

Elektrownie fotowoltaiczne w Polsce - rozwiązania techniczne na przykładzie istniejących obiektów

Streszczenie. Energetyka zawodowa w Polsce wymaga gruntownej modernizacji, gdyż prawie 45% urządzeń wytwarzających energię elektryczną ma więcej niż 30 lat. W strategii bezpieczeństwa państwa bezpieczeństwo energetyczne powinno zajmować miejsce priorytetowe, ponieważ na energię elektryczną opierają się wszystkie dziedziny krajowej gospodarki. Olbrzymi postęp w dziedzinie fotowoltaiki skutkujący spadkiem cen instalacji może radykalnie wpłynąć na poprawę bezpieczeństwa energetycznego Polski. W artykule opisano rozwiązania techniczne zastosowane w dużych elektrowniach fotowoltaicznych w Polsce. Przedstawiono również analizę wyników wytwarzania energii.

Abstract. Power industry in Poland requires thorough modernization because almost 45% of power generation plants is more than 30 years old. Energy security occupy a priority place in strategy of national security because all areas of national economy rely on electricity power. Tremendous progress in photovoltaic technology resulting in drop of power plants prices can radically improve Poland's power security. This article describes technical solutions applied in Poland's large photovoltaic power plants. It also presents analysis of the results of energy. (**Photovoltaic power plants in Poland - technical solution, analysis of energy production based on existing facilities**).

Słowa kluczowe: fotowoltaika, energia słoneczna, elektrownia fotowoltaiczna, odnawialne źródła energii.

Keywords: photovoltaics, solar energy, photovoltaic power plant, renewable energy source.

Wstęp

Inwestycje w OZE stają się coraz popularniejsze w naszym kraju. Jednak doświadczenia z przygotowania inwestycji PV oraz przegląd instalacji już uruchomionych pozwalają stwierdzić, że wiedza zarówno inwestorów, jak i wykonawców na temat technicznych aspektów wykonywania instalacji jest często niewystarczająca. Skutki tego niejednokrotnie przekładają się na awaryjność systemu, wzrost kosztów inwestycji w stosunku do zaplanowanych, wydłużenie procesu inwestycji, a także zmniejszenie uzysków energii. W artykule przedstawiono dobór elementów systemu dla nowobudowanej elektrowni PV o mocy 1,8 MW zlokalizowanej w miejscowości Dęblin w woj. lubelskim. Przeprowadzono również szczegółową symulację spodziewanych wartości wytwarzanej energii.

Bezpieczeństwo energetyczne Polski

Bezpieczeństwo energetyczne jest stanem gospodarki umożliwiającym pokrycie bieżącego i perspektywicznego zapotrzebowania odbiorców na paliwa i energię w sposób technicznie i ekonomicznie uzasadniony przy zachowaniu wymagań ochrony środowiska [1]. Polityka energetyczna powinna być tak prowadzona, aby zapewnić Polsce stabilne i nieprzerwane źródła energii. Na mocy uchwały Rady Ministrów z dnia 15 kwietnia 2014 roku Ministerstwo Gospodarki RP przyjęło dokument „Strategia, Bezpieczeństwo Energetyczne i Środowisko – perspektywa do 2020 r.”. Podkreśla się w nim rolę rozproszonych i odnawialnych źródeł energii. Szacuje się, że udział energii z odnawialnych źródeł w finalnym zużyciu energii wynosił w 2012 roku 11% brutto. Natomiast nie przedstawia się faktu, że z energii wiatru, fotowoltaiki, wody, i biopaliw pochodzi jedynie 4,5% energii, bowiem następne 6,5% energii pochodzi ze współspalania biopaliw stałych w elektrowniach zawodowych, co jest bardzo szkodliwe dla środowiska. Dzięki olbrzymiemu postępowi w dziedzinie fotowoltaiki obserwujemy spadek cen instalacji słonecznych. Może to radykalnie wpłynąć na poprawę bezpieczeństwa energetycznego Polski. Rozwój energetyki XXI wieku będzie ukierunkowany w stronę czystych technologii spalania i energetyki odnawialnej, dlatego rozwój OZE należy poprzedzić wprowadzeniem jasnego, konsekwentnego ustawodawstwa. Stworzenie regulacji prawnych zapewniających stabilne warunki dla producentów i prosumentów mogą przyczynić się do

powstania sieci producentów i konsumentów, co spowoduje zdecydowane zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego Polski.

