

EFEKTYWNOŚĆ EKONOMICZNA SYSTEMÓW WYTWARZANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ WYKORZYSTUJĄCYCH ENERGIĘ PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO

Streszczenie. W dobie coraz większego zużycia energii Unia Europejska oraz państwa poza nią poszukują innych, poza konwencjonalnymi, źródeł energii. Rosnące zapotrzebowanie na energię może zostać zaspokojone poprzez zastosowanie energii jądrowej, albo czerpanie jej z odnawialnych źródeł. Jednym, z dynamicznie rozwijających się źródeł energii jest energia promieniowania słonecznego. W niniejszej pracy przedstawiono stan i rozwój fotowoltaiki w Polsce i na świecie oraz uwarunkowania prawne i ekonomiczne rozwoju tej dziedziny. Przeprowadzono również ocenę ekonomiczną dla projektu instalacji elektrowni fotowoltaicznej, zlokalizowanej na terenie województwa Małopolskiego.

Słowa kluczowe: energia odnawialna, energia promieniowania słonecznego, efektywność ekonomiczna

Солінська М.

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Анотація. На тлі все більшого попиту на енергію Європейський Союз та інші країни шукають альтернативні джерела енергопостачання. Зростаючий попит можна задовольнити за допомогою або атомної енергетики, або використання енергії з відновлювальних джерел. Одним з найбільш перспективних джерел є сонячна енергетика. У статті проаналізовано сучасний стан і розвиток сонячної енергетики в Польщі й світі, а також юридичні та економічні засади функціонування цієї сфери. Оцінено економічні параметри проекту сонячної електростанції на теренах Малопольського воєводства.

Ключові слова: відновлювальна енергія, сонячна енергія, економічна ефективність

1. Wstęp

Słońce jest nie tylko niewyczerpywalnym ale również nieograniczonym źródłem czystej energii. W celu praktycznego wykorzystania energii słonecznej należy najpierw oszacować potencjalne i rzeczywiste zasoby. Każdy rejon charakteryzuje się zmiennymi parametrami oraz warunkami meteorologicznymi, od których zależy dobór technologii przetwarzania energii promieniowania słonecznego na inne formy energii (elektryczną lub ciepło).

Można wyróżnić dwie główne formy przetwarzania energii słonecznej: konwersję fotowoltaiczną oraz konwersję fototermiczną. Pierwsza z nich konwersja fotowoltaiczna, wykorzystuje urządzenia takie jak moduły fotowoltaiczne, w których następuje zamiana energii słonecznej w energię elektryczną. Aby przekształcić energię słoneczną na ciepło konieczne jest wykorzystanie systemów wyposażonych w kolektory słoneczne. Ich wydajność zależy przede wszystkim od warunków meteorologicznych charakterystycznych dla rejonu, w którym się znajdują oraz elementów składowych, które je budują.

Rozwój energetyki słonecznej w znacznym stopniu wynika z potrzeby uniezależnienia się obywateli od wykorzystywania paliw kopalnych. Dodatkowo coraz większy wzrost świadomości ludzi w zakresie ochrony środowiska powoduje zainteresowanie tematyką odnawialnych źródeł energii, w tym energetyki słonecznej. Intensywne wydobywanie paliw kopalnych powoduje

szybki spadek ich zasobów i zwiększoną emisję tlenu węgla do atmosfery, co przyczyniło się do poważnych zakłóceń funkcjonowania ekosystemu Ziemi. Pomimo to, trudno wyobrazić sobie świat bez węgla, ropy naftowej czy gazu ziemnego. Niemniej coraz częściej mówi się o wyczerpaniu ich pokładów. Zdaniem analityków złoża ropy naftowej wyczerpią się najszybciej. Rocznie eksploatuje się około 3,5 mld ton, a pozostało jej około 140 mld ton. Za około 40 lat konieczne będzie wydobywanie ropy z piasków bitumicznych i łupków, niemniej jest to kosztowny sposób. Zasoby gazu ziemnego zostały oszacowane na około 190 bln metrów sześciennych. Obecnie wydobywa się około 3 bln metrów sześciennych gazu w ciągu roku, zatem powinny wystarczyć na 60 lat. Współcześnie wiele mówi się na temat wydobywania gazu łupkowego. Jego zużycie jest już stopniowo ograniczane za sprawą restrykcji związanych z redukcją emisji dwutlenku węgla. Zasoby węgla kamiennego i brunatnego w Polsce wyczerpią się za około 40 lat. Mówienie o tym, że złoża paliw kopalnych ulegną wyczerpaniu, jest dużym uproszczeniem. Zużycie dotyczy tylko tych złóż, które są znane i eksploatowane przy zastosowaniu tradycyjnych metod. Czas paliw kopalnych dobiega końca głównie z uwagi na przewidywany wzrost ich cen. Rosnące zapotrzebowanie na energię może zostać zaspokojone poprzez zastosowanie energii jądrowej, albo czerpanie jej z odnawialnych źródeł.

Chcąc zadbać o stabilność energetyczną, Unia Europejska (UE) wydała dyrektywę określaną potocznie 3 x 20%. Państwa członkowskie dążą do ograniczenia zużycia energii, zmniejszenia emisji dwutlenku węgla i konieczności zwiększenia udziału energii odnawialnej do 20% w całej UE. Przyrost mocy pochodzących z sektora odnawialnych źródeł energii zwiększył się gwałtownie w ciągu ostatnich lat. Największy przyrost można zauważyć w branży energetyki wiatrowej. UE należy do światowych liderów w tej dziedzinie. Wraz z rozwojem technologii wytwarzanie energii odnawialnej rośnie, a koszt jej pozyskiwania maleje, co daje jej dużą przewagę nad energią jądrową. Główne rodzaje energii odnawialnej to bioenergia, energia słoneczna, wiatrowa, wodna, oceaniczna i geotermalna. Każde państwo wykorzystuje inne źródła, co wiąże się z warunkami klimatycznymi i geologicznymi panującymi na jego obszarze. Wzorem do naśladowania jest Hiszpania, która inwestuje w rozwój elektrowni słonecznych, a także Norwegia, w której elektrownie wodne pokrywają zapotrzebowanie na energię niemal w 100%. W Polsce obecnie energia odnawialna pokrywa około 12% krajowego zapotrzebowania. Celem polityki energetycznej jest zwiększenie udziału do 15%.

