej instalacji montowanej na elewacjach budynków[19].

Biorąc pod uwagę powyższe czynniki instalacja fotowoltaiczna osiągnie największą efektywność energetyczną przy ujemnej temperaturze i silnym nasłonecznieniu, co często występuje w lutym. Jednak krótki dzień może ograniczyć czas ekspozycji paneli. Optymalne warunki to także ustawienie paneli na południe pod kątem 30-40 stopni do poziomu, zapewniając im wolność od zacienienia.

[18] M. Dębowski, A. Luberański, M. Michalski, J. Polański, (… i in), dz. cyt., s. 69.

[19] J. Marchwiński, Fotowoltaika *na dachach płaskich – architektoniczne możliwości i ograniczenia,* file:///C:/Users/Owner/Downloads/Fotowoltaika_na_dachach_płaskich_ar.pdf; (dostęp: 12.11.2022r.).

4. Inwestycja fotowoltaiczna dla wybranego gospodarstwa domowego

W celu zbadania opłacalności instalacji fotowoltaicznej przeprowadzano prognozę inwestycji fotowoltaicznej dla pewnego gospodarstwa domowego. Przykładowy projekt systemu *PV* został sporządzony dla trzyosobowej rodziny zamieszkującej w województwie mazowieckim, w powiecie ciechanowskim, w miejscowości Leśniewo Dolne. Rodzina chciałaby zamontować instalację fotowoltaiczną na gruncie na wolnej powierzchni mieszczącej się za budynkiem od strony południa. Wolna przestrzeń za domem to nie użytkowany teren mający 125 m^2 powierzchni, która przez większą część dnia jest słoneczna, także jak najbardziej jest dobrym rozwiązaniem dla wolnostojącego systemu fotowoltaicznego.

Dla analizowanego gospodarstwa domowego wybrano standardowe panele fotowoltaiczne z monokrystalicznymi ogniwami, ze względu na ich popularność w Polsce. Wybrane moduły Trina Solar charakteryzują się wysoką sprawnością i trwałością, co sprawia, że są one odpowiednim wyborem. Planowana konstrukcja fotowoltaiczna zajmie około 15 m^2 powierzchni i zostanie zamontowana za domem jako wolnostojący system PV.

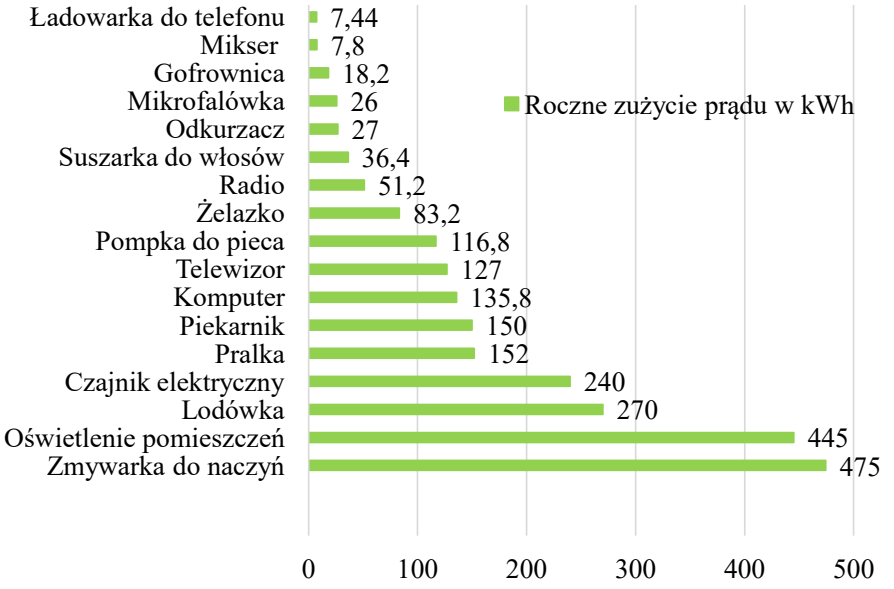
Wymiarowanie instalacji fotowoltaicznej w wybranym budynku