Budowa farmy fotowoltaicznej

Wygodnym i efektywnym sposobem realizacji inwestycji fotowoltaicznych, dającym inwestorowi pewność profesjonalnego wykonawstwa oraz dopełnienia wszelkich formalności jest formuła EPC (ang. engineering, procurement, construction). "Wykonawstwo pod klucz" polega na precyzyjnym wykonaniu zlecenia od etapu planowania, poprzez projektowanie, aż do budowy.

Etap pierwszy: **engineering** – prace inżynierskie. W tej fazie najważniejsze jest znalezienie rozwiązań ściśle dostosowanych do oczekiwań klienta, również w kwestii finansowej. Etap składa się z: rozpoczęcia, wdrażania, planowania, sporządzenia kosztorysu, wyceny, projektowania.

Procurement – zakup niezbędnych materiałów. Na tym etapie najistotniejsze jest optymalne dostosowanie ceny do jakości materiałów oraz zapewnienie bezpiecznego dostarczenia ich na plac budowy. Zaliczamy tu: zakup i odbiór materiałów, fakturowanie i rozliczenie.

Construction – budowa: uzgodnienie harmonogramu budowy, przeładunek materiałów na miejscu budowy, budowa instalacji, komunikacja z klientem, inwestorem prosto z miejsca budowy, rozliczenie kosztów całości prac, zakończenie.

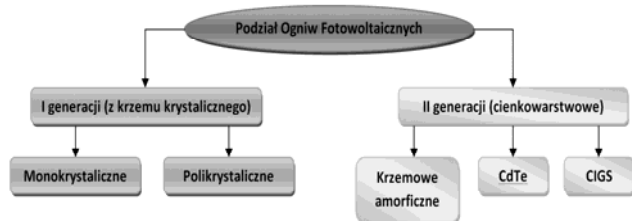
Największą zaletą formuły EPC jest wygoda i pewność inwestora, że wszystkie wymogi techniczne zostały spełnione, a proces instalacji został przeprowadzony zgodnie z prawem. System EPC to również gwarancja, że koszty ustalone wcześniej nie ulegną zmianie.

Porównanie wybranych paneli PV

Dokonanie wyboru producenta paneli fotowoltaicznych nie jest łatwym zadaniem, jest wiele firm dostępnych na rynku ofertujących moduły w różnych technologiach i konfiguracjach. Podział ogniw przedstawiony jest na rysunku 1.

Wciąż najpopularniejsze są panele pierwszej generacji stanowią one ponad 80% całego rynku. Zaliczamy do nich ogniwa mono i polikrystaliczne. Droższymi panelami są wytworzone w technologii monokrystalicznej, w zamian cechują się najlepszą sprawnością sięgającą 17-18%. Panele

polikrystaliczne odznaczają się sprawnością rzędu 14-16%, koszt ich produkcji jest mniejszy, więc są najbardziej popularne. Do zalet paneli I generacji należy zaliczyć ich wysoką żywotność. Produkty renomowanych producentów po 25 latach osiągają 80% swojej mocy, ale mogą pracować nawet dwukrotnie dłużej. Wadą natomiast jest ich wrażliwość na temperaturę, powyżej 25°C pracują z większą utratą mocy, niż te z II generacji. Druga generacja to panele cienkowarstwowe mające najniższe sprawności, co rekompensuje atrakcyjna cena niższa w stosunku do I generacji nawet o kilkadziesiąt procent [3].



