

WERONIKA HADAŁA

Studenckie Koło Naukowe Zrównoważonego Rozwoju, Katedra Podstaw Rolnictwa i Gospodarki Odpadami,
Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, e-mail: jahadala@gmail.com

REKULTYWACJA SKŁADOWISKA ODPADÓW KOMUNALNYCH - STUDIUM PRZYPADKU: WDROŻENIE INSTALACJI FOTOWOLTAICZNEJ

Abstrakt: Rozwój przemysłu doprowadził do degradacji środowiska, w tym nadmiernego wykorzystania terenów pod składowiska odpadów. Po ich zamknięciu konieczna jest ich rekultywacja. Jednym z nowoczesnych i ekologicznych sposobów ponownego wykorzystania odzyskanych terenów jest budowa tam farm fotowoltaicznych. Artykuł analizuje potencjał takiego rozwiązania, przedstawiając jego aspekty prawne, techniczne i środowiskowe. Zaprezentowano studium przypadku – pierwszej w Polsce instalacji PV w Ustroniu Morskim zlokalizowanej na zrehabilitowanym składowisku odpadów. Projekt ten dowodzi, że takie rozwiązanie jest zgodne z koncepcją zrównoważonego rozwoju.

Słowa kluczowe: zrównoważony rozwój, składowisko odpadów, instalacja fotowoltaiczna

RECLAMATION OF A MUNICIPAL WASTE LANDFILL - CASE STUDY: IMPLEMENTATION OF A PHOTOVOLTAIC INSTALLATION

Abstract: The development of industry has led to environmental degradation, including the excessive use of land for waste disposal sites. Once these sites are closed, reclamation becomes necessary. One modern and environmentally friendly way to repurpose such areas is by constructing photovoltaic farms. This article analyzes the potential of this solution, presenting its legal, technical, and environmental aspects. A case study was presented – the first PV installation in Poland in Ustronie Morskie, located on a reclaimed landfill. This project demonstrates that such an approach aligns with the principles of sustainable development.

Keywords: sustainable development, landfill, photovoltaic installation

I. WSTĘP

Rozwój cywilizacyjny, szczególnie od czasów rewolucji przemysłowej, spowodował znaczące zmiany w środowisku przyrodniczym, w tym jego postępującą degradację. Według Arnolda Toynbee'ego, był to przełomowy okres intensywnej industrializacji i wzrostu emisji zanieczyszczeń [Kaliński 2008]. W odpowiedzi na rosnącą presję antropogeniczną, sformułowano koncepcję zrównoważonego rozwoju – strategię zakładającą zaspokajanie

potrzeb obecnych pokoleń bez uszczerbku dla możliwości przyszłych generacji [Klugmann-Radziemska 2023].

Obecnie, jednym z istotnych wyzwań środowiskowych pozostają składowiska odpadów komunalnych. Zgodnie z polskim prawem – Prawo budowlane rozdział 1 art.3. [Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r.], składowiska odpadów traktowane są jako obiekty budowlane przeznaczone do deponowania odpadów. Po zakończeniu ich eksploatacji wymagają one rekultywacji, co reguluje odpowiednie rozporządzenie [Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie składowisk odpadów... 2013].

Coraz częściej rozważaną formą wykorzystania terenów poskładowiskowych jest instalacja tam systemów fotowoltaicznych, gdyż wpisuje się to w proekologiczne cele transformacji energetycznej oraz rozwój odnawialnych źródeł energii.

Celem niniejszego opracowania jest analiza potencjału zastosowania instalacji fotowoltaicznych (PV) na terenach dawnych składowisk odpadów, na tle charakterystyki składowisk odpadów komunalnych, ich lokalizacji, zagrożeń środowiskowych związanych z magazynowaniem i składowaniem odpadów komunalnych oraz ich rekultywacji.

II. MATERIAŁ I METODY

Dla potrzeb opracowania artykułu przeprowadzono analizę źródeł naukowych dostępnych w literaturze fachowej oraz zasobach internetowych. Dokumenty prawne (np. ustawy dostępne w systemie LEX) oraz dane z baz specjalistycznych zostały pozyskane za pośrednictwem serwera proxy Uniwersytetu Rzeszowskiego.

Praca ma charakter studium przypadku, które zostało wykonane na podstawie danych udostępnionych przez inwestora instalacji fotowoltaicznej (PV) oraz władze gminy Ustronie Morskie w biuletynie informacji publicznej [Biuletyn informacji publicznej...]. Pozyskana dokumentacja obejmowała decyzje, wnioski, obwieszczenia, uzasadnienia oraz dokumentację techniczną. Analiza przypadku instalacji fotowoltaicznej „Sianożęty 1” i „Sianożęty 2” na zrekultywowanym składowisku odpadów w całości została wykonana na podstawie tak zgromadzonych dokumentów.