Zapotrzebowanie energetyczne budynku, w którym mieszka trzyosobowa rodzina według wystawionych faktur przez dostawcę oscyluje w granicach od 2 375 do 2 570 kWh w skali rocznej. Z posiadanych przez rodzinę rozliczeń za energię elektryczną w 2022 roku roczne zużycie prądu elektrycznego wyniosło 2 383 kWh. Z analizy faktur wynika, iż trzyosobowa rodzina najwięcej prądu elektrycznego w 2022 roku wykorzystała w sezonie jesienno-zimowym, czyli od 4 listopada do 31 grudnia, co stanowiło wartość równą 440 kWh. Przyczyną tak wysokiego zapotrzebowania energetycznego to przede wszystkim fakt, iż dni w tym okresie są krótkie i następowało większe zużycie prądu na oświetlenie pomieszczeń znajdujących się w tym budynku rodzinnym. Wysoki poziom zużytego prądu także wiąże się z występującymi świętami Bożego

Narodzenia, gdyż w tym czasie oświetlany jest dom lampkami świątecznymi zarówno na zewnątrz domu, jak i w środku. Przygotowania do świąt to także nieunikniona wysoka konsumpcja energii, którą rodzina wykorzystuje do większego niż zwykle sprzątania, prania czy pieczenia dań, potraw oraz ciast. Mniejsze zużycie, które wyniosło 430 kWh wystąpiło w okresie od 1 stycznia do 1 marca, następnie jeszcze mniejsze bo 415 kWh przypadło na czas wiosenny od 2 marca do 4 maja. Z kolei jeszcze niższy poziom zapotrzebowania energetycznego trzyosobowego gospodarstwa domowego na przestrzeni 2022 roku wyniósł od 5 maja do 4 lipca 385 kWh, jeszcze mniej prądu elektrycznego rodzina wykorzystała w czasie od 2 września do 3 listopada i stanowiło 371 kWh. Najmniejszą wartość zużytej energii elektrycznej w 2022 roku omawiana rodzina wykorzystała między 5 lipca, a 1 września i wynosiła ona 342 kWh. Ten okres to sezon wakacyjny, gdzie rodzina w większości dnia przebywała poza domem.

Mieszkańcy tego domu korzystają z różnych urządzeń elektrycznych, z których każde zużywa określoną ilość energii rocznie. Najmniej prądu pobierają ładowarki do telefonów komórkowych, zużywając 7,44 kWh. Podobne zużycie mają mikser, gofrownica, mikrofalówka, odkurzacz i suszarka do włosów, które w ciągu roku pobierają od 18,2 do 36,4 kWh energii. Radio zużywa około 51 kWh rocznie, a żelazko - 83,2 kWh. Sprzęty RTV i AGD, takie jak pompka do pieca, telewizor, komputer, pralka i piekarnik, generują ponad 100 kWh rocznie. Czajnik elektryczny zużywa około 240 kWh rocznie, a lodówka - 270 kWh. Oświetlenie pomieszczeń absorbuje 445 kWh rocznie, a zmywarka do naczyń - 475 kWh. Podsumowując, roczne zapotrzebowanie energetyczne tego domu na sprzęty RTV i AGD (wykres 1) wynosi około 2368 kWh. Roczne zużycie energii różni się od sumy z rachunków za prąd z 2022 roku, ponieważ obliczenia opierają się na teoretycznych możliwościach zaspokojenia potrzeb energetycznych. Jednak w praktyce zużycie może być większe lub mniejsze w zależności od pory roku i potrzeb domowników.

