

Prognozy produktywności farm fotowoltaicznych w Polsce

Analiza produktywności farm fotowoltaicznych (PV) to szczegółowo udokumentowana i uwarunkowana kilkoma kluczowymi czynnikami prognoza produkcji energii elektrycznej z instalacji fotowoltaicznej. Prognoza produkcji energii wyliczana jest przy użyciu specjalistycznego oprogramowania. Ilość produkowanej energii wyznaczana jest na podstawie danych meteorologicznych dla zadanej lokalizacji farmy przy uwzględnieniu możliwego zacienienia. Analizy dokonuje się wybierając konkretną technologię i dostawcę urządzeń oraz definiując parametry techniczne instalacji, m.in. układ modułów, kąt pochylenia konstrukcji czy odległości międzyrzędowe. Różnice w produktywności farm z jednostki mocy w różnych lokalizacjach zbudowanych w oparciu o różne technologie mogą wynosić nawet 10-15%.

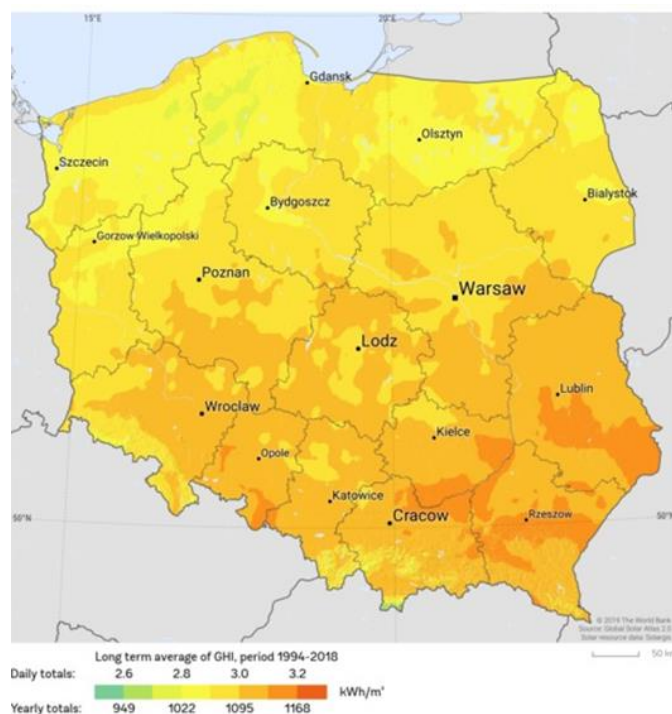
Raport produktywności, łącznie z oceną stopnia niepewności danych wejściowych, stał się ważnym wymaganiem banków stawianym wobec inwestorów farm PV. Prognoza produkcji energii elektrycznej jest podstawowym parametrem oceny wiarygodności projektów przez banki, ponieważ pozwala ona na ocenę ryzyka i analizy finansowej przedsięwzięcia. Prognoza jest czynnikiem warunkującym otrzymanie finansowania oraz definiującym warunki otrzymania kredytu.

Instytut Energetyki Odnawialnej na przestrzeni ostatnich kilku lat sporządził blisko 40 raportów produktywności, które umożliwiły inwestorom otrzymanie finansowania na sfinalizowanie projektów. W poniższym artykule dokonano podsumowania i analizy przeprowadzonych raportów. Przedstawione zostały statystyki dotyczące technologii urządzeń wybieranych przez inwestorów oraz inne trendy dotyczące parametryzacji i charakterystyki farm PV w Polsce. Podstawowy zakres raportu prognozy produktywności farmy PV sporządzanego przez IEO znajduje się w końcowej części artykułu.

