

kwasy cynamonowe i jego pochodne do ochrony obiektów wykonanych z metali i stopów, np. cynku, miedzi, brązu, mosiądzu, czy stali.

Literatura

[1] Kobus J., Lutze R., 2016, Ocena ekonomicznych skutków korozji metodą kosztów cyklu życia z zastosowaniem monitoringu korozyjnego, *Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe* 6, 210-215.

[2] Alotaibi M.D., Mckinley A.J., Patterson B.M., Reeder A.Y., 2015, Benzotriazoles in the Aquatic Environment: A Review of Their Occurrence, Toxicity, Degradation and Analysis, *Water, Air & Soil Pollution* 226, 226.

[3] Surowska B., Wybrane zagadnienia z korozji i ochrony przed korozją, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2002.

[4] Wranglen G., Podstawy korozji i ochrony metali, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1985.

[5] Zhou Y., Wei Z., Zhi H., Wang Y., Yao X., 2022, Eco-friendly Ginkgo Leaf Extract as a Green Corrosion Inhibitor to Protect N80 Steel in 1 M HCl, *International Journal of Electrochemical Science* 17, 220956.

[6] Miralrio A., Vazquez A.E., 2020, Plant Extracts as Green Corrosion Inhibitors for Different Metal Surfaces and Corrosive Media: A Review, *Processes* 8, 942.

[7] Fazal B.R., Becker T., Kinsella B., Lepkova K., 2022, A review of plant extracts as green corrosion inhibitors for CO₂ corrosion of carbon steel, *NPI Materials Degradation* 5, 1-14.

[8] Marzorati S., Verotta L., Trasatti S.P., 2019, Green corrosion inhibitors from natural sources and biomass wastes, *Molecules* 24,48.

[9] Abdullah H.A., Anaee R.A., Khadom A.A., Abd Ali A.T., Malik A.H., Kadhim M.M., 2023, Experimental and theoretical assessments of the chamomile flower extract as a green corrosion inhibitor for aluminum in artificial seawater, *Results in Chemistry* 6, 101035.

[10] Merck – informacje na temat produktów, <https://www.sigmaaldrich.com/PL/pl> (Data dostępu: 15.11.2023).

[11] Aquino-Torres E., Camacho-Mendoza R.L., Gutierrez E., Rodriguez J.A., Feria L., Thangarasu P., Cruz-Borbolla J., 2020, The influence of iodide in corrosion inhibition by organic compounds on carbon steel: Theoretical and experimental studies, *Applied Surface Science* 514, 145928.

[12] Roncevic I.S., Vladislavic N., Buzuk M., Buljac M., Podrug M., 2021, The effect of coumaric acid on corrosion of iron, *Current Topics in Electrochemistry* 23, 11-24.

[13] de Souza F.S., Spinelli A., 2009, Caffeic acid as a green corrosion inhibitor for mild steel, *Corrosion Science* 51, 642-649.

[14] Abdel-Gaber A.M., Ezzat A., Mohamed M.E., 2022, Fenu-greek seed and cape gooseberry leaf extracts as green corrosion inhibitors for steel in the phosphoric acid industry, *Scientific Reports* 12, 22251.

[15] Scholl H., Błaszczuk T., Krzyczmonik P., *Elektrochemia. Zarys teorii i praktyki*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 1998.

[16] Autolab Application Note COR09, 2015, Electrochemical impedance spectroscopy of three coated aluminum samples, MetrohM Autolab B.V.

Albert Berent, Andrzej Żarczyński

e-mail: 231343@edu.p.lodz.pl; andrzej.zarczyński@p.lodz.pl

Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka

Wstępny projekt instalacji energetycznej PV o mocy 10 MW na obrzeżu Łodzi – aspekty techniczne, lokalizacyjne, ekonomiczne i ekologiczne

Wprowadzenie

Na przestrzeni ostatnich trzydziestu lat na świecie znaczną popularność zyskały instalacje fotowoltaiczne (PV) – zarówno wśród prywatnych odbiorców jak i przedsiębiorców, głównie za sprawą osiąganych korzyści energetycznych, a jednocześnie finansowych [1-6]. W wielu krajach pracują także elektrownie (farmy) fotowoltaiczne [1, 3, 6, 7]. Stosunek ceny instalacji PV do ilości wytwarzanej energii czyni energię słoneczną konkurencyjną w porównaniu do trady-

cyjnych źródeł energii. Z literatury wynika, że w przyszłości energetyka słoneczna może stać się znaczącą alternatywą dla paliw kopalnych nie tylko zagranicą, ale i w Polsce [4, 8, 9].

Udział energii ze źródeł odnawialnych w pozyskaniu energii pierwotnej w Polsce ogółem wzrósł w latach 2015-2019 z 13,25 do 15,96%. Struktura pozyskania energii ze źródeł odnawialnych dla Polski wynika przede wszystkim z charakterystycznych dla naszego kraju warunków geo-



graficznych i możliwych do zagospodarowania zasobów. Energia pozyskiwana ze źródeł odnawialnych w Polsce w 2019 r. pochodziła z biopaliw stałych (65,56%), energii wiatru (13,72%) i z biopaliw ciekłych (10,36%). Łączna wartość energetyczna pozyskanej energii pierwotnej ze źródeł odnawialnych w Polsce w 2019 r. wyniosła 396 498 TJ [3].