Do dalszych wyliczeń założono roczne zużycie energii elektrycznej w omawianym budynku na poziomie 2 500 kWh. Aby dobrać odpowiednią moc systemu PV zgodnie z zapotrzebowaniem energetycznym rodziny przeanalizowano ofery fotowoltaiczne złożone przez firmy zajmujące się fotowltaiką, wykonano ręczne obliczenia, a także skorzystano



Wykres 1. Wyznaczona konsumpcja energii elektrycznej przez gospodarstwo domowe

Źródło: opracowanie własne.

z programu PV SOL. Program wyliczył moc fotowoltaiki, która powinna mieć 2,94 kWp. Ta wyznaczona wartość za pomocą programu została wykorzystana do dalszych wyliczeń.

Wydajność energetyczna instalacji fotowoltaicznej

Instalacja fotowoltaiczna o mocy 2,94 kWp, zgodnie z programem PV SOL, szacunkowo wygeneruje około 3286 kWh energii elektrycznej rocznie. Jednakże, fakt ten podlega zmienności ze względu na czynniki takie jak warunki pogodowe i ilość dni słonecznych. Chociaż roczna produkcja energii zapewni pokrycie potrzeb gospodarstwa, analiza miesięczna może ujawnić niedobór lub nadmiar energii w zależności od aktualnej konsumpcji i warunków atmosferycznych. Instalacja fotowoltaiczna osiągnie największą produkcję energii elektrycznej w sezonie wiosennym, zwłaszcza w maju, czerwcu i lipcu, generując odpowiednio: 425,5 kWh, 417,5 kWh i 416,8 kWh. W pozostałych czterech miesiącach: marcu,

kwietniu, sierpniu i wrześniu, wyprodukowany prąd elektryczny przekroczy 300 kWh. W październiku można oczekiwać darmowej energii elektrycznej z fotowoltaiki na poziomie 210,4 kWh, natomiast w styczniu i lutym będzie to odpowiednio 105,1 kWh i 152,1 kWh. Najniższą produkcję energii można spodziewać się w listopadzie i grudniu, kiedy to dni są najkrótsze i często pochmurne; wtedy panele fotowoltaiczne wyprodukują maksymalnie do 92 kWh energii elektrycznej.

Nie da się ukryć, iż wydajność energetyczna instalacji fotowoltaicznej na przestrzeni lat będzie się zmniejszała, zatem ilość produkowanego prądu elektrycznego w skali dnia, miesiąca czy roku będzie przyjmowała mniejsze wartości. Według producenta paneli fotowoltaicznych wybranych do tej inwestycji fotowoltaicznej roczna degradacja paneli wynosi 0,4 proc. W związku z corocznym spadkiem wydajności instalacji fotowoltaicznej średnio o 12,43 kWh, po 30 latach będzie ona wynosić 87,4 procent, co w przełożeniu wynosi 2 925,4 kWh rocznie wyprodukowanej energii elektrycznej z energii słonecznej.

5. Analiza kosztów instalacji fotowoltaicznej

Omawiane gospodarstwo domowe wybrało instalację fotowoltaiczną o mocy 2,94 kWp. Kosztorys takiej inwestycji fotowoltaicznej składa się przede wszystkim z ceny sześciu modułów fotowoltaicznych wynoszących w sumie 6 722 zł, inwertera – koszt rzędu 3 985 zł, kolejny czynnik wchodzący w skład kosztu inwestycji to okablowanie i zabezpieczenia, które wynoszą 2500 zł czy konstrukcja montażowa, której wydatek wynosi 3500 zł. Montaż wynoszący 4 125 zł, który wykona firma fotowoltaiczna to także część wchodząca w kosztorys fotowoltaiki. Firma fotowoltaiczna, która montuje instalację fotowoltaiczną dolicza 8- procentowy podatek VAT do całego kosztu, zatem całe przedsięwzięcie fotowoltaiczne dla omawianego gospodarstwa domowego wynosi 22 499 zł brutto. Domownicy gospodarstwa domowego zdecydowali się na wsparcie na fotowoltaikę z programu „Mój Prąd 4.0", którego dotacja wynosi 6 000 zł. Po odliczeniu dofinansowania mikroinstalacja fotowoltaiczna to nakład wynoszący 16 499 zł, który zostanie zapłacony z własnych środków pieniężnych.