W Polsce dynamiczny rozwój energetyki słonecznej powoduje zainteresowanie oraz wprowadzanie coraz to nowszych technologii związanych z fotowoltaiką. Według raportu Instytutu Energii Odnawialnej w 2012 r. w naszym kraju sprzedano około 90 tysięcy sztuk paneli fotowoltaicznych o łącznej mocy 22 MW oraz 300 tysięcy metrów kwadratowych kolektorów słonecznych. W przypadku kolektorów słonecznych odnotowano około 20% wzrost w stosunku do 2011 r. Biorąc pod uwagę prognozy na następne lata można dostrzec stopniowy wzrost wykorzystania systemów konwersji energii słonecznej. Poniższy projekt inżynierski ma za zadanie przedstawić efektywność wykorzystania modułów dla małej farmy fotowoltaicznej [17].

2. Stan i rozwój fotowoltaiki w Polsce i na świecie

W ciągu ostatnich 10 lat, rynek ogniw fotowoltaicznych (PV) doświadczył niespotykanego wzrostu. Głównie w roku 2010 udział fotowoltaiki w bilansie energetycznym wzrósł poprzez zainstalowaną moc o około 40 GW na całym świecie, o rocznej zdolności dodanej 16,6 GW. W przyszłości energia fotowoltaiczna ma szansę przekształcić się w pełni konkurencyjny składnik systemu energetycznego w UE oraz na świecie. Na zróżnicowanie rozwoju fotowoltaiki w poszczególnych krajach mają wpływ przede wszystkim liczne czynniki ekonomiczne. W szczególności są to przepisy krajowe i dostępności do dofinansowań.

Z badań przeprowadzonych przez Instytut Energetyki Odnawialnej w roku 2012 na rynku fotowoltaicznym w Polsce zauważono znaczne ożywienie. Odnotowano sprzedaż około 22,9 MW paneli fotowoltaicznych, z czego części została oddana do użytku natomiast reszta jest na etapie instalacji. Aktualnie w Polsce powstaje kilka elektrowni fotowoltaicznych, największa ze względu na moc ma powstać w rejonie Olsztyna, woj. warmińsko-mazurskie. Powiatowo-gminna spółka Fotowoltaika Gryźliny właśnie uzyskała

dofinansowanie na ten cel. W niedługim czasie w Czerniewicach zostać oddana do użytku druga w Polsce farma fotowoltaiczna o mocy 1,2 MW. Pierwsza farma fotowoltaiczna znajduje się w Wierzchosławicach i z powszechnie dostępnych informacji wynika że jest na etapie rozbudowy. W roku 2014 istnieje szansa, że w Polsce będzie funkcjonować ponad 24 MW elektrowni fotowoltaicznych.

Światowy rynek fotowoltaiczny mimo gospodarczego i finansowego kryzysu nadal prężnie się rozwija. „W 2011 r. w Europie zainstalowano ponad 21,5 MWp w systemach PV, podczas gdy w 2010 r. tylko 13,7 MWp. Łączna, skumulowana wartość wynosi ponad 51,3 MWp. Najwięcej systemów PV powstało jako systemy podłączone do sieci (tzw. *on grid*). Ponadto większość instalacji PV, ok. 74% powstaje na rynku europejskim (Niemcy, Włochy, Hiszpania, Francja, Czechy, Belgia).

Ponadto, poza UE bardzo aktywnym rynkiem są Chiny, gdzie w 2011 r. podłączono do sieci 2 140 MWp, podczas gdy w 2010 r. 500 MWp. W USA wg *Solar Energy Industries Association* (SEIA) rynek amerykański osiągnął nowy rekord sprzedaży systemów fotowoltaicznych z wynikiem 1 855 MWp w 2011 r. (przyrost rzędu 108%). Na uwagę zasługuje również rynek PV w Japonii, gdzie w 2011 r. zainstalowano 1 296 MWp (w tym 86% w sektorze mieszkaniactwa). Aby jednak sektor fotowoltaiki zaczął funkcjonować, sprawniej konieczne są regulacje prawne, które będą sprzyjały jej rozwojowi, zarówno jeśli chodzi o system wsparcia jak również uproszczenia administracyjne. Polską ustawą regulującą całokształt spraw związanych z polityką energetyczną państwa jest Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. „Prawo energetyczne” Przede wszystkim określa ona „zasady dostarczania paliw i energii, zasady polityki energetycznej państwa, kompetencje i zasady działania Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki, przepisy o koncesjach i taryfach energetycznych, urządzeniach energetycznych, instalacjach, sieciach i ich eksploatacji. Dnia 11 września 2013 r. miała miejsce jedna z ostatnich nowelizacji powyższej Ustawy tzn. mały trójpak energetyczny który, „wdraża w pełniejszy od dotychczasowego sposób przepisy unijne promujące wykorzystywanie energii ze źródeł odnawialnych oraz regulujące wspólne zasady rynku wewnętrznego energii elektrycznej i gazu ziemnego” [14].

Należy również zwrócić uwagę że w dobrym kierunku idą prace nad funduszami UE 2014-2020 na małe instalacje fotowoltaiczne oraz prace nad nowym programem mikrofinansowania fotowoltaiki. Coraz więcej banków dostrzega potencjał sektora PV w Polsce i przedstawia specjalne oferty kredytowe, dedykowane do tego typu urządzeń. Dodatkowo fundusze na instalację PV można pozyskać także z funduszy unijnych.

W styczniu 2014 r. resort gospodarki poinformował, że zakończył prace nad projektem ustawy o odnawialnych źródłach energii i wysłał go do stałego Komitetu Rady Ministrów z wnioskiem o pilne rozpatrzenie. Ustawa przede wszystkim wprowadza nowe zasady dotyczące wsparcia dla OZE. „Projekt ustawy zakłada odejście od dzisiejszego systemu dotowania bieżącej produkcji energii ze źródeł odnawial-

nych na rzecz systemu aukcyjnego, w którym ten, kto zaferuje najniższą cenę takiej energii, otrzyma gwarancję jej zakupu nawet przez 15 lat po zaferowanej cenie waloryzowanej o wskaźnik inflacji. Minister Gospodarki zakłada, że ustawa wejdzie w życie z początkiem 2015 r., a aukcje na zakup "zielonej" energii będą ogłaszane co najmniej raz w roku. Minister gospodarki ma wcześniej ogłosić tzw. cenę referencyjną, czyli maksymalną cenę, jaką można zaferować na aukcji jak również i pulę energii, jaką w danym roku państwo wesprze."