Cel pracy

Zasadniczym celem pracy był wybór lokalizacji i wstępne zaprojektowanie na obrzeżu Łodzi energetycznej instalacji fotowoltaicznej (PV) o mocy 10 MW [9, 10].

Założenia technologiczne projektowania energetycznej instalacji fotowoltaicznej

Zanim znajdziemy odpowiednią lokalizację musimy omówić założenia technologiczne oraz aspekty prawne instalacji PV o mocy 10 MW. W przypadku tego typu instalacji, z racji zadeklarowanej mocy nominalnej, mówimy już o elektrowniach słonecznych. Budowa tego typu instalacji jest procesem czasochłonnym i wymaga uwzględnienia wielu formalności oraz uzyskania odpowiednich dokumentów i zgód urzędowych. Dla zobrazowania procesu budowy energetycznej instalacji PV (farmy PV) należy podzielić go na pięć etapów [9].

ETAP I – Koncepcja

Etap ten obejmuje:

- podpisanie umowy, wraz ze wszystkimi niezbędnymi załącznikami pomiędzy zleceniodawcą a zleceniobiorcą (inwestorem);
- zakup oraz dostarczenie map ewidencyjnych w wersji papierowej i elektronicznej;
- opracowanie projektu koncepcji umiejscowienia elektrowni oraz określenie powierzchni zabudowy i wstępnej mocy dla przewidywanych paneli;
- wstępne badanie możliwości i miejsca realizacji podłączenia do sieci.

Pod koniec tego etapu tworzona jest koncepcja wykonawcza projektu, w której są zawarte wszystkie założenia planowanej instalacji – musi być ona zatwierdzona przez inwestora.

ETAP II – Środowisko

Jest to jeden z ważniejszych aspektów całego przedsięwzięcia, gdyż mówimy tutaj o jednym ze źródeł odnawialnej energii. Etap ten obejmuje:

- opracowanie charakterystyki i uzgodnienie zakresu dokumentacji – w tym wstępny dobór typu i mocy paneli, inwerterów, stacji transformatorowej oraz spo-

sobu i drogi przyłączenia do sieci operatora systemu dystrybucyjnego (OSD);

- opracowanie Karty Informacyjnej Przedsięwzięcia (KIP);
- opracowanie projektu inwestycji wraz z oznaczeniem strefy buforowej dla inwestycji;
- przygotowanie i złożenie wniosku o wydanie decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach inwestycji wraz z dokumentacją wskazaną we wniosku.

Na koniec tego etapu wydawana jest decyzja środowiskowa przez Urząd Gminy. Może być to etap również czasochłonny, gdyż Urząd Gminy ma 30 dni na ustosunkowanie się do wniosku.

ETAP III – Warunki zabudowy

Etap ten obejmuje w głównej mierze:

- przygotowanie planu zagospodarowania terenu dla planowanej inwestycji z uwzględnieniem zapisów decyzji środowiskowej;
- opracowanie i złożenie wniosku o uzyskanie warunków zabudowy dla projektowanej inwestycji.

Etap ten kończy się decyzją o warunkach zabudowy, wydawaną przez Urząd Gminy z uwzględnieniem dwóch tygodni na uprawomocnienie.

ETAP IV – Warunki przyłączenia do sieci

Etap ten obejmuje:

- przygotowanie i wstępne uzgodnienie projektu energetycznego dla inwestycji;
- opracowanie i skompletowanie dokumentacji poszczególnych, podstawowych składników inwestycji – karty produktów, tabele harmoniczne inwerterów, dobór typu stacji transformatorowej;
- obliczenie, przygotowanie i złożenie wniosku wraz z załącznikami o wydanie warunków przyłączenia dla inwestycji.

Na koniec tego etapu otrzymuje się decyzję o warunkach przyłączenia, którą wydaje Operator Sieci Dystrybucji.

ETAP V – Projekty

Etap ten obejmuje:

- przeprowadzenie badań i opracowanie wytycznych dla projektu budowlanego elektrowni fotowoltaicznej w oparciu o uzyskane warunki zabudowy i warunki przyłączenia;
- opracowanie projektu energetycznego;
- opracowanie wniosku (wraz z załącznikami) o zatwierdzenie projektu i wydanie decyzji o pozwoleniu na budowę [9].

Etap ten jest zakończony wydaniem decyzji o pozwoleniu na budowę. Decyzja ta wydawana jest przez Starostwo Powiatowe.

Dopiero po spełnieniu tych wszystkich formalnych założeń można przejść do etapu budowy. Dodatkowo ze względu na wysokie koszty inwestycyjne, zdecydowanie bardziej opłacalne będzie podzielić budowę farmy fotowoltaicznej na 10 etapów (elementów składowych) każdy o mocy 1 MW, połączonych ze sobą odpowiednią infrastrukturą techniczną. Do budowy będziemy potrzebować następujących elementów:

- konstrukcji wsporczych do montażu paneli fotowoltaicznych;
- paneli fotowoltaicznych o mocy sumarycznej 10 MW;
- string-box'ów;
- inwerterów – jeden na każdy rząd paneli;
- rozdzielni elektrycznych – strony DC oraz AC;
- okablowania prądu stałego DC oraz prądu przemiennego AC;
- urządzeń ochrony przeciwpożarowej, przetężeniowej, zwarciowej i przepięciowej;
- instalacji uziemiającej;
- układów pomiarowych;
- stacji transformatorowej.