III. WYNIKI

Charakterystyka składowisk odpadów komunalnych

Zgodnie z prawem, składowisko odpadów w Polsce [Ustawa - Prawo budowlane... 1994], stanowi budowlę przeznaczoną do deponowania odpadów. Jego budowa i użytkowanie wymagają spełnienia określonych warunków, które mają na celu zapewnienie bezpieczeństwa ludzi, ochrony zdrowia oraz środowiska. Niezbędne jest również zastosowanie odpowiednich systemów zabezpieczających i konstrukcyjnych gwarantujących niezawodność obiektu.

Polskie prawo [Ustawa o odpadach... 2012, Rozporządzenie w sprawie składowisk odpadów, 2013, Ustawa prawo wodne, 2017] określa kategorie składowisk odpadów w zależności od rodzaju składowanych materiałów. Wyróżnia się:

- składowiska dla odpadów niebezpiecznych,
- składowiska dla odpadów obojętnych,
- składowiska dla odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne.

Funkcjonowanie składowiska przebiega w trzech głównych etapach:

- okres przedeksploatacyjny – obejmuje działania podejmowane przed uzyskaniem decyzji administracyjnej zezwalającej na rozpoczęcie działalności,
- okres eksploatacji – rozpoczyna się po wydaniu decyzji określającej zasady prowadzenia składowiska i trwa do zakończenia prac rekultywacyjnych,

- okres poeksploatacyjny – obejmuje 30 lat od zakończenia rekultywacji, po czym obiekt uznaje się za zamknięty.

Składowiska odpadów można podzielić na dwie podstawowe grupy: spełniające wymogi formalno-prawne oraz funkcjonujące poza obowiązującym porządkiem prawnym. Do pierwszej kategorii zaliczają się obiekty projektowane i realizowane zgodnie z aktualnymi przepisami, które wyposażone są w niezbędne systemy zabezpieczające, takie jak układy izolacyjne, instalacje do odprowadzania odcieków czy systemy zbierania i kontrolowania emisji gazów składowiskowych. Drugą grupę stanowią tzw. składowiska niezorganizowane – powstające bez wymaganych decyzji i zabezpieczeń, niezgodne z obowiązującymi normami, co skutkuje bezpośrednim zagrożeniem dla środowiska.

Lokalizacje składowisk odpadów

Znaczenie lokalizacji składowiska ma bezpośredni wpływ na sposób jego późniejszego eksploataowania [Wiśniewska 2018]. Precyzyjne wytyczne dotyczące lokalizacji składowisk odpadów zawiera rozporządzenie Ministra Środowiska [Rozporządzenie w sprawie składowisk odpadów, 2021], które określa zasady ustalania minimalnej odległości składowiska od zabudowań. Dotyczy to zarówno budynków mieszkalnych, zbiorowego zamieszkania, jak i obiektów użyteczności publicznej, zgodnie z definicjami zawartymi w prawie budowlanym. Odległość ta mierzona jest od granicy kwatery składowiska i powinna być określona na podstawie raportu oddziaływania inwestycji na środowisko [Ustawa z dnia 3 października 2008]. Artykuł 140 kolejnej ustawy [Ustawa - Prawo wodne... 2025] wskazuje obszary, na których zakazane jest zakładanie składowisk odpadów (w tym odpadów niebezpiecznych).

Dobór lokalizacji składowiska powinien być poprzedzony analizą szeregu czynników, takich jak warunki topograficzne, gęstość zaludnienia, cechy geotechniczne i geologiczne, uwarunkowania klimatyczne oraz aspekty związane z gospodarką przestrzenną. Z perspektywy środowiskowej trudno mówić o lokalizacji idealnej. Każde miejsce przeznaczone na taki obiekt wiąże się bowiem z określonym ryzykiem dla przyrody i otoczenia [Rosik-Dulewska 2023]. Składowiska zakładane kilkadziesiąt lat temu często cechują się przypadkowym doborem lokalizacji – nierzadko zlokalizowano je w wyrobiskach po eksploatacji surowców mineralnych, co z perspektywy ochrony środowiska, szczególnie wód podziemnych, jest niekorzystne. Brak warstwy izolacyjnej, eksploatacja bez przestrzegania zasad ochrony środowiska oraz nieuregulowana gospodarka wodno-ściekowa przyczyniły się do znacznych negatywnych oddziaływań. Wiele z tych obiektów, po zakończeniu działalności, pozostawiono bez nadzoru i bez spełnienia standardów zamknięcia, takich jak odpowiednie uszczelnienie czy monitoring. Składowanie odpadów mogących stanowić zagrożenie ekologiczne przyczynia się nie tylko do obniżenia walorów krajobrazowych terenu, ale także do pogorszenia jakości wód powierzchniowych i podziemnych, zanieczyszczenia gleb oraz atmosfery. Tego typu zagrożenia muszą być skutecznie ograniczane poprzez wdrażanie strategii opartych na zasadach zrównoważonego rozwoju, co w dłuższej perspektywie pozwala na minimalizację konfliktów przestrzennych i ekologicznych [Rosik-Dulewska 2023].