W uzasadnieniu do projektu można odszukać informacje, że w 2015 r. średnia kwartalna cena energii będzie wynosić 220 zł/MWh, a średnia cena wspieranej energii z OZE - 362 zł/MWh. Projekt ten wprowadza m.in. definicję mikroinstalacji, czyli instalacji OZE o niewielkiej mocy, produkującej energię głównie na własne potrzeby. Aby stać się użytkownikiem takiej instalacji nie trzeba będzie mieć koncesji czy też prowadzić działalności gospodarczej. Wsparciem ma być tu też obowiązek zakupu przez odpowiedni podmiot nadwyżek energii za 80% ceny rynkowej.

- Ustawa z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz.U.2012.647 z późn. zm.),

- Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (Dz.U.2010., nr 243, poz. 1623 z późn. zm.),

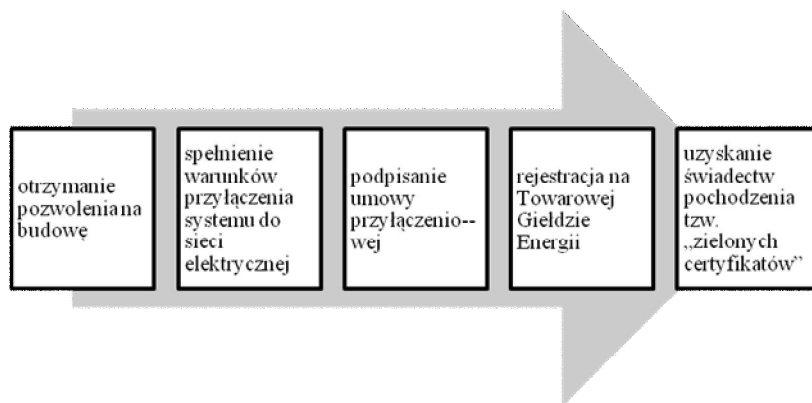
- Ustawa z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych (Dz. U. z 2004 r. Nr 121, poz. 1266, z późn. zm.),

- Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2010 r. w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko (Dz. U. Nr 213, poz. 1397, z późn. zm.),

- Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne (Dz. U. 2012.1059 z późn. zm.),

- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego (Dz. U. 2007.93.623 z późn. zm.) [5].

Poniższy schemat (Rys. 1) w dużym skrócie przedstawia na czym polega etap administracyjno-prawny dla instalacji farmy fotowoltaicznej:



Rys. 1. Działania administracyjno-prawne przy tworzeniu farmy fotowoltaicznej

Źródło: opracowanie własne

3. Uwarunkowania prawne i ekonomiczne rozwoju fotowoltaiki

W Polsce regulacje prawne dotyczące pozyskiwania energii z alternatywnych źródeł energii są obecnie w fazie rozwoju. Sytuacja ta spowodowana jest brakiem spójnej ustawy o Odnawialnych Źródłach Energii (OZE), koniecznej do ustabilizowania sytuacji prawnej i rozwoju rynku odnawialnych źródeł energii. Przygotowanie inwestycji wiążącej się z OZE niesie ze sobą wiele niepewności prawnych i podatkowych. Obowiązujące przepisy dotyczące budowy elektrowni fotowoltaicznych nie są jednoznaczne, jednak można określić, wymagania które inwestor musi spełnić, aby zrealizować inwestycję. Przy budowie instalacji PV należy opierać się na wytycznych formalno-prawnych zawartych w następujących dokumentach:

- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady nr 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych,

Zgodnie z Oceną Skutków Regulacji z dnia 12.11.2013 r. w kwestii wsparcia OZE założono, że rozwój technologii fotowoltaicznej zostanie ograniczony jedynie do mikroinstalacji. Wpływ tej regulacji na: sektor finansów publicznych, w tym budżet państwa i budżety jednostek samorządów terytorialnych w przypadku gdy pominiemy zwiększenie wpływów z tytułu podatku VAT przedstawia tabela 1.

Tabela 1 oraz rysunek 2, prezentują możliwe zwiększenie wpływów do budżetu z tytułu podatku VAT wynikające z inwestycji w mikroinstalacje, które wytwarzają energię elektryczną z odnawialnych źródeł energii. Przedmiotowe dane uwzględniają wzrost mocy zainstalowanej. Z powyższych danych wynika, że w ciągu 5 lat przewidywalny jest wzrost wpływów z tytułu podatku VAT o ok. 60%.

Tabela 1

Prognoza wpływów do budżetu z tytułu podatku VAT związana z rozwojem mikroinstalacji OZE [mln zł]

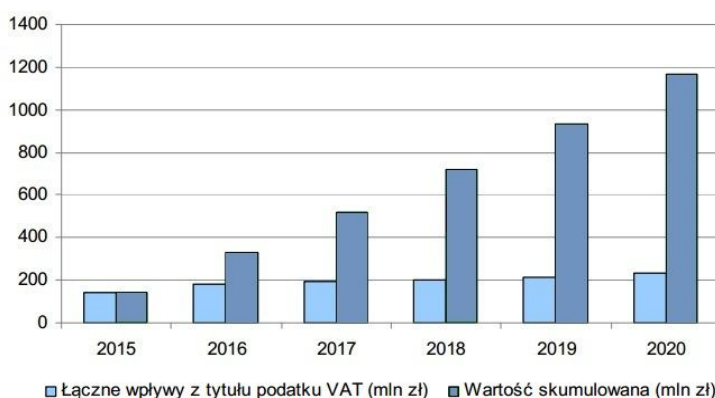
| | Rok | | | | | |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| Łączne wpływy z tytułu podatku VAT (mln zł) | 145,2411 | 182,0907 | 191,2707 | 197,7732 | 214,3296 | 235,7496 |
| Wartość skumulowana (mln zł) | 145,2411 | 327,3318 | 518,6025 | 716,3757 | 930,7053 | 1166,455 |

Źródło: opracowanie Ministerstwa Gospodarki na podstawie założeń

Rządowi zależy na wprowadzeniu jak najtańszego systemu wsparcia dla OZE. Obecnie proponowany system aukcji OZE ma być dużo tańszym systemem. Jednakże prawdopodobnie, nie tylko nie będzie on ani efektywny dla rozwoju różnych technologii o różnej

potrzebę obniżania cen inwestycji, a to w rezultacie pozwala stwierdzić że system aukcyjny nie będzie najtańszym systemem wsparcia.

Główne założenia projektu. Ocenę ekonomiczną przeprowadzono dla projektu instalacji elektrowni fotowoltaicznej, zlokalizowanej na terenie województwa małopolskiego.



Rys. 2. Prognoza wpływów do budżetu z tytułu podatku VAT związana z rozwojem mikroinstalacji OZE [mln zł]

Źródło: opracowanie Ministerstwa Gospodarki na podstawie założeń

skali mocy wytwórczej, ani nie zagwarantuje najniższych kosztów wspierania zielonej energetyki.