Rys.1. Podział ogniw fotowoltaicznych ze względu na zastosowany materiał półprzewodnikowy [2]

Zakupione panele mają działać co najmniej 25 lat, dlatego należy zwrócić szczególną uwagę na gwarancję. Producent zazwyczaj udziela podwójnej gwarancji. W pierwszej z nich producent gwarantuje spadek mocy nominalnej nie mniejszy niż określona wartość przez dany czas. Kolejny rodzaj gwarancji dotyczy wykonania panela, udzielana przeważnie na okres 10 lat. Przez ten czas wady takie jak pęknięcia, rozszczelnienia będą stanowiły podstawę do wymiany na nowy lub stosownego odszkodowania. Należy zwrócić uwagę czy gwarancja obejmuje swoim zakresem ochronę przed degradacją indukowanym napięciem (PID) oraz mikropęknięciami powodującymi powstawanie hot spotów. Przez cały okres gwarancji (przeważnie 25 lat) powinniśmy mieć możliwość jej zrealizowania u naszego producenta. Niestety istnieje obawa, że producent nie będzie już istniał na rynku. Wybierając znanego producenta, działającego nie tylko w branży fotowoltaiki mamy większe prawdopodobieństwo możliwości zrealizowania gwarancji.

Następnym aspektem, na który należy zwrócić uwagę jest tolerancja mocy. W słabej jakości panelach tolerancja podawana jest zazwyczaj +/- 3%. Najlepsi producenci mają tolerancję dodatnią np. +5% co oznacza, że kupione panele

nie będą miały mocy niższej niż znamionowa. Dodatkowo jest duża szansa na to, że większość z nich będzie posiadała moc większą niż deklarowana.

Ważnym parametrem jest również temperaturowy współczynnik mocy. Określa on spadek mocy wraz ze wzrostem temperatury. Im jego wartość jest niższa tym wydajność panelu większa.

Wyznacznikiem jakości jest podawanie przez producentów parametrów pracy ogniwa nie tylko dla warunków laboratoryjnych - STC (natężenie promieniowania słonecznego 1000 W/m², prędkość wiatru 1,5 m/s, temperatura otoczenia 25°C), ale również w warunkach rzeczywistych - NOCT (natężenie promieniowania słonecznego 800W/m², prędkość wiatru 1 m/s, temp. otoczenia 20°C). Tylko niewielka ilość producentów decyduje się na przedstawienie takich parametrów. Dodatkowym elementem jest również temperatura NOCT, przedstawiająca normalną temperaturę pracy ogniwa dla wymienionych wyżej warunków. Im jest ona niższa tym wydajność modułu wyższa.

Aspektem, na który warto zwrócić uwagę jest wyposażenie paneli w diody bocznikujące (bypass). Dzięki nim część modułu, która uległa zacienieniu zostaje odcięta, a my uzyskujemy moc z pozostałej części. Przeważnie panele wyposażone są w 3 diody bypass.

Wydajność paneli w zależności od natężenia promieniowania określa wykres charakterystyki prądowo napięciowej. Wydajność jest tym lepsza, o ile utrata efektywności przy niskich wartościach natężenia promieniowania jest niższa.

Ważnym cechę jest także spadek mocy paneli, spowodowany ich powolną degradacją. Przeważnie jest to ok. 1% rocznie i powinno być to zabezpieczone odpowiednią notą gwarancyjną.

Wymienione wyżej parametry mają swoje odzwierciedlenie w różnicy uzysku energii przez panele fotowoltaiczne. Biorąc powyższe pod uwagę można spotkać się z sytuacją, gdzie panele o równej mocy nominalnej będą w rzeczywistych warunkach osiągały względem siebie uzyski energii różne od siebie o rząd kilkunastu procent. Dlatego przed dokonaniem wyboru producenta warto szczegółowo przeanalizować właściwości modułów, aby wybrać jak najbardziej optymalne rozwiązanie.

W tabeli 1 zostało przedstawione przykładowe zestawienie parametrów paneli dostępnych na rynku.