Zagrożenia środowiskowe związane z magazynowaniem i składowaniem odpadów komunalnych

Czynniki geologiczne determinujące składowanie odpadów komunalnych, a także konieczność zapewnienia odpowiedniej jakości i ochrony poszczególnych komponentów środowiska naturalnego, wymagają projektowania i eksploatacji składowisk w sposób minimalizujący emisję substancji szkodliwych do otoczenia. Proces ten powinien obejmować

cały cykl istnienia obiektu — od etapu wyboru lokalizacji, poprzez fazę realizacyjną, eksploatacyjną, aż po działania rekultywacyjne i zagospodarowanie terenu poeksploatacyjnego. Składowanie odpadów pełni funkcję finalnego ogniwa w systemie kompleksowego zarządzania gospodarką odpadami [Łuczak-Wilamowska 2013]. Istotnym zagrożeniem w procesie eksploatacji i fazy po eksploatacyjnej jest gaz (najczęściej metan). Materia organiczna zawarta w odpadach deponowanych na składowiskach ulega stopniowym przemianom biologicznym, a charakter i intensywność tych procesów zależą przede wszystkim od obecności tlenu. W przypadku gdy odpady są układane w sposób uporządkowany – czyli regularnie zagęszczane i przykrywane warstwami ziemi – dopływ powietrza do wnętrza składowiska zostaje znacząco ograniczony. Prowadzi to do dominacji procesów beztlenowych, które przebiegają znacznie wolniej niż reakcje tlenowe [Manczarski i Lewicki 2012].

W warunkach niedoboru tlenu dochodzi do rozkładu materii organicznej w sposób fermentacyjny, w wyniku czego powstaje tzw. biogaz. Główne składniki tego gazu to CH₄, CO₂, H₂S i NH₃. Ponieważ przemiany beztlenowe są mało dynamiczne, proces emisji biogazu może utrzymywać się przez wiele lat po zakończeniu eksploatacji składowiska. Decyzja dotycząca lokalizacji oraz sposobu budowy składowiska stanowi jedno z kluczowych, a zarazem najbardziej złożonych wyzwań inżynieryjno-inwestycyjnych, determinujących zarówno efektywność, jak i bezpieczeństwo środowiskowe całego przedsięwzięcia [Łuczak-Wilamowska 2013].

Rekultywacja składowisk – obowiązki formalne i techniczne

Rekultywacja to proces przywracania zdegradowanym terenom wartości użytkowej i środowiskowej, umożliwiający ich ponowne zagospodarowanie. W przypadku składowisk odpadów nie ogranicza się on jedynie do wykonania określonych w dokumentacji technicznej prac, ale stanowi złożony i wieloetapowy cykl działań prowadzonych aż do osiągnięcia stanu, w którym teren może być bezpiecznie użytkowany zgodnie z nowym przeznaczeniem [Mamak i Kicińska 2016, Mazur i Mielniczuk 2019]. Zamykanie składowisk odpadów nie sprowadza się wyłącznie do przerywania ich eksploatacji. To proces obejmujący zarówno działania prawno-administracyjne, jak i inżynieryjne oraz biologiczne, których wspólnym celem jest ograniczenie negatywnego wpływu składowiska na środowisko oraz przystosowanie terenu do przyszłego wykorzystania. Wymóg przeprowadzenia rekultywacji wynika bezpośrednio z przepisów prawa krajowego oraz unijnych dyrektyw. Obowiązujące regulacje zawarte są w ustawie [Ustawa o odpadach... 2012] oraz w rozporządzeniu [Rozporządzenie w sprawie składowisk odpadów... 2013]. Zgoda na zamknięcie składowiska wydawana jest decyzją administracyjną, zwykle przez Urząd Marszałkowski, na wniosek zarządzającego obiektem lub po kontroli inspektora ochrony środowiska. W zależności od skali i charakteru zaplanowanych działań, rekultywacja może być traktowana jako przedsięwzięcie budowlane. Może to wymagać zgłoszenia robót budowlanych, opracowania projektu lub uzyskania pozwolenia na budowę. W niektórych przypadkach organ samorządowy może dodatkowo zobowiązać inwestora do przygotowania dokumentacji środowiskowej, czyli karty informacyjnej przedsięwzięcia lub raportu oddziaływania na środowisko w celu uzyskania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach. Dzięki wsparciu finansowemu Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej powstał zestaw zaleceń dotyczących postępowania przy zamykaniu oraz rekultywacji składowisk odpadów komunalnych. W opracowaniu tym zaproponowano podział składowisk na cztery klasy A, B, C i D w zależności od skali ich wpływu na środowisko oraz poziomu zastosowanych zabezpieczeń. Taka klasyfikacja służy określeniu zakresu i rodzaju wymaganych prac rekultywacyjnych.