Aukcje to z założenia możliwość licytacji. Rozpoczynający inwestorzy mogą złożyć jedną ofertę dotyczącą tego samego systemu, jednak jeśli zaoferują zbyt wysoką cenę z góry tracą jakąkolwiek możliwość wygrania aukcji, dlatego też bardziej odpowiednią nazwą jest system przetargów. Istnieje ryzyko, że aukcja nie wyłoni najniższej ceny realizowania danej inwestycji, dlatego, że wygrać może kilku oferentów, którzy załapali się na zakres mocy i ceny z oferowanej puli. Nietrudno zauważyć, że głównymi beneficjentami będą więksi inwestorzy, którzy mogą pozwolić sobie na podjęcie kilkukrotnego ryzyka wystartowania z najbardziej zaawansowanymi projektami. Dodatkowo może się również pojawiać również manipulacja i wysyłanie wielu ofert przez tych samych inwestorów, którzy stopniowo będą podwyższać cenę na takich aukcjach. Mniejsza konkurencja może nieść za sobą mniejszą

polskiego. Grunt potrzebny pod budowę farmy fotowoltaicznej wynosi 1,5 ha. Całkowita powierzchnia równa jest 10 ha i stanowi zabezpieczeniem kredytu zaciągniętego pod inwestycję (hipoteka). Wartość działki wynosi około 1 000 000 zł. Natomiast kredyt zaciągnięty pod inwestycję to ok. 6 000 000 zł. Instalacja będzie produkować prąd na sprzedaż (typ: *in-grid*). Ze względu na najlepsze osiągi sprawności w stosunku do powierzchni modułu, do produkcji energii wybrano moduły PV wykonane z monokrystalicznego krzemu o mocy 250W. Poniżej została przedstawiona tabela prezentująca warunki meteorologiczne stacji pomiarowej w podkrakowskich Balicach.

Dane zawarte w tabeli potwierdzają, że około 70% rocznego nasłonecznienia przypada na okres wiosenno-letni (kwiecień-wrzesień). Ponadto należy dodać że w każdym rejonie występują okresowe zmiany nasłonecznienia wywołane zjawiskami klimatycznymi takimi jak zachmurzenie czy też zanieczyszczenia powietrza

Dane klimatyczne dla stacji Kraków/Balice

| Miesiąc | Temp. powietrza °C | Wilgot. względna % | Dzienn. prom. słon. poziom. kWh/m ² /d | Ciśnien. atmosf. kPs | Pręd. wiatru m/d | Temp. gruntu °C |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--|-------------------------|---------------------|--------------------|
| Styczeń | -2,4 | 83,6 | 1,02 | 98,2 | 3 | -4,3 |
| Luty | -1 | 80,1 | 1,77 | 98,1 | 3,1 | -2,9 |
| Marzec | 3 | 76,6 | 2,75 | 98 | 3,2 | 2 |
| Kwiecień | 8,5 | 71,3 | 3,73 | 97,8 | 2,8 | 8,9 |
| Maj | 14,1 | 70,8 | 4,9 | 97,9 | 2,5 | 15,1 |
| Czerwiec | 16,7 | 73,9 | 4,77 | 97,9 | 2,5 | 18,1 |
| Lipiec | 18,8 | 74,4 | 4,85 | 98 | 2,2 | 20,7 |
| Sierpień | 18,2 | 75,9 | 4,35 | 98 | 2,1 | 20,5 |
| Wrzesień | 13,5 | 80,4 | 2,96 | 98 | 2,3 | 14,6 |
| Październik | 8,8 | 82,7 | 1,77 | 98,2 | 2,3 | 8,4 |
| Listopad | 3,2 | 86,4 | 1 | 98,1 | 2,7 | 1,5 |
| Grudzień | -0,8 | 86,5 | 0,79 | 98,2 | 2,9 | -3,3 |
| Rocznie | 8,4 | 78,5 | 2,9 | 98 | 2,6 | 8,3 |

Źródło: opracowanie własne na podstawie RetScreen 4

(np. przez przemysł). Ogólnie w Polsce roczna średnia suma nasłonecznienia wynosi 1600 godzin.

Optymalnym rozwiązaniem dla farm fotowoltaicznych lokowanych na terenie województwa małopolskiego, jest opracowanie projektu w którym wszystkie panele są skierowane azymutalnie na południe – powoduje to wzrost rocznej sumy pochłoniętego promieniowania o 20% w porównaniu do instalacji stacjonarnej dodatkowo nie niesie za sobą ponoszenia przez inwestora dodatkowych kosztów inwestycyjnych. W przypadku instalacji całorocznych kąt nachylenia modułów powinien wynosić 40°–45°.

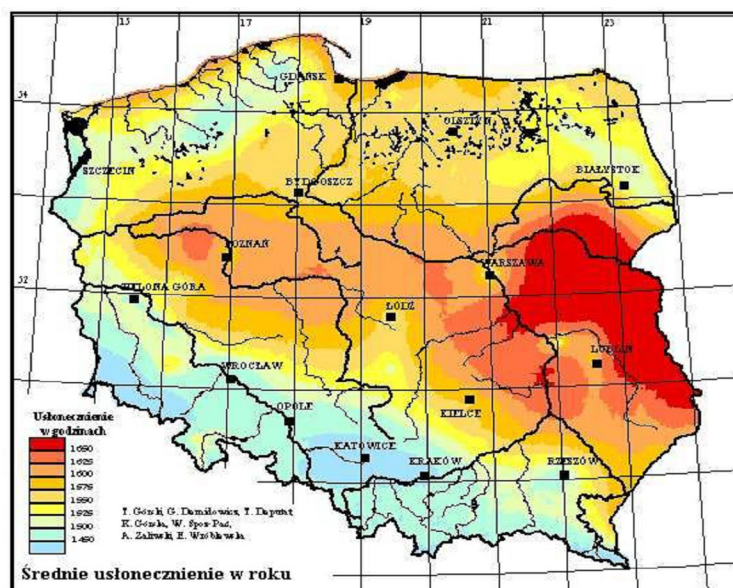
Wszystkie obliczenia oraz dobór urządzeń przeprowadzone zostały za pomocą oprogramowania PVsyst V6.12 oraz RETScreen 4

Zaprojektowany system PV składa się z 4000 modułów fotowoltaicznych o wymiarach 1600x1056 mm,

mocy 250 W i napięciu 25V. Ogniwa zbudowane z monokrystalicznego krzemu, mają wydajność elektryczną równą 16% (wydajność modułu 14,2%). Wydajność cieplna wynosi 35% dla powietrza oraz 35% dla wody (70% dla wody, gdy powietrze nie jest używane do odbioru ciepła od modułu PV). Producentem hybrydowych kolektorów jest chińska firma Hanwha Q CellsQ PRO G3 250

Przykładowy układ rozproszony składa się z 34 falowników trójfazowych przypadających na 1 MW mocy elektrowni Ich sprawność osiąga 98,2%. Urządzenia posiadają zabezpieczenie pasm, wysoką klasyfikację ochrony, wbudowane zabezpieczenia przeciwprzepięciowe, monitorowanie sieci oraz graficzny wyświetlacz. Moc wyjściowa wynosi AC 30000 W.