Tabela 1. Zestawienie podstawowych parametrów paneli PV dostępnych na rynku Polskim [4]

Producent	Model	Sprawność, %	Tolerancja mocy	Podanie parametrów pracy w NOCT	Wpływ temperatury			Liczba diod bypass	Gwarancja			
					NOCT, °C	TCoP, %/°C	TCoV, %/°C		Spadek 10% mocy, lata	Spadek 20% mocy, lata	PID	HOT-Spot
PVTEC	PVMU60 240 (poli)	14,77	0/+5%	NIE	46 ±2°C	-0,45	0,33	3	10	25	NIE	NIE
Bruk-Bet Solar	BEP 250Wp (poli)	15,4	0/+4,99W	NIE	42	-0,41	-0,34	b/d	10	25	TAK	TAK
TrinaSolar	TSM-240 PC/05 (poli)	14,7	0/+3%	TAK	45°C ±2°C	-0,43	-0,32	3	10	25	NIE	NIE
Schüco	MPE 250 PG 04 (poli)	15,5	0/+5W	NIE	45°C ±2°C	-0,43	-0,34	3	12	25	NIE	NIE
Znshine	ZXP6-60-240/P (poli)	16,64	0/+3%	NIE	45°C ±2°C	-0,42	-0,33	6	10	25	TAK	NIE
Hareon Solar	HR-240P-18/Bb (poli)	13,32	0/+5W	TAK	45°C ±3°C	-0,44	-0,32	3	12	25	NIE	TAK
Perlight	PLM-240P-60 (poli)	b/d	+/-3%	NIE	47°C ±3°C	-0,45	-0,35	b/d	12	25	NIE	NIE
Phonosolar	PS280M-20/U (mono)	17,2	0/+5%	NIE	45°C ±2°C	-0,43	-0,33	b/d	10	25	TAK	NIE
Yingli Solar	YL280C-30b (mono)	17,1	0/+5W	TAK	46°C ±2°C	-0,42	-0,31	b/d	10 lat na min. 92%	25 lat na min. 82%	NIE	NIE

Dobór elementów systemu. Symulacja uzysków energii.

Dobór elementów systemu oraz symulacje spodziewanych wartości produkowanej energii przeprowadzono dla nowobudowanej elektrowni fotowoltaicznej Dęblin o mocy 1,8 MW przyłączonej do sieci dystrybucyjnej PGE Lublin poprzez linię napowietrzną

SN 15kV. Dobór elementów farmy PV oraz analiza symulacyjna została przeprowadzona z wykorzystaniem programu BlueSol. W elektrowni zastosowane będzie rozwiązanie z inwerterami centralnymi umieszczonymi w stacji kontenerowej 0,4/15kV, wraz z transformatorem 2000 kVA i 2-polową rozdzielnicą SN. Dla uzyskania wymaganej mocy dobrano 7458 sztuk paneli

polikrystalicznych PVMU60 240 produkcji polskiej firmy PVTEC, parametry podano w tabeli 1 [5]. Dla symetrycznego obciążenia inwerterów zgrupowano panele w 339 linii po 22 moduły. Parametry elektryczne danego generatora fotowoltaicznego są następujące: moc znamionowa wynosi 1789,92 kWp, powierzchnia przechwytyjąca panele to 12976,92 m², napięcie maksymalne (STC) $V_{oc}=817,08$ V, napięcie przy mocy maksymalnej (STC) $V_{mpp}=645,48$ V, prąd przy maksymalnej mocy (STC) $I_{mpp}=905,13$ A. Na podstawie danych wyjściowych generatora dobrano zestaw trzech inwerterów centralnych PVS800-57-0500kW-A produkcji ABB. Wybrane falowniki charakteryzują się wysoką sprawnością na poziomie 98,6% [6], są wyposażone w zoptymalizowany i dokładny system sterowania, algorytm śledzenia maksymalnego punktu pracy (MPPT) oraz przekształtnik o wysokiej sprawności. Zapewnia to maksymalne ilości energii dostarczanej z modułów fotowoltaicznych do sieci. Oprogramowanie centralnych inwerterów ABB zawiera funkcje wsparcia i monitoringu tj.: ograniczenie mocy czynnej, przejście przez stan obniżonego napięcia (LVRT) wraz z dostarczaniem prądu biernego do sieci oraz kontrola mocy biernej [6]. Falownik umożliwia sterowanie mocą czynną i bierną przy pomocy zewnętrznego sterowania. Moc czynna może być regulowana automatycznie w zależności od częstotliwości sieci. Wszystkie powyższe funkcje wsparcia mogą być dowolnie parametryzowane, co pozwala na optymalne dostosowanie do lokalnych warunków przyłączenia. W celu prawidłowego doboru inwerterów konieczne jest zazwyczaj, aby zweryfikować zgodność używanych falowników z polami fotowoltaicznymi. Weryfikacja falowników odnosi się do sekcji prądu stałego systemu fotowoltaicznego i dotyczy:

- weryfikacji napięcia stałego,
- weryfikacji prądu stałego,
- weryfikacji mocy.