- *Kategoria A* obejmuje obiekty wyposażone w pełne zabezpieczenia zgodne z wymogami najlepszych dostępnych technologii,
- *Kategoria B* to składowiska o dobrze rozwiniętych, lecz niekompletnych zabezpieczeniach,
- *Kategoria C* dotyczy instalacji, w których występują jedynie częściowe systemy ochronne,
- *Kategoria D* obejmuje obiekty całkowicie pozbawione zabezpieczeń [Koda 2014].

Jednym z kluczowych czynników determinujących sposób rekultywacji jest poziom zagrożenia, jakie dany obiekt stanowi dla środowiska (charakter nadrzędny). Przykładowo, jeśli składowisko zlokalizowane jest w obrębie cennego ujęcia wód podziemnych, konieczne jest zastosowanie rozwiązań technologicznych, które działają szybko i charakteryzują się wysoką skutecznością w ograniczaniu ryzyka zanieczyszczeń. Drugim istotnym aspektem jest planowane przeznaczenie zrehabilitowanego terenu. Jeżeli działka ma w przyszłości służyć jako teren inwestycyjny pod budownictwo lub działalność przemysłową, niezbędne będzie zapewnienie wyższego poziomu bezpieczeństwa – zwłaszcza pod kątem stabilności gruntu i warunków geotechnicznych – niż w przypadku terenów przeznaczonych np. pod zielen, rekreację czy zalesienie. Na wybór metod rekultywacyjnych wpływa również czas, w jakim rekultywacja powinna zostać zakończona, co jest ściśle powiązane z funkcjami terenów sąsiednich. Jeżeli teren ma być szybko udostępniony do użytkowania, konieczne jest zastosowanie metod zapewniających szybki efekt i minimalne opóźnienia w zagospodarowaniu. Nie można także pominąć czynnika procesów zachodzących wewnątrz składowiska, co pozwala dobrać rozwiązania, które są skuteczne, ale również uzasadnione technicznie, ekologicznie i ekonomicznie.

Rekultywacja składowisk wiąże się z trzema głównymi czynnikami finansowymi:

- *koszty inwestycyjne* – obejmujące materiały i robociznę potrzebne do realizacji prac,
- *koszty eksploatacyjne* – takie jak monitoring, utrzymanie systemów biogazu i odcieków oraz pielęgnacja zieleni,
- *wartość użytkowa terenu* – określająca przyszłe możliwości zagospodarowania [Koda 2014].

Proces rekultywacji terenów po składowiskach odpadów dzielimy na etapy. Pierwszy polega na przygotowaniu procesu (analiza przyczyn i skutków degradacji środowiska, sporządzenie dokumentacji geodezyjnej, a także rozpoznanie problemów technicznych i środowiskowych, które należy rozwiązać w projekcie rekultywacyjnym). Na tym etapie ustala się również kierunek przyszłego zagospodarowania terenu. Decyzja ta zależy od stopnia zniszczenia środowiska oraz uwarunkowań przyrodniczych, społecznych i ekonomicznych. Całość kończy się opracowaniem odpowiedniej dokumentacji projektowej, która musi uwzględniać przepisy prawa budowlanego czy geologicznego. Następnie realizowana jest rekultywacja techniczna. Obejmuje ona formowanie ukształtowania terenu tak, aby zapewnić stabilność, ograniczyć wsiąkanie wód opadowych oraz przygotować grunt do planowanego sposobu użytkowania. Dodatkowo dostosowuje się układ wód powierzchniowych, odtwarza warstwę glebotwórczą, buduje niezbędną infrastrukturę, a zbędne elementy techniczne usuwa. Po zakończeniu prac inżynierskich następuje etap biologiczny. Na tym etapie obsadza się zbocza i skarpy roślinnością, co stabilizuje grunt i zapobiega erozji. Wprowadzenie odpowiednich gatunków roślin pozwala na biologiczne oczyszczenie terenu oraz nadanie mu naturalnego charakteru. W kolejnym etapie realizowane jest docelowe zagospodarowanie terenu, które może mieć charakter leśny, rolniczy, rekreacyjny, budowlany lub komunalny. Na początku stosuje się zabiegi wstępne, takie jak nasadzenia czy płodozmiany, by pobudzić odnowę gleby. Docelowo teren przygotowuje się zgodnie z jego przyszłą funkcją, np. pod inwestycje lub użytkowanie publiczne. Ostatnia faza to monitoring, który jest nieodłączną częścią całego procesu. Rekultywacja wymaga bowiem długotrwałego nadzoru, by możliwa była ocena skuteczności działań i szybkie reagowanie

na ewentualne nieprawidłowości. Dzięki temu można wprowadzać korekty i dostosować działania do zmieniających się warunków środowiskowych [Mamak i Kicińska 2016].