Poniższa symulacja została przeprowadzona przy wykorzystaniu programu PVsyst v6.12. Przedstawia



Rys. 3. Średnie usłonecznienie w Polsce, godziny/rok

Źródło: Zakład Agrometeorologii i Zastosowań Informatyki

ona produktywność systemu fotowoltaicznego nastawionego na produkcję energii elektrycznej na sprzedaż. Zestawienie parametrów pracy układu przy zadanych warunkach atmosferycznych zostało przedstawione w tabeli poniżej.

Drugi wykres (Rys. 5) obrazuje natomiast kształtowanie się współczynnika wydajności PR w poszczególnych miesiącach. Przedstawia znormalizowaną produkcję energii, biorąc pod uwagę współczynnik wydajności. Ukazuje on, że efektywność modułów PV

Tabela 4

Wyniki przeprowadzonej symulacji PV

| Produktywność systemu | |
|---|---------------------------|
| Całkowite napromieniowanie na powierzchni poziomą | 1001.2 kWh/m ² |
| Całkowita wydajność skorygowana współczynnik- IAM | 1074 kWh/m ² |
| Temperatura otoczenia | 8.5 °C |
| Wynik przeniesienia promieniowania z poziomej płaszczyzny tablicy | 1146 kWh/m ² |
| Efektywna energia na wyjściu z układu | 987 MWh |
| Energia wchodząca do układu | 952 MWh |
| Efektywność | |
| Efektywność układu na powierzchni | 12.9 % |
| Efektywność systemu na powierzchni | 12.4 % |

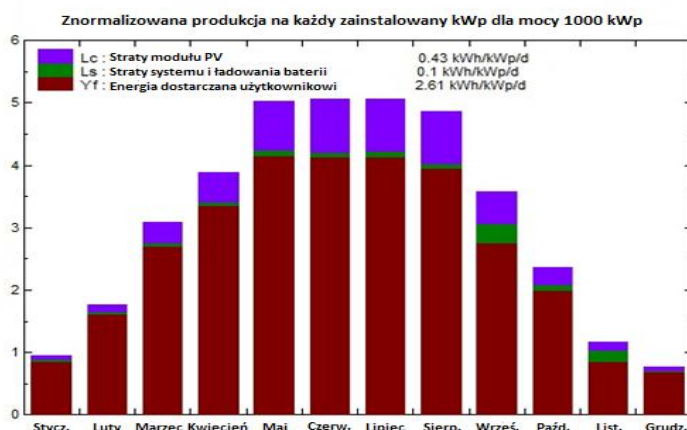
Źródło: opracowanie własne na podstawie PVsyst v6.12

Tabela ukazuje możliwości produktywności analizowanego systemu w cyklu całorocznym. Współczynnik przekształcenia energii jest na zadowalającym poziomie i wynosi 59,3%. Straty wynikające z obciążenia systemu wynoszą 36,5%.

Wykres na rys. 4 prezentuje wyniki znormalizowanej produkcji energii elektrycznej uzyskanej z modułów fotowoltaicznych. W zależności od nasłonecznienia występującego w konkretnym miesiącu można zauważyć, że energia która jest dostarczana użytkownikowi rośnie. Dodatkowo większa ilość dostarczonej energii niesie za sobą proporcjonalnie wyższe straty wykorzystania modułu PV.

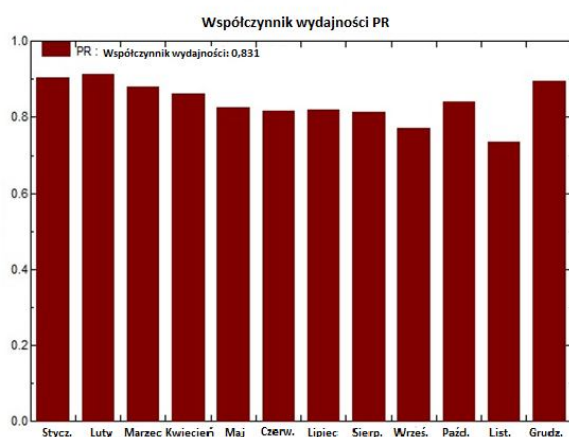
kształtuje się na zrównoważonym poziomie. Im niższe straty wykorzystania modułów fotowoltaicznych tym współczynnik wydajności jest wyższy. W warunkach STC (ang. *Standard Test Conditions*¹) wydajność ogniw monokrystalicznych wynosi 15,15%. Powyższy schemat pokazuje, że największy procent strat powstaje z momencie gdy system osiąga maksymalną moc MPP (z ang. *Maximum Power Point*) – 4,7%. W ciągu roku zapotrzebowanie na energię osiągnęło poziom 952 MWh.

Poniższa tabela 5 przedstawia zestawienie wyników symulacji dla każdego miesiąca. Możliwie najkorzystniejsze wartości są uzyskiwane w okresie letnim.



Rys. 4. Wykres znormalizowanej produkcji (każdy kWp) dla mocy 1000kWp

Źródło: PVsyst v6.12



Rys. 5. Wykres znormalizowanej produkcji (każdy kWp) dla mocy 1000kWp

Źródło: PVsyst v6.12

Struktura nakładów inwestycyjnych. Jeśli chodzi o wartość kosztów przygotowania oraz prac projektowych związanych z tworzeniem dokumentacji technicznej, to zostały one przyjęte z dolnego zakresu cen rynkowych na poziomie 70 000 PLN/1MW. Widełki cenowe w jakich mieści się koszt takiego nakładu wynoszą od 70 000 PLN do 150 000 PLN/1 MW mocy projektowanej farmy fotowoltaicznej. Stanowi to ok. 1% wartości planowanej inwestycji.

