



DOI: <https://doi.org/10.14597/infraeco.2024.009>

**WYKORZYSTANIE ZREKULTYWOWANYCH
SKŁADOWISK ODPADÓW NA POTRZEBY BUDOWY
INSTALACJI FOTOWOLTAICZNYCH**

**USE OF THE RECLAIMED WASTE LANDFILLS FOR THE
CONSTRUCTION OF PHOTOVOLTAIC INSTALLATIONS**

Klaudia HERBA¹, Mateusz MALINOWSKI¹, Stanisław BODZIACKI¹

STRESZCZENIE

Wytwarzanie energii z odnawialnych źródeł energii (OZE) polega na wykorzystaniu naturalnych zasobów i procesów zachodzących w przyrodzie. Dzięki efektowi fotowoltaicznemu, który umożliwia wytwarzanie energii elektrycznej w wyniku absorpcji światła przez materiały półprzewodnikowe, pozyskiwanie energii słonecznej zyskuje na popularności zarówno wśród konsumentów indywidualnych, jak i przedsiębiorstw. Praca swoim zakresem obejmuje rozpoznanie możliwości wykorzystania zrehabilitowanych składowisk odpadów jako potencjalnych lokalizacji farm fotowoltaicznych (PV) na przykładzie województwa małopolskiego. Celem pracy było opracowanie zbioru kryteriów lokalizacyjnych oraz zastosowanie metody AHP, aby wskazać optymalne składowisko, na którym możliwe byłoby wybudowanie farmy PV. Dodatkowo z wykorzystaniem oprogramowania EasySolar dobrano odpowiednią instalację PV dla wskazanego składowiska, określając również potencjalną ilość energii elektrycznej, którą można pozyskać w ciągu roku. Przeprowadzona analiza umożliwiła identyfikację optymalnego składowiska spośród 41 rozpatrywanych lokalizacji. Dla wybranego miejsca zaproponowano zastosowanie modułów PV typu monokrystalicznego (Jinko JKM550M-72HL4-V) o mocy 550 W. Moc zaprojektowanej instalacji wynosi 903 kWp, a potencjalny roczny uzysk energii z tej instalacji szacowany jest na 787,5 MWh.

Słowa kluczowe: składowisko, AHP, instalacja fotowoltaiczna

ABSTRACT

The generation of energy from renewable energy sources (RES) involves the utilization of natural resources and processes occurring in nature. Thanks to the photovoltaic effect, which allows for the generation of electricity through the absorption of light by semiconductor materials, solar energy harvesting is gaining popularity

¹ *Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kollątaja w Krakowie*

among both individual consumers and businesses. This work encompasses the identification of the possibilities for utilizing reclaimed waste landfills as potential locations for photovoltaic (PV) farms, exemplified by the Małopolska region. The aim of the study was to develop a set of location criteria and to apply the AHP method to identify the optimal landfill where a PV farm could be built. Additionally, using the EasySolar software, an appropriate PV installation was selected for the indicated landfill, also determining the potential amount of electricity that could be generated over the course of a year. The conducted analysis allowed for the identification of the optimal landfill among 41 considered locations. For the selected site, the use of monocrystalline PV modules (Jinko JKM550M-72HL4-V) with a power output of 550 W was proposed. The designed installation has a capacity of 903 kWp, and the potential annual energy yield from this installation is estimated at 787.5 MWh.

Keywords: landfill, AHP, photovoltaic installation

WSTĘP

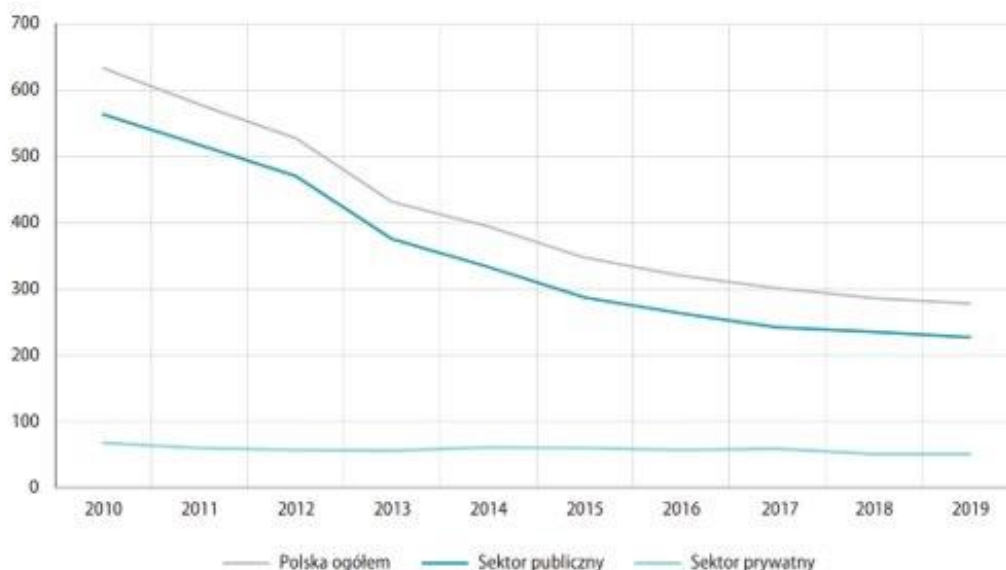
Ze względu na dynamiczny wzrost liczby ludności na świecie, niestabilną politykę zagraniczną, obawy związane z wyczerpywaniem się paliw kopalnych, wahaniami cen ropy naftowej i zwiększonym poziomem emisji gazów cieplarnianych, rośnie potrzeba wprowadzenia zrównoważonej gospodarki energetycznej (Gródek-Szostak i in., 2021; Sannö i in., 2019). Zrównoważona gospodarka energetyczna to takie podejście do zarządzania zasobami energetycznymi, aby zapewnić odbiorcom stabilne dostawy energii elektrycznej i ciepła, a przy tym zminimalizować negatywny wpływ na środowisko (m.in. przez wzrost efektywności energetycznej, inteligentne sieci energetyczne, edukację oraz świadomość społeczną, a przede wszystkim wdrażanie odnawialnych źródeł energii (OZE)) (Kurpaska i in., 2019; Bodziacki i in., 2024). Oprócz wykorzystywania elektrowni wodnych, biopaliw i elektrowni wiatrowych w produkcji energii, coraz większy udział zyskuje energia pozyskiwana ze słońca, m.in. z instalacji fotowoltaicznych (PV) (GUS, 2023; Sowa, 2018). Produkcja energii z instalacji fotowoltaicznych jest zależna od pory dnia, warunków pogodowych (chmury, deszcz i śnieg wpływają na sprawność paneli PV), sezonowości (ilość dostępnej energii słonecznej zmienia się w ciągu roku) oraz szerokości geograficznej.