Studium przypadku: farma fotowoltaiczna zlokalizowana w gminie Ustronie Morskie (powiat kołobrzeski)

Polityka Energetyczna Polski do 2040 [Polityka energetyczna...] przyjęta przez Radę Ministrów 2 marca 2021 r., stanowi strategiczny dokument wyznaczający kierunki transformacji energetycznej Polski. W dokumencie podkreślono znaczenie wykorzystania terenów zdegradowanych dla rozwoju OZE. Budowa farm fotowoltaicznych na terenach po rekultywacji wiąże się z koniecznością spełnienia szeregu wymogów technicznych oraz formalnych. Niezbędne jest przeprowadzenie analiz geotechnicznej i sanitarnej, które pozwalają ocenić m.in. nośność gruntu, poziom jego zanieczyszczenia, a także możliwości techniczne posadowienia instalacji. Jak wskazują badania [Jędrzak 2018], rekultywacja składowiska odpadów stanowi spore wyzwanie pod względem technologicznym.

Farma fotowoltaiczna w gminie Ustronie Morskie (ryc. 1), obejmuje tereny „Sianożęty 1” i „Sianożęty 2”. Została zlokalizowana na obszarze zamkniętego składowiska odpadów. Oba tereny tworzą jeden spójny kompleks. Część „Sianożęty 1” znajduje się na działkach o numerach ewidencyjnych 207 i 116, natomiast „Sianożęty 2” – na działce nr 206 i 207. Projekt budowlany systematyzował wszystkie kroki, które miały zostać wykonane. Przed rozpoczęciem prac wznoszących budowlę instalacji, na teren inwestycji (o powierzchni 15 500 m²) dostarczono około 2 tysiące ciężarówek przewożących około 17 tysięcy ton gruntu (gleby mineralnej i gliny). Zakończono proces wałowania odpadów, zainstalowano systemy odgazowania oraz odwodnienia, a także wykonano i zabezpieczono warstwy ekranujące oraz wzmacniające. W kolejnych etapach ułożono betonowe płyty pod konstrukcje wspierające panele fotowoltaiczne oraz planowane trasy kablowe. Teren został następnie wyrównany, obsiany trawą i obsadzony krzewami. W celu finalizacji inwestycji zamontowano oświetlenie, osadzono specjalną konstrukcję oraz zamontowano ogniwa słoneczne. Farmę fotowoltaiczną oddano do eksploatacji 15 maja 2015 r. Cechuje ją duża moc produkcji energii (1,0 MW/rok), jest w stanie zasilić 200 gospodarstw w energię elektryczną. Choć przepisy prawne zakazują wznoszenia jakichkolwiek budowli w miejscach składowisk odpadów przez 50 lat, jednak SUN ENERGY 11 Sp. z o.o. pozyskała pozwolenie na budowę tam instalacji. Realizacja przedsięwzięcia polegała na budowie farmy fotowoltaicznej Sianożęty 1 i 2 (ryc. 1).



Źródło / Source: [Farma fotowoltaiczna...]

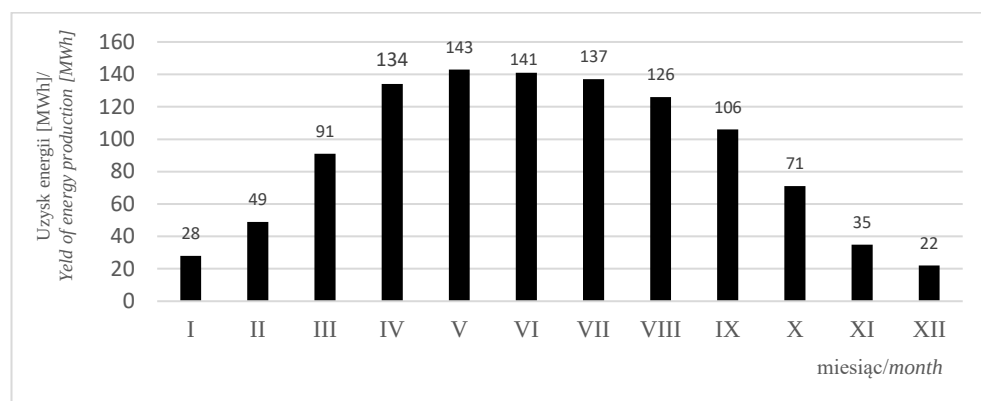
Ryc. 1. Farma fotowoltaiczna w Ustroniu Morskim