Charakterystyka analizowanych farm fotowoltaicznych

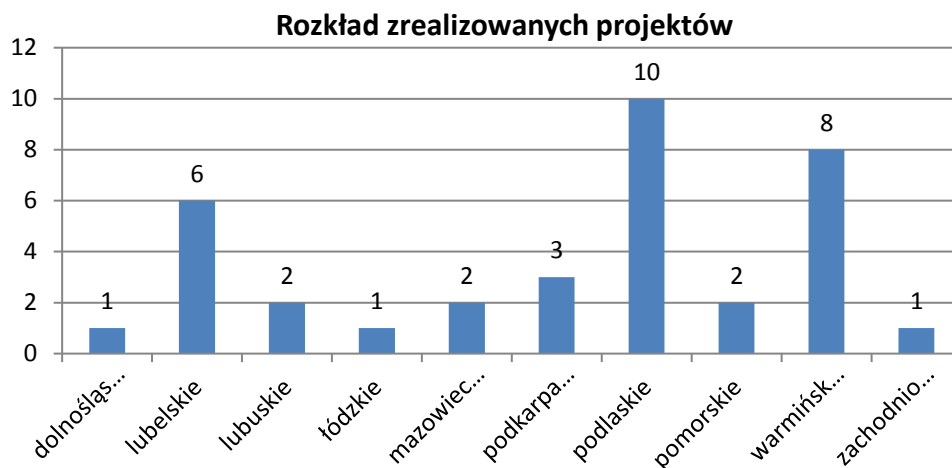
Projekty analizowanych farm to najczęściej instalacje oscylujące w granicach 1 MW (zazwyczaj 999 kW). Inwestorzy chcieli w ten sposób zmaksymalizować moce własnej farmy, przy jednoczesnym udziale w aukcjach OZE w koszyku dla instalacji poniżej 1 MW. Ale również pojawiły się projekty dużej mocy, rzędu kilkudziesięciu megawatów. Wg bazy danych IEO „Projekty fotowoltaiczne w Polsce” łącznie już ponad 1,5 GW projektów PV o mocach powyżej 1 MW ma wydane warunki przyłączenia. W tegorocznych aukcjach, rząd planuje objąć wsparciem aż 700-800 MW nowych farm fotowoltaicznych o zainstalowanej mocy powyżej 1 MW. Łączna moc projektów poddanych analizie wynosi ponad 160 MW mocy zainstalowanej.

Pierwszym istotnym aspektem przy inwestycji w fotowoltaikę wielkoskalową jest wybór lokalizacji. Najlepsze warunki w Polsce tzn. największe wartości natężenia promieniowania słonecznego panują w środkowo - wschodniej części kraju. Najlepszym teoretycznie regionem do rozwoju farm PV jest Lubelszczyzna oraz Zamojszczyzna, gdzie natężenie promieniowania wynosi około 1200 kWh/m². Mapa nasłonecznienia została przedstawiona na rysunku 1.



Rysunek-1 Natężenie promieniowania słonecznego w Polsce, źródło: Solar GIS

Analizowane projekty zlokalizowane były głównie we wschodniej części kraju. Farmy w województwach warmińsko - mazurskim, podlaskim, lubelskim oraz podkarpackim stanowiły aż 75% wszystkich instalacji. Najwięcej analizowanych projektów było w woj. podlaskim (rys.2.). Wysoki wynik przypadł również dla województwa warmińsko - mazurskiego (8 projektów), gdzie średnie natężenie promieniowania oscyluje w granicach 900 - 1040 kWh/m².



Rysunek-2 Rozkład zrealizowanych projektów w podziale na województwa, oprac.: IEO

W tabeli 1 zebrano wszystkie przeanalizowane projekty z podziałem na województw wraz ze średnim natężeniem promieniowania słonecznego dla badanych lokalizacji. Dodatkowo przedstawiono liczbę projektów, w których technologią wybranych modułów były moduły bifacial, dwustronne, których obie strony przekształcają energię słoneczną w energię elektryczną. Technologia ta umożliwia zaabsorbowanie odbitego promieniowania słonecznego od gruntu.

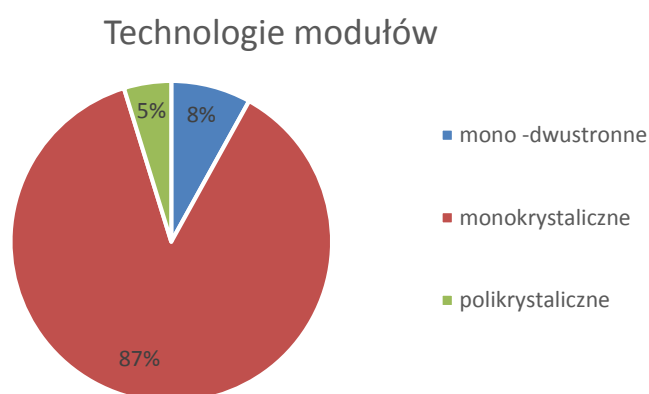
Tabela 1 Zestawienie parametrów analizowanych instalacji w podziale na województwa, oprac.: IEO