Z doświadczeń projektantów wynika, że profesjonalne prowadzenie procesu doboru wykonawców i dostawców zmniejsza ryzyko odchylenia od harmonogramu na etapie budowy. Prace te powinny być zlecane przez inwestorów tylko i wyłącznie przedsiębiorstwom posiadającym możliwości techniczne oraz organizacyjne do zarządzania projektem realizacji farmy foto-

woltaicznej. Projekt ten zakłada, że zaplecze wykonawcy pozwala na obsłużenie inwestycji tego typu od początku do końca.

Legenda:

Cał. napr. – Całkowite napromieniowanie na powierzchnię poziomą.

Cał. wyd. – Całkowita wydajność skorygowana współczynnikiem IAM.

Temp. otocz. – Temperatura otoczenia.

Wynik przen. – Wynik przeniesienia promieniowania z poziomej płaszczyzny tablicy.

Energ. wych. – Efektywna energia na wyjściu z układu.

Energ. wejść. – Energia wchodząca do układu.

Efekt. syst. – Efektywność układu na powierzchni.

Efekt. ukł. – Efektywność systemu na powierzchni.

Tabela 5

Zestawienie wyników dla poszczególnych miesięcy

| | Cał. napr. | Cał. wyd. | Temp. otocz. | Wynik przen. | Energ. wych. | Energ. wejść. | Efekt. syst. | Efekt. ukł. |
|-------------|--------------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|---------------|--------------|-------------|
| | kWh/m ² | kWh/m ² | C | kWh/m ² | MWh | MWh | % | % |
| Styczeń | 18 | 27,6 | -1,99 | 29,5 | 27,5 | 26,7 | 13,97 | 13,54 |
| Luty | 32,5 | 46,5 | -0,49 | 49,4 | 46,2 | 45,1 | 14 | 13,65 |
| Marzec | 70,8 | 89,9 | 2,31 | 95,5 | 85,8 | 84 | 13,46 | 13,16 |
| Kwiecień | 104 | 109,1 | 8,71 | 116,5 | 102,6 | 100,5 | 13,19 | 12,92 |
| Maj | 153,7 | 145,9 | 14,51 | 155,9 | 131,5 | 128,9 | 12,62 | 12,37 |
| Czerwiec | 158,3 | 141,8 | 16,91 | 151,8 | 126,6 | 124 | 12,48 | 12,23 |
| Lipiec | 158,8 | 146,9 | 18,91 | 157 | 131 | 128,4 | 12,49 | 12,25 |
| Sierpień | 137 | 141,1 | 18,61 | 150,5 | 125 | 122,6 | 12,43 | 12,19 |
| Wrzesień | 85 | 100,9 | 13,41 | 107,4 | 92,2 | 82,9 | 12,86 | 11,55 |
| Październik | 50,1 | 69,2 | 8,61 | 73,5 | 64,9 | 61,9 | 13,23 | 12,6 |
| Listopad | 20,3 | 32,6 | 3,31 | 34,8 | 31,4 | 25,6 | 13,5 | 10,99 |
| Grudzień | 12,7 | 22,2 | -1,39 | 23,9 | 22,1 | 21,4 | 13,86 | 13,41 |
| Rocznie | 1001,2 | 1073,7 | 8,5 | 1145,7 | 986,8 | 952 | 12,44 | 12,9 |

Źródło: opracowanie własne na podstawie: PVsyst v6.12

¹ STC - Ustandaryzowane warunki testu (natęż. prom. 1000 W/m², temp. ogniwo 25°C, spektrum. prom. 1,5AM).

Struktura nakładów inwestycyjnych

| L.p. | Nakłady | Sztuk | Cena jednostkowa | Wartość |
|--------------------|--|---------|------------------|-----------------|
| 1 | Moduły fotowoltaiczne | 4000 | 617,50 zł | 2 470 000,00 zł |
| 2 | Inwertery 20 kW | 23 | 10 300,00 zł | 350 200,00 zł |
| 3 | Konstrukcja naziemna | 1000 kW | 800,00 zł | 800 000,00 zł |
| 4 | Okablowanie | 1000 kW | 100,00 zł | 100 000,00 zł |
| 5 | Zabezpieczenia przepięciowe | Całość | 50 000,00 zł | 50 000,00 zł |
| 6 | Przylącze | Całość | 550 000,00 zł | 550 000,00 zł |
| 7 | Zabezpieczenie (monitoring) | Całość | 94 640,00 zł | 94 640,00 zł |
| 8 | Obsługa projektu (analizy, projekty, wnioski, administracja, finansowanie) | Całość | 70 000,00 zł | 70 000,00 zł |
| <u>Cena netto</u> | | | | 4 258 240,00 zł |
| <u>Cena brutto</u> | | | | 5 088 832,60 zł |

Powyższa kalkulacja została wykonana na potrzeby przedstawianego w projekcie tematu, aby precyzyjnie dokonać wyceny inwestorskiej konieczne należy oprzeć się na wytypowanej powierzchni pod lokalizację farmy fotowoltaicznej i przeprowadzić niezbędną analizę na etapie przedrealizacyjnym. Tabela ukazuje koszty wykonawstwa projektu. Rozwiązania związane z realizacją podyktowane były przede wszystkim maksymalizacją zysku inwestora oraz dostarczeniem rozwiązania w najlepszej cenie, która zawiera: montaż paneli fotowoltaicznych na konstrukcji naziemnej, kompletne połączenie paneli z inwerterami, inwerterów do jednostki licznikowej, montaż konstrukcji naziemnej (wbijany maszynowo w grunt), montaż okablowania DC łączącego panele z inwerterem, montaż zabezpieczeń przepięciowych, całkowity nadzór na całym etapie od projektu do końcowego podłączenia i produkcji energii.

Struktura kosztów eksploatacyjnych. W pierwszym roku pracy farmy fotowoltaicznej pojawiają się koszty eksploatacyjne. Poniższa kalkulacja została oparta o średniorynkowe ceny uzyskane po analizie rynku (koszty eksploatacyjne oraz serwisowe). Główne koszty związane z eksploatacją to koszty monitoringu oraz konserwacji. Są to dwa czynniki mające najistotniejszy wpływ na koszty w cyklu rocznym. Jeśli chodzi o koszty bilansowania energii to wzrastają wraz z jej ceną. Dodatkowo integralną część umowy przyłączeniowej stanowią czynności eksploatacyjne w zakresie energetycznym które są wydawane przez operatora sieci inwestorowi w formie instrukcji ruchu i eksploatacji. Dzięki instrukcji można przewidzieć ilość cyklicznych czynności związanych z utrzymaniem ruchu farmy fotowoltaicznej.