Ponadto będą jeszcze potrzebne systemy monitoringu i komunikacji elektrowni fotowoltaicznej oraz systemy monitoringu CCTV (kamery) wraz z czujnikami ruchu i ogrodzeniem. Teren będzie ogrodzony według wytycznych ujętych w KIP. Rzędy będą oddalone od siebie o 5 metrów i ustawione w kierunku południowym [9].

Konstrukcje wsporcze

Panele fotowoltaiczne będą umieszczone na stałej, szkieletowej konstrukcji wykonanej ze stali nierdzewnej/ocynkowanej. Głównymi elementami konstrukcji są wbijane na około 1,5-2 m profile stalowe (słupy). W zależności o rodzaju gruntu, czasami stosuje się dodatkowe kotwice w gruncie. Słupy będą rozmieszczone w jednej linii w odległości około 1,5 m od siebie. Do słupów przykręcany jest stelaż stanowiący podstawę do montażu modułów fotowoltaicznych. Szkielet do montażu modułów może być wykonany z aluminium lub stali ocynkowanej. Moduły fotowoltaiczne są przykręcane bezpośrednio do szkieletu. Całość konstrukcji jest łączona za pomocą standardowych połączeń gwintowanych, natomiast do połączenia konstrukcji wsporczej z modułami fotowoltaicznymi zastosowane są odpowiednie kształtu uchwyty, dopasowane do wielkości modułów [9].

Panele fotowoltaiczne

Ogniwa fotowoltaiczne są kluczowym elementem paneli fotowoltaicznych i składają się z aktywnego materiału fotowoltaicznego, który otrzymuje energię słoneczną i zamienia ją na prąd stały. Producenci dostarczają je w dwóch odmianach: jako monokrystaliczne i polikrystaliczne. Ogniwa fotowoltaiczne monokrystaliczne są wykonane z monokryształu krzemu. Monokryształy są najbardziej skutecznym materiałem fotowoltaicznym, ponieważ oferują wyższą wydajność w porównaniu z innymi rodzajami materiałów fotowoltaicznych. W porównaniu z polikrystalicznymi panelami fotowoltaicznymi, monokrystaliczne są również bardziej odporne na warunki pogodowe i wyższe temperatury. Jednak są one bardziej kosztowne i trudniejsze w produkcji, bowiem wymagają bardziej precyzyjnego wytwarzania.

Ogniwa fotowoltaiczne polikrystaliczne są wykonane z uformowanych kryształów krzemu. Polikrystaliczne panele fotowoltaiczne są tańsze w produkcji i mniej precyzyjne w wykonaniu niż monokrystaliczne, co czyni je popularnymi wśród producentów paneli fotowoltaicznych. Jednak polikrystaliczne panele fotowoltaiczne są bardziej wrażliwe na warunki pogodowe i wyższe temperatury, co może obniżyć ich wydajność.

Porównując wydajność monokrystalicznych i polikrystalicznych paneli fotowoltaicznych, badania wykazują, że monokrystaliczne panele fotowoltaiczne osiągnęły znacznie wyższą wydajność niż polikrystaliczne, mierzoną jako stosunek energii wytworzonej do mocy słonecznej otrzymanej. Badania wykazały również, że monokrystaliczne panele fotowoltaiczne są bardziej odporne na warunki pogodowe i wyższe temperatury, a także na zanieczyszczenia i złe warunki środowiska.

W sprzedaży są dostępne jeszcze dość rzadko stosowane panele amorficzne, których ogniwa zalicza się do ogniw drugiej generacji. Należą do grupy paneli cienkowarstwowych i cechują się najniższą sprawnością (6-8%). Są tańsze, ale ich zamontowanie może się wiązać z poświęceniem na instalację większej powierzchni niż dla w/w wymienionych paneli.

String-box'y

Stringi to grupy paneli fotowoltaicznych, które są przyłączone do string-box'ów. String-box jest to urządzenie energetyczne, które ma za zadanie sumowanie prądów i przesyłanie ich dalej jednym przewodem. Ułatwia to w razie problemów technicznych zlokalizowanie usterki. W string-box'ach są umieszczone zabezpieczenia elektryczne (bezpieczniki) dla poszczególnych stringów. Do jednego string-box'u przyłączonych jest zazwyczaj od 8 do 16 stringów, aż



do uzyskania mocy około 15 kW. Przewody elektryczne są wprowadzone po słupach konstrukcji pod ziemię i układane na głębokości ok 0,5 m. W celu zabezpieczenia przed gryzoniami można umieścić przewody w plastikowych rurach osłonowych, zwanych peszelami. Jeśli chodzi o obudowę string-box'ów może być to skrzynka postawiona na powierzchni gruntu, bądź też w celu zaoszczędzenia miejsca, może być to skrzynka przykręcona do konstrukcji nośnej modułów fotowoltaicznych [9].