Analiza pracy systemu *PV*

Dla planowanego systemu fotowoltaicznego o mocy 2,94 kWp, przez osiem miesięcy wyprodukowana energia elektryczna przewyższy zapotrzebowanie gospodarstwa domowego, pozostawiając nadwyżkę, która trafi do sieci elektroenergetycznej. W marcu nadwyżka energii wyniesie 81,6 kWh, a we wrześniu 126,9 kWh. W miesiącach maju, czerwcu, lipcu i sierpniu nadwyżka oscyluje od 172,8 do 251,3 kWh. W październiku różnica między wyprodukowaną a zużywaną energią wynosi zaledwie 1 kWh. W okresie listopada, grudnia, stycznia i lutego instalacja PV nie będzie w stanie wytworzyć wystarczającej ilości energii elektrycznej, więc konieczne będzie pobranie energii z sieci, obejmujące około 149,4 do 173,2 kWh w listopadzie i grudniu, oraz około 64,3 kWh w lutym.

Najwyższa wartość autokonsumpcji energii elektrycznej pochodzącej z przydomowej elektrowni fotowoltaicznej wypada w maju i wynosi 102,4 kWh, zaś najmniejsza wartość konsumowana na bieżąco przypada zimą, w grudniu - zaledwie 30,2 kWh. Prąd elektryczny wytworzony przez system PV, który nie pokrył bieżącego zapotrzebowania, staje się nadwyżką, oddawaną do sieci elektroenergetycznej. Największa nadwyżka energetyczna wynosząca 329 kWh trafia do sieci w lipcu, natomiast najmniejsza, 50 kWh, w grudniu. W analizie pracy fotowoltaiki wynika, że nie wyprodukuje ona wystarczającej energii na bieżące pokrycie zapotrzebowania energetycznego rodziny - w takiej sytuacji pobierany jest prąd z sieci elektroenergetycznej. Największy pobór energii z sieci następuje w grudniu i stanowi nieco ponad 223 kWh, natomiast najmniej energii gospodarstwo pobierze z sieci w sezonie letnim, w czerwcu, bo 75,5 kWh.

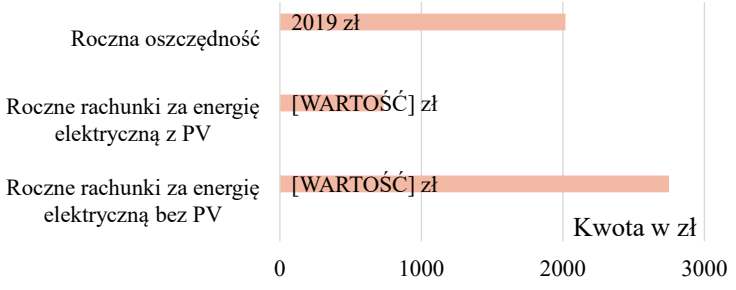
Rachunki za energię elektryczną

Rachunki za energię elektryczną w 2022 roku dla zużycia 2500 kWh wynosiły 2 506,07 zł przy obniżonej stawce podatku VAT do 5 proc., w 2023 roku wzrosły ceny energii elektrycznej czynnej, a także przywrócono podatek VAT do stawki wynoszącej 23 proc. Ponadto wprowadzono limit zużycia prądu elektrycznego dla gospodarstw domowych do 2000 kWh. Do tej wartości cena energii nie wzrośnie i wyniesie 1,01 zł/kWh brutto, zaś za 500 kWh energii elektrycznej omawiana rodzina zapłaci 1,47 zł/