Ocena ekonomiczna projektu. Dla oszacowania kosztów związanych z planowaniem instalacji systemu PV, konieczne jest określenie bieżących cen energii elektrycznej pochodzącej z węgla oraz cen „zielonego certyfikatu”. Ważne jest także określenie uwarunkowań dotyczących kredytu zaciągniętego pod hipotekę.

Inwestycja w budowę instalacji systemu PV będzie uwzględniać poniższe założenia:

- czas użytkowania instalacji – 10 lat;
- zmiana cen energii z OZE – 4% rocznie (+);
- podatek VAT od urzędzeń – 23%;
- amortyzacja liniowa – 7%/rok;
- udział wkładu własnego – 0%;
- udział wkładu obcego– 100% (pożyczka inwestycyjna z NFOŚiGW, 4%/rok, zmiana nie więcej niż 0,5% od stopy redyskonta weksli);
- okres spłaty – 10 lat (2 pierwsze lata, okres karencji);
- stopa inflacji – 2 %;
- stopa dyskontowa- 7,84 %;
- liniowy spadek sprawności modułów na poziomie - 0,8 %/rok;
- bezawaryjna praca

Tabela 7

Struktura kosztów eksploatacyjnych

| | |
|--|----------------|
| Monitoring pracy farmy fotowoltaicznej | 500 zł / m-c |
| Konserwacja | 2 000 zł / m-c |
| <u>Cena netto</u> | 2 500 zł |
| <u>Cena brutto</u> | 3 075 zł |

Do obliczenia dochodu z produkcji, potrzebne są informacje na temat cen energii za 1 MWh. Dane te zostały pobrane z cennika dostawcy energii elektrycznej. Dodatkowo wykorzystano roczny wzrost cen, który został przyjęty na poziomie 4%, natomiast wartość produkowanej energii została zaczerpnięta z wcześniejszych obliczeń.

Tabela 8

Przychody z produkcji

| Lata | Cena za 1kWh [zł] | Wzrost cen/ rok [%] | Cena za 1MWh [zł] | Produkowana energia [MWh] | Dochód z produkcji [zł] |
|------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------------|-------------------------|
| 1 | 0,55 | 0,04 | 550,00 | 966,00 | Dochód z produkcji [zł] |
| 2 | 0,57 | 0,04 | 572,00 | 958,27 | 531 300,00 |
| 3 | 0,59 | 0,04 | 594,88 | 950,61 | 548 131,58 |
| 4 | 0,62 | 0,04 | 618,68 | 943,00 | 565 496,39 |
| 5 | 0,64 | 0,04 | 643,42 | 935,46 | 583 411,32 |
| 6 | 0,67 | 0,04 | 669,16 | 927,97 | 601 893,79 |
| 7 | 0,70 | 0,04 | 695,93 | 920,55 | 620 961,78 |
| 8 | 0,72 | 0,04 | 723,76 | 913,19 | 640 633,85 |
| 9 | 0,75 | 0,04 | 752,71 | 905,88 | 660 929,13 |
| 10 | 0,78 | 0,04 | 782,82 | 898,63 | 681 867,37 |

Źródło: opracowanie własne

Dane tabeli 9 ukazują że dopiero po 10 latach przychody ze sprzedaży energii z OZE zbliżają się do kwoty poniesionej na inwestycje. Ponieważ okres

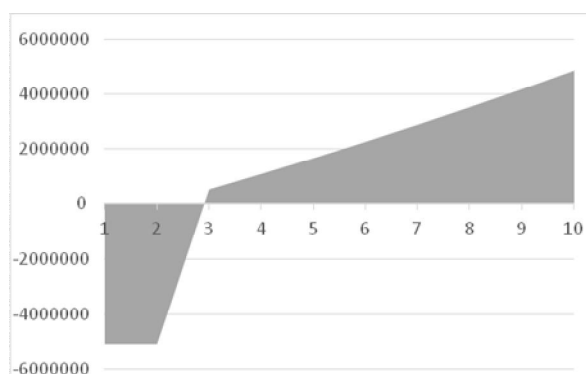
użytkowania instalacji fotowoltaicznej wynosi 10 lat, należy stwierdzić, że inwestycja ta bez wsparcia ze strony rządu jest całkowicie nieopłacalna.

Tabela 9

Przepływy pieniężne oraz skumulowana wartość spłaty kredytu

| Początkowy koszt inwestycji | Lata | Przepływy pieniężne | Skumulowana wartość spłaty |
|-----------------------------|------|---------------------|----------------------------|
| 5091907,60 | 1 | 531 300,00 | |
| | 2 | 548 131,58 | |
| | 3 | 565 496,39 | 531 300,00 |
| | 4 | 583 411,32 | 1 096 796,39 |
| | 5 | 601 893,79 | 1 680 207,71 |
| | 6 | 620 961,78 | 2 282 101,50 |
| | 7 | 640 633,85 | 2 903 063,28 |
| | 8 | 660 929,13 | 3 543 697,13 |
| | 9 | 681 867,37 | 4 204 626,26 |
| | 10 | 703 468,93 | 4 886 493,63 |
| | 11 | 725 754,82 | 5 589 962,56 |
| | 12 | 748 746,74 | 6 315 717,38 |

Źródło: opracowanie własne



Rys. 6. Wykres skumulowanych przepływów pieniężnych

Źródło: opracowanie własne

Wykres na Rys. 6 przedstawia skumulowane przepływy pieniężne. Potwierdza on fakt, że dopiero po 10 latach inwestycji zaczyna ona pokrywać wszystkie koszty, zarówno inwestycyjne jak i eksploatacyjne.

Wskaźniki ekonomiczne inwestycji. Stopa dyskonta – jest to procentowa wartość określająca poziom zrzeczenia się przyszłych środków finansowych na

NPV opisujemy wzorem:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I$$

gdzie: CF - przepływy pieniężne netto, r - stopa dyskonta, I - nakłady inwestycyjne, t - kolejne okresy inwestycji.