Inwertery (falowniki)

Energia wytworzona przez panele fotowoltaiczne, przesyłana jest ze string-box'ów do inwerterów, tj. urządzeń zamieniających prąd stały, wyprodukowany w modułach fotowoltaicznych na prąd zmienny. Inwerter odpowiada także za zliczanie wytworzonej energii oraz określenie jej charakterystyki. Jeden inwerter może obsługiwać sektor farmy o mocy od 0,5 do 1 MW. Inwertery podczas swojej pracy produkują duże ilości ciepła, mogą więc potrzebować instalacji systemu chłodzenia aktywnego. Wentylacja aktywna realizowana jest za pomocą wentylatorów elektrycznych zlokalizowanych we wnętrzu obudowy. W związku z tym dopuszcza się zmiany przyjętych założeń i można zamontować na przykład jeden lub dwa inwertery systemie centralnym lub można postawić na montaż inwerterów stringowych, których ilość będzie ściśle zależała od ilości stringów w instalacji. Główną zaletą korzystania z rozproszonego systemu inwerterów stringowych, jest to, że nie są one wyposażone w uciążliwe akustycznie systemy aktywnego chłodzenia. Inwertery są produkowane przez wielu producentów, więc wybrane modele mogą się od siebie znacząco różnić cechami konstrukcyjnymi oraz danymi technicznymi.

Inwertery są montowane w specjalnych obudowach, które mogą mieć postać wolnostojących szaf lub specjalnie na ten cel zaprojektowanych kontenerów betonowych lub stalowych. Inwertery można montować w jednej obudowie z innymi urządzeniami elektroenergetycznymi. Często praktyką jest montowanie inwerterów wraz ze stacją transformatorową. Maksymalny wymiar obiektu przeznaczonego do montażu inwertera wynosi 2 x 4 x 3 m (szerokość x długość x wysokość). Obiekty zostaną usytuowane na prefabrykowanych płytach fundamentowych zlokalizowanych z kolei na zagęszczonej podsypce [9].

Stacja transformatorowa

W celu przekazania energii elektrycznej do systemu elektroenergetycznego tego zakładu dystrybucji zaplanowano postawienie dziesięciu stacji transformatorowych 0,4/15kV, zgodną z normą PN-EN 62271-202 [11]. Planowana stacja

typu kontenerowego z wydzielonymi pomieszczeniami dla rozdzielni niskiego napięcia, komór transformatorowych oraz rozdzielni średniego napięcia. Wyżej wymienione pomieszczenia zostaną wyposażone w: instalacje ogrzewania elektrycznego, instalację gniazd 1-fazowych i 3-fazowych, instalacje oświetlenia, wyłączniki przeciwpożarowe. Rozdzielnia nn.1 kV zaprojektowana będzie w oparciu o typowe rozwiązania szaf rozdzielanych. Położenie stacji transformatorowej będzie spełniało wymagania Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 rok w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. 2002, nr 75, poz. 690 z późn. zm.) [12]. Rozdzielnia średniego napięcia, która będzie instalowana wewnątrz stacji transformatorowej wyposażona zostanie w 2 pola transformatorowe i jedno pole odpływowe z łącznikiem. Okablowanie transformatorów z poszczególnymi polami rozdzielnic SN oraz rozdzielnic nn realizowane będzie kablami miedzianymi jednożyłowymi o przekrojach dobranych odpowiednio do mocy urządzeń. Jako układ pomiarowy po stronie średniego napięcia przewiduje się układ trójfazowy pośredni. Zostanie on zaprojektowany według wydanych warunków przyłączenia. Jako układ dla potwierdzenia danych dotyczących ilości wytworzonej energii elektrycznej planuje się zastosowanie w każdym polu o rozdzielni niskiego napięcia układy pomiarowe trójfazowe półpośrednie [9].

Stacje transformatorowe są zlokalizowane w bezpośredniej bliskości inwerterów, alternatywnie mogą być zamontowane w jednym obiekcie (w kontenerze). Stacja transformatorowa posadowiona zostanie na płycie fundamentowej lub wylewce betonowej. Dopuszcza się integrację obiektu transformatora w jednym obiekcie z budynkiem technicznym. W takim przypadku na potrzeby transformatora wydzieli się jedno pomieszczenie. W rozpatrywanym przypadku planuje się montaż transformatora suchego żywicznego. Transformatory będą mogły wymagać instalacji systemu aktywnego chłodzenia. Na rynku są dostępne 2 rodzaje systemów chłodzących – suche i mokre. Obydwa systemy wyposażone są w wentylatory zamontowane wewnątrz budynku. W rozpatrywanym przypadku planuje się montaż suchego układu chłodzenia – transformatory będą chłodzone bezpośrednio przez opływ powietrza wymuszony pracą wentylatorów, które uruchamiają się automatycznie jedynie w przypadku znacznego wzrostu temperatury i możliwości przegrzania transformatora [9].

Odbiór wytworzonej mocy

Odbiór energii będzie się odbywał bezpośrednio z transformatora zlokalizowanego na terenie elektrowni poprzez

odpowiednio zaprojektowane przyłącze sieci OSD zgodnie z otrzymanymi warunkami przyłączenia (ETAP IV). Jako wariant można rozważyć budowę magazynów energii do jej zdeponowania w okresie intensywnej produkcji, a jej użytkowania, np. w godzinach wieczornych, w okresie zwiększonego zapotrzebowania.