Fig. 1. Photovoltaic farm in Ustronie Morskie

Gmina Ustronie Morskie ambitnie realizuje plan redukcji zanieczyszczeń, w ramach Planu Gospodarki Niskoemisyjnej [Plan Gospodarki Niskoemisyjnej...], wdrożenie tego

przedsięwzięcia przyczynia się do obniżenia emisji CO₂ o około 28 849,21 Mg [Farma fotowoltaiczna na terenie...]. Na powierzchni 2,2 ha rozmieszczono tu 3820 modułów fotowoltaicznych produkcji niemieckiej firmy QCELLS, o łącznej mocy instalacji 1 MW. Pojedynczy panel generuje 262 Wp mocy. W ciągu pierwszego roku działalności, farma wygenerowała ponad 1000 MWh energii elektrycznej. W ramach projektu zainstalowano również magazyn energii o wymiarach 12 x 2,5 x 3 metry, oparty na technologii litowo-jonowej, co umożliwia buforowanie nadwyżek energetycznych. Z punktu widzenia infrastrukturalnego, przedsięwzięcie objęło również budowę dróg dojazdowych z kruszywa, technologicznych ścieżek serwisowych oraz ogrodzenia dostosowanego do migracji drobnych zwierząt. Teren między rzędami paneli pozostawiono biologicznie czynnym.

W gminie Ustronie Morskie najbardziej efektywny kąt nachylenia paneli fotowoltaicznych dla farm słonecznych wynosi około 40–43 stopni. Niższe kąty nachylenia sprzyjają wyższej wydajności instalacji latem, gdy słońce znajduje się wysoko na niebie. Z kolei zimą lepsze rezultaty osiągają panele ustawione pod większym kątem, co pozwala lepiej wykorzystać niższe położenie słońca nad horyzontem. Miesięczne uzyski energii prezentuje rycina 2.



Źródło / Source: [Zarabiaj na energii...]

Ryc. 2. Roczna produkcja energii elektrycznej w elektrowni fotowoltaicznej o mocy 1 MW w gminie Ustronie Morskie w 2024 r.

Fig. 2. Annual production of electric energy from a 1 MW photovoltaic farm in the Ustronie Morskie municipality in 2024

Specyfikę lokalizacji farmy na dawnym składowisku poddano analizie. W ramach badań środowiskowych przeprowadzono testy jakości ziemi i wód gruntowych, nie wykazując obecności substancji zagrażających zdrowiu ludzi czy przyrodzie. Odpowiednie organy administracji (w tym Regionalny Dyrektor Ochrony Środowiska oraz Państwowy Powiatowy Inspektor Sanitarny w Kołobrzegu), potwierdziły brak konieczności przeprowadzania dodatkowych ocen oddziaływania na środowisko, pomimo, że teren ten graniczy z obszarem krajobrazowym „Koszański Pas Nadmorski”. Pod względem technologicznym farma oparta jest na 22 rzędach paneli, zorganizowanych w tzw. „stoły”, z których każdy zawiera 8 modułów. Część z nich połączono szeregowo, natomiast resztę równolegle. System zasila 12 skrzynek zbiorczych, które przesyłają prąd do głównego inwertera, a następnie do transformatora i dalej – do sieci elektroenergetycznej. Grunt pod instalacją został obsiany roślinnością trawiastą, co wspiera utrzymanie biologicznej aktywności gruntu. Energia elektryczna przesyłana jest magistralą AC 0,4 kV, a zabezpieczenie systemu obejmuje uziemienia ochronne, samoczynne

wyłączniki bezpieczeństwa oraz izolacje zgodne z układem TN-C-S. Zastosowano również transformator suchy żywiczny, który zmniejsza ryzyko wycieków.

Pod względem ekonomicznym projekt wykazuje wysoki potencjał zwrotu inwestycji. Łączny koszt budowy wyniósł 7,58 mln zł, z czego znaczna część została sfinansowana z dotacji, obniżając ryzyko inwestycyjne. Średnie roczne nasłonecznienie w województwie zachodniopomorskim wynosi 1052 kWh/m², co sprzyja rozwojowi tej inwestycji. Po 29 latach użytkowania przychód ma wynosić około 13 mln zł. W celach szacunkowych przyjęto cenę prądu w wysokości 437 zł/MWh, a także uwzględniono roczne obniżenie sprawności paneli na poziomie 0,35%, co stanowi standardową tendencję spadkową. W pierwszym roku farma fotowoltaiczna osiągnęła przychód w wysokości 476 959 zł. Zgodnie ze spadkiem sprawności paneli w następnych latach produkcja i przychód będą się zmniejszać liniowo. Po 29 latach eksploatacji instalacja fotowoltaiczna będzie generować 429 636 zł przychodu. Oznacza to obniżenie sprawności o 10,15% co nie stanowi znacznej różnicy. Roczna produkcja energii na poziomie 1 MW pozwala na istotne ograniczenie emisji gazów cieplarnianych oraz generuje przychody ze sprzedaży energii do sieci. Dodatkowo projekt miał pozytywny wpływ na lokalną gospodarkę, tworząc miejsca pracy oraz wspierając rozwój infrastruktury.