Sprawdzenie napięcia stałego wykonywane jest w celu weryfikacji, czy zestaw napięć dostarczanych przez pole fotowoltaiczne jest zgodny z zakresem wahań napięcia wejściowego falownika. Niezbędne jest, aby wyliczyć minimalny i maksymalny poziom napięcia pola ogniw fotowoltaicznych i zweryfikować, czy pierwszy jest większy od minimalnej dopuszczalnej dla napięcia wejściowego falownika, a drugi jest mniejszy od maksymalnego napięcia wejściowego dopuszczalnego przez falownik.

Weryfikacja prądu stałego wykonywana jest w celu sprawdzenia, czy prąd zwarcioowy pola PV dla STC jest mniejszy niż maksymalna dopuszczalna wartość prądu wejściowego falownika [7].

Weryfikacja mocy jest wykonywana w celu sprawdzenia, czy moc znamionowa grupy konwersji DC/AC (suma mocy znamionowej falownika) jest większa niż 80% i mniejsza niż 120% mocy znamionowej systemu fotowoltaicznego (suma mocy znamionowej modułów fotowoltaicznych) [8].

Tabela 2. Weryfikacji doboru inwertera

Inverter:1, Inverter:2, Inverter:3	
Warunek min. napięcia	Minimalne napięcie w temperaturze modułu z 61,55°C (636,52 V) > Minimalne napięcie MPPT (450 V)
Warunek max. napięcia	Maksymalne napięcie w temperaturze modułu -10°C (654,06 V) < Maksymalne napięcie MPPT (800 V)
Warunek max. napięcia	Napięcie jałowe w temperaturze modułu -10°C (825,66 V) < Maksymalne napięcie falownika (900 V)
Warunek. prądowy	Prąd zwarcioowy (923,21 A) < Maksymalny prąd falownika (1145 A)
Limity mocy	Współczynnik wielkości mocy (80 %) < (99%) < (120 %)

Wydajność systemu została przeliczona dla lokalizacji Dęblin (szerokość geograficzna 51,56°, długość 21,86°,

wysokość 116 m n.p.m.). Natężenie promieniowania słonecznego dla tej lokalizacji według źródeł danych klimatycznych NASA-SEE przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Dzielne natężenie promieniowania słonecznego

Miesiąc	Rozproszone dziennie [kWh/m.]	Bezpośrednie dziennie [kWh/m.]	Globalne dziennie [kWh/m.]
Styczeń	0,60	0,33	0,93
Luty	0,95	0,71	1,66
Marzec	1,53	1,19	2,72
Kwiecień	2,08	1,61	3,69
Maj	2,53	2,48	5,01
Czerwiec	2,73	2,16	4,89
Lipiec	2,61	2,28	4,89
Sierpień	2,25	2,11	4,36
Wrzesień	1,59	1,33	2,92
Październik	0,98	0,70	1,68
Listopad	0,61	0,31	0,92
Grudzień	0,47	0,23	0,70
Rocznie	1,58	1,28	2,86

Procedura obliczania energii wytwarzanej przez układ uwzględnia moc znamionową (1789,92 kW), kąt nachylenia=36° oraz azymut=0°, generator PV, straty na generatorze PV (straty rezystancyjne, straty z powodu różnicy temperatury modułów, refleksji bądź niedopasowania pomiędzy pasmami), wydajność falownika. Tabela 4 zawiera czynniki strat oraz ich wartości przyjęte przez procedury obliczania wydajności systemu.