Propozycja lokalizacji energetycznej instalacji fotowoltaicznej o mocy 10 MW

Mając te wszystkie informacje, możemy przejść do szukania odpowiedniej lokalizacji na tego typu instalację w okolicach Łodzi. Biorąc pod uwagę skalę przedsięwzięcia, będziemy potrzebować ogromnej powierzchni terenu, łącznie około 11 ha ziemi, z czego ok. 8 ha będzie stanowiło samą powierzchnię instalacji. Pozostałe 3 ha będą stanowiły strefę buforową oraz zaplecze gospodarcze inwestycji, uwzględniając w tym drogi dojazdowe oraz miejsce na stacje transformatorowe [9].

Ważnymi aspektami w doborze odpowiedniej lokalizacji pod farmy fotowoltaicznej są:

- brak zacienienia przez drzewa i inne obiektu;
- bliska odległość od linii energetycznych średniego napięcia;
- instalacja nie może być na terenach zalewowych; ziemia powinna być nieużytkiem rolnym, gruntem klasy VI, V, IV [9].

W wyniku analizy map oraz po zapoznaniu się z miejscowym planem zagospodarowania przestrzennego, wydaje mi się, że idealną lokalizacją pod tego typu instalację jest lokalizacja przedstawiona na rys. 1, słabo zagospodarowanego terenu we wschodniej części Łodzi, w dzielnicy Widzew, pomiędzy ulicami Gerberową – przylegającą od wschodu do obwodnicy Łodzi, a nieco odleglejszymi ulicami Wiączyńską i Malowniczą [9, 10].

Głównymi zaletami tej lokalizacji są:

- bliska odległość od miasta i linii średniego napięcia;
- teren mało atrakcyjny dla deweloperów, z uwagi na bliskie sąsiedztwo Autostrady A1;
- dobra komunikacja.

Jeśli uwzględnić analizę topograficzną terenu i perspektywę rozwoju ekonomicznego tego rejonu w przyszłości, to pod uwagę można wziąć m.in. obszar zaznaczony na rys. 1.

Zakładając, że całość instalacji będzie wymagała 11 ha czyli 110 000 m², wyznaczony obszar będzie idealny [9]. Całość powierzchni zaznaczonej pod instalację energetyczną, pomiędzy ulicami Gerberową i Malowniczą, ma kształt trapezu o polu:

$$P = \frac{(a + b)}{2} \cdot h \cdot \frac{(500 + 450)}{2} \cdot 450 = 213\,750 \text{ [m}^2\text{]}$$



Rys. 1. Fragment zmienionej mapy z Google Mapy [13] z zaznaczonym obszarem proponowanym pod instalację elektrowni fotowoltaicznej

Taka powierzchnia w przyszłości umożliwiła by rozbudowanie instalacji nawet o 100%.

Metodyka wykonania obliczeń technologicznych i ekonomicznych

Przy instalacji fotowoltaicznej o mocy 10 MW mówimy już o elektrowni. Dla tego typu obiektów niestety nie ma na rynku gotowych kalkulatorów fotowoltaicznych, gdyż są to ogromne przedsięwzięcia na dużą skalę i każdy taki przypadek jest traktowany indywidualnie. Metodykę obliczeń do zaplanowania elektrowni PV możemy podzielić na kilka etapów:

- określenie i identyfikacja odpowiednich parametrów instalacji, w tym wielkości i konfiguracji paneli słonecznych, systemów magazynowania energii, inwerterów, urządzeń zabezpieczających i innych elementów niezbędnych do prawidłowego działania instalacji;
- wybór odpowiedniego miejsca instalacji, z uwzględnieniem korzyści i kosztów związanych z lokalizacją;
- ocena potencjału technicznego i ekonomicznego instalacji, w tym ocena efektywności energetycznej;
- przygotowanie projektu budowlanego i technicznego instalacji;
- porównanie kosztów instalacji i wycena wszystkich kosztów związanych z jej budową i eksploatacją [14];
- ocena ryzyka związanego z inwestycją i przygotowanie odpowiedniego planu działań;
- przygotowanie odpowiednich dokumentacji i zgłoszeń do organów regulatorów;
- przygotowanie, wybór i zakup odpowiednich urządzeń;
- przygotowanie i wdrożenie planu instalacji oraz wszystkich związanych z nią działań;



- przygotowanie i wdrożenie planu monitorowania i kontroli jakości instalacji.

Z uwagi na to, że nie ma dostępnych kalkulatorów fotowoltaicznych dla obliczeń dużych instalacji PV oszacujemy średnią jej cenę. W ramach tego procesu należy określić potencjalne koszty budowy i eksploatacji instalacji, w tym koszty zakupu i montażu urządzeń, koszty wykonania prac montażowych, a także innych usług. Ponadto ocena potencjału technicznego i ekonomicznego obejmuje również ocenę efektywności energetycznej instalacji, w tym oszacowanie potencjalnej produkcji energii słonecznej, dostępnej powierzchni, planowanych strat mocy i wiele innych czynników. Te wszystkie czynniki muszą być wzięte pod uwagę i uwzględnione w projekcie, aby instalacja fotowoltaiczna o mocy 10 MW mogła działać wydajnie i ekonomicznie. Wstępnie ustalono, że od strony projektowej i technicznej optymalnie będzie podzielić instalację 10 MW na 10 sektorów każdy po 1 MW. Założenie to uwzględniono również podczas szacowania kosztów instalacji.