Kolumna1	liczba projektów	projekty z modułami dwustronnymi	średnie nasłonecznienie
dolnośląskie	1	0	1077,81
lubelskie	6	2	1089,8
lubuskie	2	0	1078,5
łódzkie	1	0	1069,5
mazowieckie	2	2	1068,9
podkarpackie	3	0	1070,5
podlaskie	10	5	1054,6
pomorskie	2	0	1025,8
warmińsko - mazurskie	8	4	1039,1
zachodniopomorskie	1	0	994,7

Warto zauważyć, że lokalizacja farmy to nie jest jedyny czynnik wpływający na roczną produkcję energii elektrycznej. Uzysk energii z farmy zależy od wybranej technologii modułów, ich sprawności, kąta pochylenia modułów, poziomu zacienienia oraz jakości wybranych komponentów i ich konfiguracji.

Wybór technologii oraz producenta modułów fotowoltaicznych

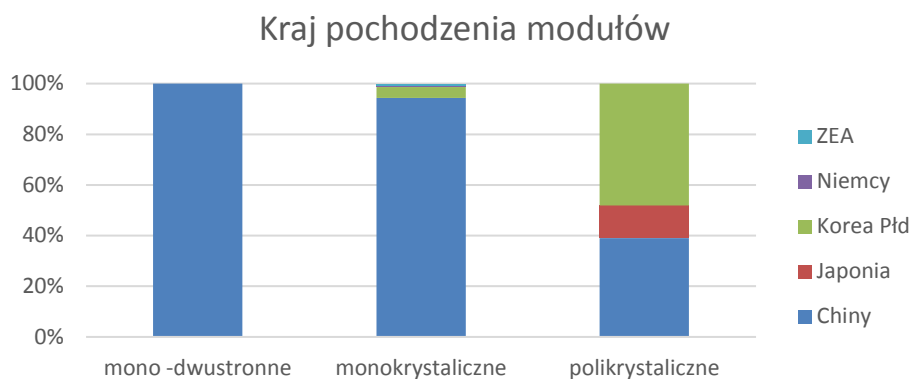
Na szerszą skalę do wyboru inwestorzy mają przede wszystkim dwa główne rodzaje: moduły krzemowe polikrystaliczne oraz monokrystaliczne. Moduły poli- Si są trochę tańsze, ale charakteryzują się niższą sprawnością niż monokrystaliczne. Rynek dużych farm opanowała technologia monokrystaliczna, które w analizowanych projektach stanowią 92% mocy wszystkich instalacji (rys.3. W liczbie analizowanych projektów technologia ta została wybrana przez inwestorów aż 79% wszystkich przypadków. Wśród ostatnich ocen produktywności realizowanych przez IEO coraz śmielej przebija się monokrystaliczna technologia dwustronna. Stosowana jest ona w celu zmaksymalizowania uzysku z instalacji na danej powierzchni działki. Moduły dwustronne stanowią 5% mocy wszystkich analizowanych farm i zostały wybrane w 34% łącznej liczby analizowanych projektów.



Rysunek-3 Rodzaj wybieranych technologii modułów PV, oprac.: IEO

Wybór technologii modułów PV pociąga za sobą kolejną decyzję, wybór producenta. Obecnie ponad 70% światowego rynku modułów fotowoltaicznych pochodzi z Chin. Trend ten odzwierciedla również podsumowanie raportów IEO. W przypadku 65% projektów inwestorzy wybrali moduły pochodzenia

chińskiego, a w 25% była to Korea Południowa. Najczęściej wybieranymi firmami były: Risen Energy Hanwha Q CELLS GmbH oraz Jinko Solar. W ogólnym zestawieniu mocy zainstalowanej z podziałem na technologie i kraj pochodzenia (rys. 4) zauważyć można, że zdecydowana większość mocy zaprojektowanych bazuje na komponentach pochodzenia chińskiego. Dla technologii dwustronnej osiąga aż 100% udział, co związane jest z zaawansowaniem i innowacyjnością tej technologii.