Realizacja inwestycji możliwa była dzięki spełnieniu licznych wymogów formalnych i technicznych. Ochronę środowiska zapewniono m.in. poprzez zastosowanie technologii ograniczających oślnienie (powłoka antyrefleksyjna), biologicznie czynną powierzchnię pod panelami oraz zabezpieczenia przeciwdziałające migracji zwierząt w obręb instalacji.

Zarządzanie farmą obejmuje systematyczny monitoring techniczny. Przeglądy stanu technicznego komponentów wykonywane są co najmniej raz w roku, natomiast teren biologicznie czynny podlega regularnej pielęgnacji, w tym koszeniu trawy. Systemy alarmowe i monitoring wizyjny zapewniają całodobową ochronę przed ingerencją osób trzecich. Raporty wydajności i diagnostyki technicznej są sporządzane okresowo, co umożliwia ocenę kondycji systemu oraz identyfikację ewentualnych usterek. Dzięki temu farma może funkcjonować niezawodnie i efektywnie przez cały okres eksploatacji.

Wybrana lokalizacja cechuje się korzystnymi warunkami ekspozycyjnymi. Na analizowanym obszarze nie występują zacienienia spowodowane drzewami, zabudową techniczną czy mieszkaniową. Dla zapewnienia najwyższej efektywności pracy systemu przyjęto układ południowy. Charakterystyczną cechą tego terenu, wynikającą z jego dawnego przeznaczenia, jest brak uformowanych skarp czy innych struktur ukształtowania powierzchni, które mogłyby wpływać na rozkład promieniowania słonecznego lub wymagać dodatkowych prac ziemnych. W bezpośrednim sąsiedztwie inwestycji znajduje się również zbiornik wodny, który zgodnie z przeprowadzonymi analizami – nie wpływa na warunki mikroklimatyczne ani na bezpieczeństwo eksploatacji farmy fotowoltaicznej.

Przeprowadzona analiza przypadku Farma fotowoltaiczna w Ustroniu Morskim, potwierdza zasadność i wykonalność instalacji fotowoltaicznych na terenach po rekultywacji składowiska odpadów komunalnych. Cel opracowania, jakim była ocena potencjału tego typu inwestycji, został zrealizowany. Wyniki analizy przypadku ukazują, że odpowiednio przygotowane i zinwentaryzowane tereny zdegradowane mogą skutecznie zostać włączone w system zrównoważonej produkcji energii. Choć rezultaty należy odczytywać w kontekście lokalnych uwarunkowań środowiskowych, technicznych i formalnych, to doświadczenia płynące z tej realizacji stanowią istotną wskazówkę dla przyszłych projektów. Opisany model rekultywacji nie tylko niweluje skutki wcześniejszej degradacji środowiska, lecz także oferuje nowe możliwości zagospodarowania terenów wyłączonych z obiegu gospodarczego. Staje się to realną alternatywą dla inwestycji ingerujących w kolejne obszary przyrodniczo cenne.

IV. PODSUMOWANIE

Zrekultywowane składowiska odpadów komunalnych, niegdyś symbole degradacji środowiska, mogą dziś stać się ikonami zielonej transformacji. Zgodnie z wysokimi wymogami ochrony środowiska w dobie globalnych wyzwań klimatycznych oraz deficytu dostępnych terenów inwestycyjnych, przekształcenie tych obszarów w farmy fotowoltaiczne, jawi się jako rozwiązanie nie tylko logiczne, ale i niezbędne. Instalacje PV, lokalizowane na dawnych składowiskach, wpisują się w założenia zrównoważonego rozwoju, czyli łączą troskę o środowisko przyrodnicze z efektywnym wykorzystaniem przestrzeni, która wcześniej była wyłączona z obiegu gospodarczego.

Doświadczenia z gminy Ustronie Morskie pokazują, że nawet tereny obciążone historycznym bagażem składowania odpadów, po dokonaniu odpowiednich analiz technicznych, środowiskowych i formalnych, mogą uzyskać nowe życie, jako miejsce generowania czystej energii. Co więcej, taki model zagospodarowania, nie tylko niweluje skutki wcześniejszej degradacji terenu, ale również nadaje mu nową funkcję o wymiarze energetycznym, gospodarczym i społecznym. Tego rodzaju inwestycje poprawiają lokalną jakość życia, obniżają emisję gazów cieplarnianych, a także wspierają lokalną gospodarkę poprzez tworzenie miejsc pracy i rozbudowę infrastruktury.