Ceny poszczególnych elementów

Panele fotowoltaiczne – z uwagi na dużą skalę przedsięwzięcia potrzebujemy paneli o jak największej mocy i w jak najmniejszej liczbie, aby powierzchnia przez nie zajęta była jak najmniejsza. Właściwe do tej instalacji będą panele fotowoltaiczne o mocy 550 Wp, np. typu Saronic 550W/144HC 9BB. Na 1 MW potrzebujemy 1818 sztuk tych paneli, co łącznie da nam moc sumaryczną 999,9 kWp. Na instalację 10 MW będziemy potrzebować proporcjonalnie 18180 sztuk tych paneli. Panele te mają wymiary 2256 mm x 1134 mm, co daje nam powierzchnię 2,56 m² na jeden moduł. Sama powierzchnia paneli wyniesie więc 46510 m². Cena jednego panelu (na dzień 12.01.2023) to około 1070 zł brutto, więc koszt samych paneli wyniósł by około 19,45 mln zł [9, 10].

Konstrukcja do montażu paneli, to jeden z kluczowych elementów instalacji. To ona nadaje panelom odpowiedni kąt nachylenia. W uwagi na różne specyfikacje konstrukcji dostosowane do rodzaju gruntów, dzielą się one na konstrukcje: wbijane w grunt, zalewane betonem; kotwione oraz śrubowe, ale ich ceny są trudne do ustalenia ze względu na ciągle zmieniające się ceny stali. Sama konstrukcja to w tym przypadku koszt około 8,00 mln zł.

Inwerter – w tym przypadku należy zastosować inwertery centralne zlokalizowane po jednym w każdym z dziesięciu sektorów. Cena jednego inwertera centralnego to około 300 tys. zł, więc łącznie cena wszystkich wyniesie około 3,00 mln zł.

Rozdzielnie elektryczne – strony DC oraz AC – koszt około 10000 zł na 1 MW, czyli około 100 tys. zł.

Okablowanie prądu stałego DC oraz prądu przemiennego AC – koszt około 800 tys. zł.

Urządzenia ochrony przeciwpożarowej, przetężeniowej, zwarciowej i przepięciowej – koszt około 350 – 400 tys. zł.

Instalacji uziemiającej – koszt około 300 tys. zł.

Układów pomiarowych – koszt około 300 tys. zł.

Stacji transformatorowej – koszt około 170 tys. zł.

Inne koszty, które należy wziąć pod uwagę to:

- systemy monitoringu – około 50 tys. zł,
- czujniki ruchu – około 50 tys. zł,
- ogrodzenie – około 150 tys. zł,
- systemy komunikacji na terenie elektrowni – około 30 tys. zł.

Są to ceny orientacyjne, niestety dosyć mało szczegółowe ze względu na to, że często komponenty do budowy instalacji nie są sprzedawane osobą indywidualnym, tylko przedsiębiorstwom, więc trudno jest poznać faktyczne ceny artykułów [9].

Rentowność instalacji

Łączna cena po zsumowaniu wszystkich składowych, nie wliczając w to cen robocizny oraz wynajmu maszyn, to obecnie około 40-45 mln zł.

Zakładając, że średnia cena 1 kWh w Polsce to 0,77 gr, a instalacja 10 MW w słoneczny dzień w ciągu godziny jest w stanie dać zysk o wartości około 7700 zł. Aby spłacić instalację za 40 mln zł będzie potrzeba aż 5195 godzin, co by dawało 216, 5 dnia ciągłego świecenia słońca. Według firmy FlexiPower Group [15] w Polsce rocznie jest 66 dni w pełni słonecznych (1600 godzin), więc teoretycznie inwestycja powinna się zwrócić po około 3 latach i 4 miesiącach. Ale to by była sytuacja, gdy sprawność paneli słonecznych wynosiła 100%.

Niestety sprawność paneli monokrystalicznych jest nadal na poziomie maksymalnym około 20%, należy bowiem uwzględnić niską sprawność w godzinach nocnych i zimą. Więc, aby rzeczywiście koszt budowy instalacji zwrócić się, musielibyśmy poczekać około 15 lat. Ponadto trzeba pamiętać, że sprawność paneli PV z roku na rok spada o 0,5-0,8% rocznie, więc po 15 latach sprawność paneli może być niższa nawet o około 12%, co wydłuży zwrot kosztów inwestycji do prawie 20 lat [9].

Jednak budowa instalacji fotowoltaicznych zwykle jest **wspierana środkami krajowymi i unijnymi z różnych programów dotacji proekologicznych**, m.in. z Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Prawdopodobnie i w tym przypadku można liczyć na znaczne

wsparcie finansowe, które faktycznie mogłoby skrócić czas zwrotu kosztów inwestycji o kilka lat.

Aspekty ekologiczne

Koszt instalacji energetycznej PV jest znaczny, ale biorąc pod uwagę aspekty ekologiczne, można powiedzieć, że jest to bardzo opłacalna inwestycja, ze względu na skalę redukcji emisji wytworzonego ditlenku węgla (CO_2), szkodliwych gazów zanieczyszczających powietrze: ditlenku siarki (SO_2), ditlenku azotu (NO_2), monotlenku węgla (CO) oraz pyłów. Uzyski ekologiczne dla instalacji fotowoltaicznej o mocy 1 MW przedstawiłem w tabeli 2 [9, 16].