Tabela 4. Czynniki strat

Straty	
Straty ciepła	3,00 %
Straty z niedopasowania	2,00 %
Straty rezystancyjne	4,00 %
Straty spowodowane konwersją DC/AC	2,40 %
Inne straty	2,00 %
Straty z zacielenia	0,00 %
Straty całkowite	12,71 %

Energia wytwarzana rocznie przez elektrownię (E_p) obliczana jest w następujący sposób:

$$(1) \quad E_p = P_{nom} \cdot Irr \cdot (1 - Losses) = 1891,23 \text{ MWh}$$

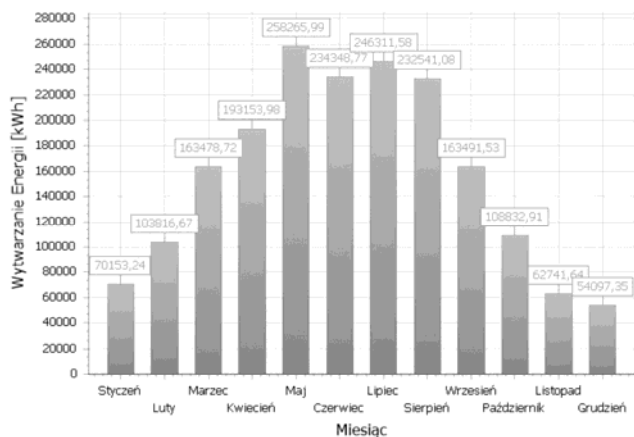
gdzie: E_p – energia wytwarzana rocznie przez elektrownię, P_{nom} – moc znamionowa systemu: 1789,92 kW, Irr – roczne natężenie promieniowania słonecznego na powierzchni modułów: 1210,51 kWh/m², $Losses$ – straty mocy: 12,71 %

Poniższy wykres przedstawia przewidywaną miesięczną produkcję energii w ciągu roku dla wariantu systemu o stałym kącie nachylenia paneli 36° i azymucie 0°.

W drugim wariantcie została przeprowadzona symulacja dla systemu nadążnego, ze śledzeniem słońca w dwóch płaszczyznach. W związku z powyższym współczynnik rocznego natężenie promieniowania słonecznego na powierzchni modułów uległ zmianie i w tym przypadku to 1439,10 kWh/m². Wobec tego wartość E_p wynosi:

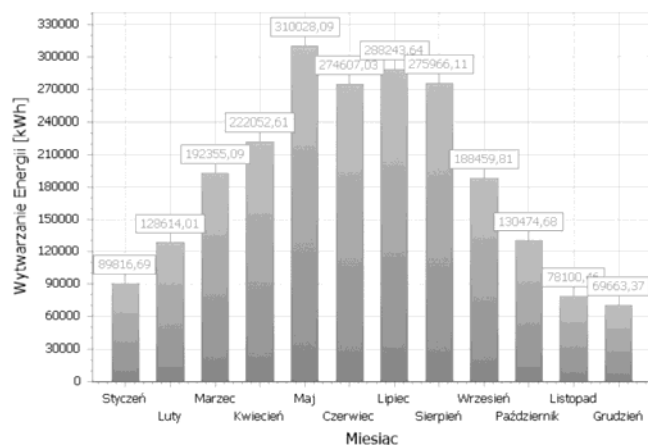
$$(2) \quad E_p = P_{nom} \cdot Irr \cdot (1 - Losses) = 2248,38 \text{ MWh}$$

gdzie: E_p – energia wytwarzana rocznie przez elektrownię, Irr – roczne natężenie promieniowania słonecznego na powierzchni modułów: 1439,10 kWh/m², $Losses$ – straty mocy: 12,71 %



Rys.2. Miesięczna produkcja energii systemu elektrowni PV o stałym kącie 36°

Rysunek 3 przedstawia przewidywaną miesięczną produkcję energii w ciągu roku dla systemu z trackingiem.