Rysunek-4 Kraj pochodzenia modułów planowanych do zastosowania w farmach PV w odniesieniu do mocy z podziałem na technologie, oprac.: IEO

Na poziomie wyboru inwerterów również biorą górę produkty azjatyckiego pochodzenia. Do wybieranych najczęściej falowników należą kolejno firmy takie jak: Sun Grow, Huawei, GoodWe, a także Fronius, ABB, Kaco czy SMA. Wybrane falowniki charakteryzują się mocą od 25 do 125 kW.

Odległość międzyrzędowa oraz kąt nachylenia modułów

Wpływ odległości pomiędzy kolejnymi rzędami modułów fotowoltaicznych jest oczywisty, a całkowite wyeliminowanie skutków samozacieniania rzędów modułów w określonych porach dnia i roku nie jest możliwe. Zasada jest taka, że im większa odległość między rzędami tym produktywność większa na skutek mniejszej ilości cienia. Należy jednak wziąć pod uwagę, że wraz ze wzrostem odległości wzrasta powierzchnia zajmowana przez instalację. W związku z tym istotny jest dobór optymalnej odległości w konkretnym przypadku projektowym. Należy wybrać opcję, która pozwala najefektywniej wykorzystać moc zainstalowaną uwzględniając dostępną przestrzeń działki pod instalację.

Przeanalizowane projekty fotowoltaiczne charakteryzują się średnią powierzchnią działki potrzebną do zainstalowania 1 MW na poziomie 1,58 ha. Teren ten obejmuje rozlokowanie na działce paneli fotowoltaicznych, stacji transformatorowych oraz zachowania odległości od granicy działki. Należy zaznaczyć, że współczynnik wykorzystania powierzchni pod montaż paneli zależy od charakterystyki działki oraz obecności obiektów zaciemniających instalację.

Optymalna odległość pomiędzy rzędami paneli zależy od układu modułów- czy są to panele ułożone w orientacji poziomej czy pionowej na stole montażowym oraz ile modułów jest ułożonych w każdej kolumnie (ich liczba w pionie). Przy wyborze odległości i sposobu montażu należy szukać optimum pomiędzy kosztem i dostępnością terenu i zaciemnieniem.

Przeprowadzono krótką analizę, obrazującą jak zmiana odległości między kolejnymi stelażami wpływa na zmianę samozacienienia, co zostało przedstawione w tabeli 2. Jako optymalne zaciemnienie przyjmuje się poziom ok. 3%.

Tabela 2 Rozkład strat zacienienia ze względu na odległość międzyrzędową

Odległość międzyrzędowa	Średnie zacienienie
4-7m	3,09%
7-9m	1,93%
pow. 9m	1,36%

Obok odległości międzyrzędowej należy pamiętać o optymalnym kącie nachylenia modułów PV oraz o tym, aby były skierowane na południe. W warunkach polskich, panele na farmie fotowoltaicznej montuje się najczęściej pod kątem 25- 30°, z odstępem międzyrzędowym 5- 7 m. Najczęściej wybieranym sposobem montażu spośród analizowanych projektów był kąt równy 25°, moduły w pozycji poziomej (leżące), po cztery rzędy na stole. Farmy wykorzystujące moduły dwustronne były najczęściej montowane po trzy rzędy modułów na stole w orientacji pionowej, co wymuszało zwiększenie odległości międzyrzędowych do 9- 11 m.