Tabela 1. Uzyski ekologiczne dla instalacji PV o mocy 1 MW [9, 16]

Ograniczenie emisji szkodliwych substancji	[kg/MWh]
CO_2	825,41
NO_2	1,049
SO_2	1,572
CO	0,234
Pyły	0,064

Z analizy danych z tabeli 1 widać, że korzystanie z elektrowni PV o mocy 10 MW daje również wiele korzyści dla środowiska. Przede wszystkim, obiekt ten nie emituje żadnych szkodliwych substancji do atmosfery. Oznacza to, że nie ma szkodliwych skutków ubocznych w postaci zanieczyszczenia powietrza, gleby lub wody. Ponadto, elektrownia fotowoltaiczna nie wymaga stosowania żadnych paliw kopalnych, co oznacza, że nie ma ryzyka wyczerpywania się zasobów naturalnych.

Jednak w perspektywie kilkunastu lat wystąpi konieczność utylizacji zużytych paneli PV oraz innych elementów instalacji fotowoltaicznych, zarówno prosumenckich jak i energetycznych. Rozpoczęto już badania w tym kierunku [17-19].

Wnioski

Analiza literatury oraz obliczenia projektowe pozwalają przedstawić następujące wnioski:

- instalacje fotowoltaiczne – zarówno prosumenckie jak i wielkopowierzchniowe farmy PV produkujące energię elektryczną są ekologicznymi źródłami energii odnawialnej, które zyskują coraz większą popularność na świecie, a także w Polsce;
- energia uzyskiwana ze Słońca jest energią czystą, ponieważ nie skutkuje emisją gazów cieplarnianych, pyłów za-

wieszonych, powstawaniem odpadów podczas produkcji energii ani emisją hałasu;

- instalacja energetyczna PV powinna być usytuowana na niezagrożonych zalewaniem glebach niskiej jakości, nieużytkach, terenach po rekultywacji, ogólnie ziemiach o niewielkim stopniu zagospodarowania, niezbyt odległych od odbiorców energii elektrycznej;
- wydajność instalacji PV w dużej mierze zależy od warunków atmosferycznych, pory roku i dnia, a także topografii terenu;
- koszty budowy wielkopowierzchniowej instalacji PV są wysokie, ale przedsięwzięcie może być rentowne w warunkach rosnących cen energii elektrycznej i ciepłej;
- budowa na obrzeżu Łodzi energetycznej instalacji PV o mocy 10 MW może być inwestycją proekologiczną, która może znacznie poprawić bilans energetyczny miasta.
- proponowana lokalizacja jest jedną z możliwych na obrzeżu Łodzi, analizując mapy można znaleźć także inne potencjalne miejsca do usytuowania dużej farmy PV;
- budową takiej instalacji może być potencjalnie zainteresowana firma wytwarzająca energię dla Łodzi – Veolia Energia Łódź S.A.

Literatura

- [1] MacKay D.J.C., 2009, Sustainable Energy – Without the Hot Air. UIT Cambridge LTD, Cambridge, UK.
- [2] Gaj K., 2020, Three-Year Exploitation Tests of a Photovoltaic Plant in a Zero-Energy Single-Family House under the Polish Conditions, Journal of Ecological Engineering, 21 (7), 160-168.
- [3] Tora M., Karbowniczek M., Tora B., 2021, Fotowoltaika w Polsce. Stan aktualny i perspektywy, w: Zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej. Energetyka krajowa a europejski Zielony Ład, Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, 1(110), 111-118.
- [4] Brochocka I., Żarczyński A., Zaborowski M., Ryłski A., 2019, Dobór i zastosowanie kalkulatora fotowoltaicznego do wstępnego projektowania instalacji prosumenckich, Aura, 1, Dodatek Ekologiczny dla Szkół, nr 290, 2-5.
- [5] Żarczyński A., Wieczorek K., Zaborowski M., 2020, Zastosowanie kalkulatora fotowoltaicznego do wstępnego projektowania instalacji PV, Aura, 5, 8-11.
- [6] Portal Cire.pl, Potencjał rozwojowy fotowoltaiki w Polsce, <https://www.cire.pl/artykuly/opinie/78779-potencjal-rozwojowy-fotowoltaiki-w-polsce>, 24.10.2023.
- [7] Masters G.M., 2004, Renewable and Efficient Electric Power Systems, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA.
- [8] Juszcak A., Maj M., 2020, Rozwój i potencjał energetyki odnawialnej w Polsce, Polski Instytut Ekonomiczny, Warszawa.
- [9] Berent A., 2023, Zaprojektowanie na obrzeżu Łodzi instalacji PV o mocy 10 MW połączone z oceną możliwości doboru paneli fotowoltaicznych. Praca inżynierska, Politechnika Łódzka, IChOiE, Łódź.
- [10] Berent A., Żarczyński A., 2023, Wstępny projekt instalacji



energetycznej PV o mocy 10 MW na obrzeżu Łodzi, s. 15, Materiały Konferencji Młodych Naukowców nt. Dokonania Naukowe Doktorantów – edycja XI – Wielka Sesja Posterowa, 22-23.04.2023 r., Streszczenia wystąpień, Centrum Konferencji: Kraków, Wyd. Creativetime, Kraków.