Rys.3. Miesięczna produkcja energii systemu elektrowni PV z systemem śledzącym słońce

Poza opisanym doborem urządzeń przy projektowaniu i budowie farmy PV należy zwrócić uwagę na techniczne aspekty takie jak:

- przeprowadzenie symulacji pod kątem zacielenia dla obszaru inwestycji przez okres całego roku w celu prawidłowego rozmieszczenia rządów modułów fotowoltaicznych. Uzyskanie kompromisu pomiędzy gęstością zabudowy, a wykluczeniem ryzyka wzajemnego zacielenia;
- dobranie konstrukcji wsporczych pod panele na tyle wysokich, aby umożliwiały swobodne koszenie trawy po stronie niższej krawędzi;
- zastosowanie systemu konstrukcji umożliwiających swobodne odprowadzenie wody, dzięki temu będą one w mniejszym stopniu narażone na korozję i powstawanie glonów;
- w przypadku łączenia elementów konstrukcji stali ocynkowanej z aluminium, należy stosować odpowiednie przekładki;
- ustawienie pionowe lub poziome modułów na stołach w zależności od generacji zastosowanych ogniw w celu ograniczenia strat spowodowanych zalegającym śniegiem;

- w przypadku odprowadzenia energii do linii napowietrznej SN należy zlokalizować punkt rozłącznikowy w miejscu, w którym nie będzie zacielenia instalacji;
- stosowanie zabezpieczeń dedykowanych do fotowoltaiki, takich, jak np. wkładki bezpiecznikowe o charakterystyce gPV;
- wyposażenie farmy w monitoring parametrów pracy ze zdalną transmisją danych, umożliwi to szybką reakcję na spadek produkcji energii mogący być przyczyną np. awarii, uszkodzenia lub zacielenia śniegiem, ptasimi odchodami czy liśćmi;
- zapewnienie na wyposażeniu elektrowni zapasowych elementów takich jak moduły, kable łączące panele, konektory, umożliwi szybkie reagowanie i uniknięcie strat związanych z przestojem elektrowni.

Wnioski

Podsumowując, wdrożenie właściwych modernizacji technicznych na etapie projektowania i wykonania elektrowni fotowoltaicznej przyczynia się do prawidłowej eksploatacji i w znaczący sposób wpływa na maksymalizację parametrów ekonomicznych oraz niezawodność działania instalacji. Dla elektrowni o mocy 1,8 MW przeprowadzono symulację rocznych uzysków energii. Dla stałego kąta nachylenia 36° spodziewana roczna generacja energii wynosi 1891 MW. Symulacje zakładają produkcję energii o 18,88% większą dla systemu nadążnego w stosunku do systemu o stałym kącie nachylenia modułów. Decyzję o budowie systemu należałoby podjąć dopiero po wnikliwej analizie ekonomicznej.

Autorzy: mgr inż. Tomasz Marcewicz, Politechnika Lubelska, Katedra Urządzeń Elektrycznych i Techniki Wysokich Napięć, ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin, E-mail: tomasz.marcewicz@pollub.edu.pl; dr hab. inż. Janusz Partyka, prof. PL Politechnika Lubelska, Katedra Urządzeń Elektrycznych i Techniki Wysokich Napięć, ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin, E-mail: j.partyka@pollub.pl; mgr inż. Mirosław Mazur, Politechnika Lubelska, Katedra Urządzeń Elektrycznych i Techniki Wysokich Napięć, ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin, E-mail: mirekpolon@gmail.com

LITERATURA

- [1] Ustawa z 10 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne /Dz. U. Nr 54, poz. 348, z późn. zm.
- [2] Szymański B., *Instalacje fotowoltaiczne*, Wyd. Geosystem Burek, Kraków 2013
- [3] Tytko R.: *Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej*, Wyd. Towarzystwa Słowaków w Polsce, Kraków 2014
- [4] Dane katalogowe paneli PV: PVTEC, Bruk-Bet Solar, TrinaSolar, Schüco, Znshine, Hareon Solar, Perlight, Phonosolar, Yingli Solar
- [5] Projekt Budowlany Elektrowni Słonecznej Dęblin 1,8 MW opracowany przez firmę SOLARTECH INVEST S.A.
- [6] http://www.abb.com/product/seitp322/4b5c99e3ab24a2cc_c1257d470038d32f.aspx
- [7] Klugmann-Radziemska E.: *Fotowoltaika w teorii i praktyce*, Wyd. BTC, Legionowo 2010
- [8] Haberlin H., *Photovoltaics. System Design and Practice*, Wiley, 2012