kWh brutto. Rachunek w tym roku tego gospodarstwa przy zużyciu 2 500 kWh wyniesie zatem 2 751 zł. Założono, że omawiana rodzina zainstalowała fotowoltaikę w marcu 2023 roku, a pierwsze kWh system *PV* zaczął produkować 1 kwietnia oraz przyjęto średnią rynkową cenę energii elektrycznej, za którą zostanie sprzedana nadwyżka z instalacji równą 0,51 zł/kWh. Założono także roczną produkcję prądu z systemu *PV* wykazującą wartość 3 286 kWh, bieżącą konsumpcję stanowiącą 25 proc. co daje 824 kWh, roczne zużycie tej rodziny wynosi 2 500 kWh, a nadwyżka energetyczna to wielkość około 2 462 kWh. Konieczne jest pobranie z sieci elektroenergetycznej 1 676 kWh prądu na zaspokojenie potrzeb domowników tego budynku jednorodzinnego. Czas pracy instalacji zaplanowano na dwadzieścia lat, przy których cena energii pozostanie taka sama.

Nadwyżka energetyczna, która nie została na bieżąco wykorzystana przez domowników zostaje sprzedana do sieci elektroenergetycznej po rynkowej miesięcznej cenie energii elektrycznej RCEm 0,51 zł/kWh (cena z marca 2023 r.). W przypadku gdy instalacja nie wyprodukowała wystarczającej ilości prądu na zaspokojenie potrzeb energetycznych wtedy gospodarstwo pobrało ją z sieci. Wartość pobranej energii jest tak samo rozliczana jak bez instalacji, ale oprócz tego rachunek przedstawia wartość sprzedanej energii i depozyt. Depozyt to pewien portfel, w którym zbierają się poszczególne kwoty z każdego miesiąca za sprzedaż prądu i, z którego potem można zakupić energię. Jednak z depozytu można zapłacić tylko i wyłącznie wartość energii czynnej pobranej, pozostałe opłaty dystrybucyjne i stałe są do zapłaty.

Po dwudziestu latach produkcji energii elektrycznej z mikroinstalacjii prognozuje się roczne rachunki za energię elektryczną w wysoko-



Wykres 2. Opłacalność inwestycji w fotowoltaikę w nowym systemie net-biling

Źródło: opracowanie własne.

ści 732 zł, co w przełożeniu daje 2019 zł średniej rocznej oszczędności (wykres 2). Okres zwrotu nakładów poniesionych przy wyznaczonych założeniach wyniesie 8,5 lat. Dla porównania zainwestowanie w przedsięwzięcie fotowoltaiczne bez dofinasowania to okres zwrotu wynoszący 11,3 lat. Po założonym okresie instalacja fotowoltaiczna w skutek rocznej degradacji wynoszącej 0,4 proc. wyprodukuje 3045 kWh, co oznacza spadek o 241 kWh względem produkcji w pierwszym roku, a oszczędność wyniesie 40 463 zł po dwóch dekadach pracy systemu PV.

6. Podsumowanie

Podsumowując, energia elektryczna wyprodukowana z mikroinstalacjii fotowoltaicznej zaspokaja potrzeby energetyczne gospodarstwa domowego na bieżąco w niewielkim stopniu. Energia oddana do sieci znacznie przewyższa wartość autokonsumpcji, w skutek czego jest to duży zysk dla sieci elektroenergetycznej. Po miesiącu produkcji przesłana energia zostaje przeliczona według określonej stawki RCEm i pozostaje w depozycie do dyspozycji na zapłatę pobranej energii elektrycznej w przyszłym miesiącu. Pozostałe opłaty stałe i dystrybucyjne są do uregulowania przez właściciela gospodarstwa domowego z własnych środków pieniężnych. Z rozpatrywanej sytuacji wywnioskować można, iż zwrot z poniesionych nakładów staje się krótszy, gdy cena energii elektrycznej wzrasta. Fotowoltaika staje się opłacalna przy wysokich cenach energii czynnej, zaś gdy są niskie opłacalność maleje, a okres zwrotu wzrasta. Zakładając mikroinstalację fotowoltaiczną rachunki za prąd nadal trzeba będzie płacić, ulegną one zmniejszeniu ale pozostaną. System *net-biling* cechuje się nieprzewidywalnością, gdyż opłacalność i zwrot inwestycji *PV* oparte są głównie na cenach energii elektrycznej, (a nie na ilości wytworzonego prądu), a te zależą od Urzędu Regulacji Energetyki. Rynkowa cena energii każdego miesiąca przyjmuje różne wartości sprawiając, że trudno przewidzieć jak ceny energii będą się kształtować w przyszłości. W skutek zmian cen energii zarówno tej z taryfy, jak i rynkowej obecny system rozliczania stanowi problem przy określeniu w jakim czasie inwestycja się zwróci.