[11] PN-EN 62271-202:2014-12, 2014, Wysokonapięciowa aparatura rozdzielcza i sterownicza – Część 202: Stacje transformatorowe prefabrykowane wysokiego napięcia na niskie napięcie, PKN, Warszawa.

[12] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 rok w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie; Dz. U. 2002, nr 75, poz. 690; tekst jednolity Dz. U. 2022, poz. 1225.

[13] Portal Google.com/maps, 2023, <https://www.google.com/maps/place/Widzew,+Łódź/@51.757419,19.6012354,15z/data=!4m5!3m4!1s0x471bccbf9ea1a51f:0x70292f941966541d!8m2!3d51.7670503!4d19.5571715>, 03.11.2023.

[14] Portal firmy MiastOZE Powered by Globenergia, Koszt budowy farmy PV o mocy 1 MW – analizujemy udział komponentów w cenie, <http://miastoze.pl/koszt-budowy-farmy-pv-o-mocy-1-mw-analizujemy-udzial-komponentow-w-cenie/>, 30.09.2023.

[15] Portal firmy FlexiPower Group, 2023, Nasłonecznienie w Polsce a fotowoltaika, <https://flexipowergroup.pl/naslonecznienie-w-polsce-a-fotowoltaika/>, 23.09.2023.

[16] Gregorowicz M., Kłoszewski W., 2014, Obliczanie wskaźników oraz efektu ekologicznego dla poddziałania 10.3.1, Regionalny Program Operacyjny Województwa Pomorskiego na lata 2014-2020, <https://www.rpo.pomorskie.eu/documents/10184/176430/Prezentacja+Efekty+rezultaty+12+01+2017v.2r+.pdf/34db81e1-5186-47e6-aaca-c930a01581ab>, 23.10.2023.

[17] Klugmann-Radziemska E., Kuczyńska, A., 2016, Odzysk materiałów w procesach chemicznych recyklingu modułów fotowoltaicznych I i II generacji, Przemysł Chemiczny, 95 (2), 306-309.

[18] Kuczyńska-Łażewska A., Klugmann-Radziemska E., 2019, Recykling metali z zużytych modułów fotowoltaicznych, Przemysł Chemiczny, 98 (6), 932-935.

[19] Piasecka I., Bałdowska-Witos P., Piotrowska K., Kruszelnicka W., Flizikowski J., Tomporowski A.D., 2021, Ekologiczna analiza cyklu życia farmy fotowoltaicznej o mocy 1 MW w polskich warunkach środowiskowych, Przemysł Chemiczny, 100 (1), 40-46.

Dawid Szymborski

231438@edu.p.lodz.pl

Instytut Technologii Polimerów i Barwników, Politechnika Łódzka

Aerozele – nowoczesne materiały termoizolacyjne

Wprowadzenie

Ciągły wzrost zużycia energii i związane z nim skutki uboczne wpływające negatywnie na środowisko naturalne są aktualnie jedną z wiodących kwestii ekologicznych. Rozwiązania mające przeciwdziałać zmianom klimatycznym skupiają się m.in. na wykorzystaniu źródeł odnawialnych, czy też na ograniczeniu zużycia energii, co po części sprowadza się do produkcji energii cieplnej, która często jest tracona ze względu na użycie niewystarczających izolacji termicznych. Na świecie znanych jest wiele materiałów posiadających dobre właściwości termoizolacyjne, jednakże coraz częściej zastępowane są one przez aerozele. Znajdują one zastosowanie m.in. w systemach izolacji termicznej statków kosmicznych lub satelitów czy skafandrów dla kosmonautów. Warunki temperaturowe panujące na powierzchni Księżyca w okolicy równika wahają się w zakresie od +120°C do – 130°C [1]. Przebywanie w takim miejscu wiąże się z koniecznością stosowania izolacji termicznych, które zapewnią odpowiednie warunki do życia czy prawi-

łdowe funkcjonowanie wrażliwych urządzeń [2]. Aerozele znajdują także zastosowanie w budownictwie, a dokładniej jako izolacja termiczna budynków. Mając na uwadze coraz bardziej restrykcyjne normy budowlane, implementacje aerozeli w tej dziedzinie będą w przyszłości stanowić główną domenę zastosowań tych materiałów, potwierdza to fakt rozwijającego się rynku aerozeli krzemionkowych [3]. Innym istotnym aspektem wykorzystania pewnego rodzaju aerozeli jest biokompatybilność, za którą idzie bezpieczeństwo zdrowotne. Obrazuje to przykład użycia aerozelu jako materiału używanego w transporcie leków (Rys. 1) [4].

Tak obiecujące zastosowania skutkują z każdym rokiem coraz większą liczbą publikacji naukowych (Rys. 2) dotyczących syntezy, właściwości i nowych aplikacji aerozeli. Przedstawiony artykuł skupia się na przeglądowym przedstawieniu tematyki związanej z syntezą i perspektywami tych niezwykłych materiałów. Wskazane są także wady, trudności oraz nowe rodzaje aerozeli, które są aktualnie tematem publikowanych artykułów.