Wyprodukowana energia, a czynniki zewnętrzne: parametry p50 i p90

Z punktu widzenia banku, instytucji finansujących oraz samego inwestora określenie produktywności przez program symulacyjny to tylko połowa niezbędnych informacji o działaniu farmy fotowoltaicznej i jej wydajności. Do jej pełnego opisu potrzebna jest jeszcze analiza tego, w jaki sposób różne czynniki zewnętrzne mogą statystycznie wpłynąć na ilość wyprodukowanej energii. Bardzo prawdopodobnym jest, że w efekcie końcowym instalacja wyprodukuje mniej lub więcej energii niż wartość, którą udało się obliczyć. Potrzebny jest więc sposób na określenie, jakiej wielkości może występować błąd w symulacjach i prognozach produktywności opartych na ofertach dostawców i danych od inwestora mogliśmy się pomylić. Kredytodawca i finansujący chce najczęściej móc pesymistycznie oszacować ilość energii dostarczaną przez farmę PV. Potrzebuje on więc tak zwanego parametru p90, który jest zdefiniowany jako ilość energii produkowaną przez farmę PV, co do której możemy z 90% pewnością stwierdzić, że ilość energii produkowana przez farmę będzie od niej większa. Mówiąc inaczej: znając p90 kredytodawca wie, że istnieje tylko 10% szans, że instalacja dostarczy mniej energii niż wartość p90, więc jest to dobre pesymistyczne oszacowanie wyprodukowanej energii. W ten sam sposób można zdefiniować inne parametry: p75, p60, czy p50. Warto zwrócić uwagę na tę ostatnią wartość: p50 jest to wartość co do której wiadomo, że mamy 50% szans, że nasza farma wyprodukuje mniej niż ta wartość, ale też 50% szans, że wyprodukuje więcej. Oznacza to, że będzie to najbardziej prawdopodobna ilość energii, która zostanie oddana do sieci. Zakłada się, że p50 jest tożsame z wartością uzyskaną podczas symulacji.

Korzystając z pełnej informacji na temat farmy fotowoltaicznej można oszacować niezbędne parametry. Mając do dyspozycji dane satelitarne lub naziemne (oraz informacje o jakości tych danych) z kilkudziesięciu lat z okolic instalacji oraz posiadając wiedzę o wszystkich stratach energii pojawiających się w systemie związanych m.in. z zacienieniem modułów, jakości pracy systemu w warunkach słabego oświetlenia, czy konwersją prądu stałego na prąd zmienny, możliwe jest wyliczenie parametru p90.

Podstawowy zakres Raportu produktywności farmy fotowoltaicznej [\(źródło: IEO\)](#)

1. Podstawowe informacje o inwestycji
2. Metodyka przeprowadzonych obliczeń
3. Dane oraz założenia przyjęte do symulacji:

- a. Dane meteorologiczne (nasłonecznienie, temperatura powietrza atmosferycznego).
 - b. Parametry techniczne modułów fotowoltaicznych oraz ich usytuowanie, parametry techniczne falowników oraz konfiguracja sprzętu.
 - c. Przyjęte straty oraz współczynnik wydajności (PR)
4. Wyniki analizy - prognoza produkcji energii elektrycznej
 5. Niepewność wyznaczania energii uzyskanej przez instalację w pierwszym roku pracy instalacji w ujęciu miesięcznym
 6. Podsumowanie i rekomendacje

Podsumowanie

Produktywność instalacji w danej lokalizacji zależy od szeregu decyzji podjętych przez inwestora. Zmiana rodzaju technologii i dostawcy wpływa na różnice w produktywności farmy fotowoltaicznej. Dodatkowo, wybór w warunkach polskich technologii modułów dwustronnych zwiększa uzysk z instalacji o około 5%. Przy standardowej odległości międzyrzędowej 5-7 m straty na samozacienieniu wynoszą ok 3% (oczywiście im większa średnia odległość tym straty na skutek zacienienia są mniejsze). Średnia powierzchnia działki, przypadająca na 1 MW wynosi 1,58 ha. O wyborze miejsca instalacji decyduje też dostępność i koszt gruntów. Analizy produktywności w oparciu o oferty dostawców i założenia przyjmowane przez inwestorów obarczone są niepewnościami. Wśród wszystkich poddanych analizie instalacji odchylenie standardowe wynosiło średnio 6,8% wartości p50.

Rozwój rynku fotowoltaiki w Polsce to nie tylko obecnie prężnie rozwijający się sektor prosumencki. Coraz większą rolę w systemie energetycznym Polski powinny odgrywać duże farmy fotowoltaiczne, w tym o mocach zainstalowanych przekraczających 1 MW.

Autorzy: Pietrzak Patryk, Skomorowska Agnieszka, Wiśniewski Grzegorz, Wiśniewski Konrad
Instytut Energetyki Odnawialnej
Warszawa, wrzesień 2020
Kontakt: biuro@ieo.pl