Bibliografia

Dębowski M., Luberański A., Michalski M., Polański J., (… i in.), *Praktyczny poradnik instalatora. Systemy fotowoltaiczne*, Wydawnictwo ATUM, Wrocław 2021.

Frydrychowicz-Jastrzębska G., Krawczyk P., *Badania i ocena efektywności energetycznej instalacji fotowoltaicznej dachowej 5,5 kWp*, Politechnika Poznańska Instytut Elektrotechniki i Elektrowni Przemysłowej, Poznań 2017, http://pe.org.pl/articles/2017/11/33.pdf, (dostęp: 08.02.2023r.).

Ilba M., *Energetyka słoneczna. Nasłonecznienie i praktyczna efektywność mikroinstalacjii fotowoltaicznych na terenie Polski*, Wydawnictwo CeDeWu, Warszawa 2022.

Korzeniowska J.*, Energetyka i ochrona środowiska. Współczesne rozwiązania i perspektywy na przyszłość*, Danielewska A., Kalbarczyk K. (red.), Wydawnictwo Tygiel, Lublin 2021.

Łotocki H.*, ABC systemów fotowoltaicznych sprzężonych z siecią energetyczną. Poradnik dla instalatorów*, Wydawnictwo i Handel Książkami KaBe, Krosno 2021.

Marchwiński J., Fotowoltaika *na dachach płaskich – architektoniczne możliwości i ograniczenia,* file:///C:/Users/Owner/Downloads/Fotowoltaika_na_dachach_płaskich_ar.pdf, (dostęp: 12.11.2022r.).

Marszałek K., Dyndał K., Lewińska G., *Fotowoltaika*, Wydawnictwo Akademia Górniczo-Hutnicza im St. Staszica w Krakowie, Kraków 2021, https://www.researchgate.net/profile/KonstantyMarszalek/publication/350523538_Fotowoltaika/links/60648096458515e83485ceb9/Fotowoltaika.pdf.

Mayfield R., *Fotowoltaika. Projektowanie i instalacja dla bystrzaków*, Wydawnictwo Septem, Gliwice 2021.

Sarniak M.T., *Systemy fotowoltaiczne*, Wydawnictwo Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2019.

https://www.alex-electro.com/fotowoltaika-a-warunki-atmosferyczne-i-pogoda.

https://kospel.pl/blog/ile-energii-slonecznej-mozna-uzyskac-ze-slonca-na-obszarze-polski-b57.html.

PHOTOVOLTAICS – IS IT REALLY SAVING MONEY FOR HOUSEHOLDS? – COSTING

Abstract: This study deals with the installation of photovoltaics in households. The purpose of the author's research is to find out whether the installation of photovoltaics is cost-effective for households. The paper defines what photovoltaics is, discusses the principle of photovoltaic panels, shows the factors affecting the operation of photovoltaic installation and electricity production. In order to achieve the stated goal, the energy needs of the household were calculated, the energy gains from the production from the photovoltaic system were analyzed, the electricity bills with and without photovoltaic installation were calculated, the cost estimate of the investment was presented along with the subsidy, and the savings from the photovoltaic installation were discussed.

Keywords: photovoltaic installation, photovoltaic power, energy savings, photovoltaic efficiency, energy demand