Tabela 10

Wartość bieżąca netto

| Lata | Nakłady inwestycyjne | Przepływy pieniężne | Stopa dyskontowa | NPV |
|------|----------------------|---------------------|------------------|--------------------|
| 1 | 5091907,60 | 531300,00 | 7,84% | -4599233,27 |
| 2 | | 548131,58 | | 471329,981 |
| 3 | | 565496,39 | | 450910,345 |
| 4 | | 583411,32 | | 431375,36 |
| 5 | | 601893,79 | | 412686,694 |
| 6 | | 620961,78 | | 394807,683 |
| 7 | | 640633,85 | | 377703,255 |
| 8 | | 660929,13 | | 361339,85 |
| 9 | | 681867,37 | | 345685,367 |
| 10 | | 703468,93 | | 330709,087 |
| | | | <u>Łącznie</u> | <u>-1022685,65</u> |

Źródło: opracowanie własne

rzecz aktualnie dostępnych środków. Wskaźnik ten odzwierciedla zmianę wartości pieniądza w czasie, czyli sprowadza przyszły kapitał do kapitału bieżącego. Inaczej mówiąc, stopa dyskonta informuje o jaki procent jesteśmy skłonni pomniejszyć przyszły kapitał, aby zamienić go na środki bieżące.

Jest to stosunek kwoty dyskonta do wartości przyszłej kapitału, wyrażony w procentach.

$$r = \frac{FV - PV}{FV} * 100$$

$$r = \frac{5492004,582 - 5091908}{5492004,582} * 100\% = 0,0784 * 100\% = 7,84\%$$

gdzie: r - stopa dyskonta, FV – przyszła wartość kapitału, a PV – bieżąca wartość kapitału.

Zatem kolejnym elementem użytym do poniższych kalkulacji jest realna stopa dyskontowa kredytu przy inflacji na poziomie 2%, która wynosi w przypadku naszego projektu jest równa 9,1 %

Wartość bieżąca netto (ang. *Net Present Value*-NPV) - jest to wartość netto przyszłych przepływów pieniężnych wynikających z inwestycji z uwzględnieniem utraty wartości pieniądza w czasie. Przepływy pieniężne mogą być zarówno dodatnia jak i ujemne. Inaczej mówiąc NPV przedstawia wartość przyszłych strumieni pieniężnych w kategoriach dzisiejszych pieniędzy. Wartość bieżąca netto obok IRR jest metodą pomocną przy podejmowaniu decyzji dotyczących wydatków inwestycyjnych.

Wewnętrzna stopa zwrotu (ang. *Internal Rate of Return* - IRR) – jest to miernik finansowy pozwalający oszacować rentowność inwestycji. Wskaźnik ten przedstawia rzeczywistą stopę zysku z przedsięwzięcia. Zatem, IRR to stopa procentowa, przy której zostaje osiągnięty próg rentowności.

IRR opisujemy wzorem:

$$\sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0$$

gdzie: CF – przepływy pieniężne netto, r – stopa dyskonta, I₀ – nakłady początkowe, t – kolejne okresy inwestycji.

Dla naszego projektu wewnętrzna stopa zwrotu (IRR) wynosi **11,87%**.

4. Wnioski

W przypadku analizowanej inwestycji okres jej zwrotu wynosi ok.10 lat licząc od momentu zakończenia realizacji. Projekt farmy fotowoltaicznej nie jest obarczony wysokim ryzykiem, ze względu na ponoszenie większości kosztów w trakcie realizacji inwestycji, która trwa około roku. Zakłada się że projekt tego typu powinien kosztować inwestora około 5 009 000,00zł, w ciągu pierwszego roku. Pieniądze te są potrzebne przede wszystkim na zabezpieczenie prawa do gruntów oraz wykonanie kompleksowych pomiarów oraz analiz przedstawiających możliwości produkcji energii elektrycznej na danym terenie. Analizo-

wany przypadek farmy fotowoltaicznej o mocy 1 MW przedstawia jak ważna jest całkowita moc farmy w aspekcie kosztów jednostkowych poszczególnych elementów robót.

Trzeba pamiętać aby wziąć pod uwagę wszystkie czynniki wchodzące w skład analizy procesu inwestycyjnego gdyż zwiększa to prawdopodobieństwo że projekt zostanie od odpowiednio zrealizowany a przy tym osiągnie odpowiednią efektywność. Największa efektywność projektu jest możliwa w przypadku znalezienia odpowiedniego inwestora posiadającego wiedzę i doświadczenie w zakresie realizacji farm fotowoltaicznych. Dość skomplikowany proces projektowy, którego łączne koszty stanowią ok. 1% wartości inwestycji, jest bardzo często najmniejszym kosztem jaki inwestor mógł ponieść przy projekcie, którego realizowanie nie byłoby efektywne z ekonomicznego punktu widzenia.

Trafność analizy zależy głównie od poprawnie wykonanych pomiarów nasłonecznienia, ukształtowania danego terenu oraz możliwość przyłącza aby ostatecznie zminimalizować koszty które ponosi inwestor oraz zmaksymalizować zyski. Następnie bardzo ważnym elementem jest sam projekt farmy fotowoltaicznej, który będzie zawierał odpowiednio dobrany sprzęt i optymalne ustawienie modułów fotowoltaicznych.

W kwestii cen projektów inwestycyjnych, należy poruszyć tematykę cen rynkowych, które w zależności od poziomu zaawansowania są coraz to wyższe. Inwestorzy zajmujący się tworzeniem farm fotowoltaicznych powinni nastawić się na ewentualne korekty cen w zależności od fazy rozwoju projektu. Wiąże się do głównie ze wzrostem kapitału obcego oraz dużo większą trudnością w jego pozyskiwaniu.

Realizacja projektu farmy fotowoltaicznej niesie za sobą szereg korzyści. Brak ingerencji w środowisko, chodzi tutaj głównie o brak hałasu. Niestety bez pomocy rządu inwestycja ta staje się kompletnie nieopłacalna.

BIBLIOGRAFIA

1. Klugmann-Radziemska E. Fotowoltaika w teorii i praktyce. — Legionowo: Wydawnictwo BTC, 2010.
2. Kotowski W. Z kolektora słonecznego. Ciepło i prąd jednocześnie. — Energia Gigawat, 2010.
3. Pluta Z. Słoneczne instalacje energetyczne. — Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2003.
4. Klugmann-Radziemska E. Odnawialne źródła energii — przykłady obliczeniowe. — Gdańsk: Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 2009.
5. Zimny J. Odnawialne źródła energii w budownictwie niskoenergetycznym. — Kraków: Wydawnictwo Naukowo Techniczne, 2010.
6. Tytko R. Odnawialne Źródła Energii – Wybrane zagadnienia. Wydanie Czwarte. — Kraków, 2012.
7. globenergia.pl
8. solartechnology.pl
9. enis-pv.com
10. praze.pl
11. inzynierpv.pl
12. gramwzielone.pl
13. pro-sun.pl
14. sejm.gov.pl
15. planenergy.eu/ogniwa-typu-perlpert
16. pvportal.pl/
17. Instytut Energetyki Odnawialnej, ieo.pl