Rekultywacja składowisk przez implementację farm fotowoltaicznych jest więc kierunkiem słusznym, opłacalnym i możliwym do wdrażania na szeroką skalę. Wymaga jednak synergii wielu elementów: odpowiedzialnego planowania, ścisłego przestrzegania regulacji prawnych, zaangażowania inwestorów oraz wsparcia ze strony instytucji publicznych. Jeśli te warunki zostaną spełnione, dawne składowiska mogą stać się nowoczesnymi i zrównoważonymi środowiskowo instalacjami słonecznymi. Gmina Ustronie Morskie jest w posiadaniu 1547 hektarów lasu oraz gruntów leśnych. Swoim proekologicznym podejściem prezentuje, iż nie musi ich obecnie przekształcać, ponieważ przekształcając teren zdegradowany w czynny środowiskowo i gospodarczo, otwiera przed lokalną społecznością możliwość uzyskania wyższej efektywności energetycznej.

Autorka składa serdeczne podziękowania Pani Profesor dr hab. Joannie Kosteckiej, za wnikliwą korektę pierwotnego manuskryptu oraz wersji tekstu po recenzjach artykułu.

BIBLIOGRAFIA

1. Biuletyn informacji publicznej UG Ustronie Morskie [dok. elektr. <https://bip.ustronie-morskie.pl/bip/ogloszenia/decyzje-srodowiskowe/2020/>, data dostępu 06.05.2025].
2. Farma fotowoltaiczna na terenie zrekultywowanego wysypiska śmieci w Ustroniu Morskim. [dok. elektr.: <https://swiatoze.pl/farma-fotowoltaiczna-terenie-zrekultywowanego-wysypiska-smieci-ustroniu-morskim/>, data dostępu: 06.05.2025].
3. Jędrzak A. 2018. Zagospodarowanie terenów poprzemysłowych na potrzeby energetyki odnawialnej. Przegląd Ochrony Środowiska. 48. s. 55.
4. Kaliński J. 2008. Historia gospodarcza XIX i XX wieku. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.
5. Klugmann-Radziemska E. 2023. Energetyka i ochrona środowiska. Polskie Wydawnictwo Naukowe PWN.
6. Koda E. 2014. Procedury techniczno-technologiczne stawiane zamykaniu i rekultywacji składowisk komunalnych. Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska. SGGW. Warszawa. 37-38.
7. Łuczak-Wilamowska B. 2013. Uwarunkowania geologiczne składowania odpadów komunalnych. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego. 455. 1-142.

8. Mamak M., Kicińska A. 2016. Zamykanie i rekultywowanie dzikich składowisk odpadów niespełniających wymagań prawnych po wejściu Polski do UE na przykładzie wybranego składowiska z terenu nowosądeckiego. Uniwersytet Zielonogórski. Zeszyty Naukowe. 162. 42.
9. Manczarski P., Lewicki R. 2012. Wytyczne dotyczące zamykania i rekultywacji składowisk odpadów komunalnych. Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Warszawa.
10. Mazur R., Mielniczuk W. 2019. Projekt techniczny zamknięcia i rekultywacji składowiska odpadów. Tomaszów Lubelski. Michałowice. 34.
11. Plan Gospodarki Niskoemisyjnej w Gminie Ustronie Morskie [dok. elektr. https://www.ustronie-morskie.pl/upload/file/Lewe_menu/PGN_-_Plan_Gospodarki_Niskoemisyjnej.pdf /]. data dostępu: 06.05.2025].
12. Polityka Energetyczna Polski 2040. [dok. elektr.: <https://www.gov.pl/web/klimat/polityka-energetyczna-polski> . data dostępu: 06.05.2025].
13. Rosik-Dulewska Cz. 2023. Podstawy gospodarki odpadami. Wydawnictwo Naukowe PWN S.A. Warszawa.
14. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 kwietnia 2013 r. w sprawie składowisk odpadów (Dz. U. z 2013 r. poz. 523 z późn. zm.).
15. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane. (Dz. U. z 2025 r. poz. 418).
16. Ustawa z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko. Dz.U. 2008 nr 199 poz. 1227 z późn. zm. [dok. elektr. <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU2008199122/>. data dostępu: 06.05.2025].
17. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach. (Dz. U. z 2023 r. poz. z późn. zm. 1587).
18. Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. – Prawo wodne (Dz. U. z 2025 r. poz. 960 t.j.).
19. Ustronie Morskie – monitoring. Farmy fotowoltaiczne Ustronie Morskie, wycena i wykonanie farmy słonecznej. [dok. elektr.: <https://farmy.pl/zachodniopomorskie/kolobrzescki/w/ustronie-morskie/>. data dostępu 06.05.2025].
20. Wiśniewska M. 2018. Eksploatacja, zamknięcie i rekultywacja składowisk niezorganizowanych na przykładzie składowiska „Łysa Góra”. Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska. Politechnika Warszawska. Warszawa. ss. 45.
21. Zarabiam na energii ze słońca w Ustroniu Morskim. [dok. elektr.: <https://swiatoze.pl/farma-fotowoltaiczna-terenie-zrekultywowanego-wysypiska-smieci-ustroniu-morskim/>. data dostępu 06. 05. 2025].