W celu złagodzenia kryzysu energetycznego i zminimalizowania emisji dwutlenku węgla, nieuniknione jest wytwarzanie energii elektrycznej z systemów PV. W celu zaspokojenia globalnie rosnącego zapotrzebowania na energię elektryczną, prowadzone są liczne inwestycje w farmy PV o mocy od kilkudziesięciu do kilkuset megawatów. Realizacja celu Unii Europejskiej w zakresie neutralności emisyjnej, który ma zostać osiągnięty w 2050, wymaga aby udział instalacji PV rósł systematycznie w krajowych systemach energetycznych zastępując elektrownie na paliwa konwencjonalne (Lai i in., 2017; IEA, 2021). W scenariuszu zerowej emisji netto opracowanej przez Międzynarodową Agencję Energii kluczową rolę pełni efektywność energetyczna. W idealnym przypadku świat musi stać się o jedną trzecią bardziej energooszczędny, szczególnie w takich branżach jako: budownictwo, transport i przemysł (IEA, 2021).

Pierwsze farmy PV były budowane w miejscach, gdzie najbliższe otoczenie terenu nie powodowało zakłócania sprawności ogniw PV. Kluczowe czynniki, które brano pod uwagę przy wyborze lokalizacji farm PV obejmowały przede wszystkim: nasłonecznienie, czyli ilość dostępnego światła słonecznego, które pada bezpośrednio na ogniwa oraz unikanie naturalnych (drzewa) lub sztucznych (obiekt budowlany) przeszkód rzucających cień na ogniwa (które mogłyby powodować obniżenie efektywności produkcji energii) (Piyatadsananon, 2016). Pod budowę farmy PV wybierano tereny płaskie lub lekko nachylone (z niewielkim spadkiem) ze względu na techniczne aspekty montażu instalacji w porównaniu z terenami górzystymi. Pod budowę farmy PV uwzględniano również obszary z dostępnością do infrastruktury technicznej, szczególnie w zakresie możliwości podłączenia systemu PV do sieci elektroenergetycznej (Ali i in., 2019; Bandira i in., 2022). Ostatnim czynnikiem, na który zwracano uwagę (ale w mniejszym stopniu) była: ochrona środowiska, zgodnie z którym wybierano tereny zdegradowane (Hasti i in., 2022) lub nieużytki. Aktualnie inwestorzy coraz częściej budują farmy PV na terenach nienadających się do użytku publicznego i zamieszkania oraz bez możliwości innego sposobu zagospodarowania terenu m.in. zrehabilitowane składowiska odpadów, tereny o IV, V i VI klasie bonitacyjnej gleby oraz na jeziorach (Noorollahi i in., 2016; Exley i in., 2021).

Zagospodarowanie terenów zrehabilitowanych poprzez montaż instalacji PV jest korzystnym rozwiązaniem, które łączy w sobie aspekty ekologiczne, ekonomiczne i techniczne. Pozwala na efektywne wykorzystanie obszarów, które w innym przypadku pozostawałyby nieużyteczne, przyczyniając się jednocześnie do zwiększenia produkcji czystej energii i wspierania zrównoważonego rozwoju (D'Obyrn i Wójcik, 2015). Problemy energetyczne kraju od kilku lat przeplatają się z problemami zagospodarowania odpadów i wciąż stanowią najważniejsze wyzwania inżynierii środowiska, energetyki i inżynierii mechanicznej.

Każdego roku przeciętny mieszkaniec Polski wytwarza średnio 342 kg odpadów komunalnych (GUS, 2021) z tendencją wzrostową tego wskaźnika. Gospodarka odpadami komunalnymi jeszcze na początku XXI wieku polegała w Polsce głównie na składowaniu tych odpadów. Spowodowało to powstanie ogromnej liczby składowisk odpadów. Składowiska budowane w latach 70-tych, 80-tych i 90-tych XX wieku bardzo często nie posiadały odpowiednich zabezpieczeń przeciwdziałających emisji niezorganizowanej. Do głównych emisji ze składowisk zalicza się: odcieki, pyły, gazy, mikroorganizmy i inne. Przepisy w sprawie składowisk związane z transpozycją Dyrektyw Unii Europejskiej z 1991, 2008 i 2018 roku w sprawie odpadów i składowania odpadów doprowadziły do zamknięcia ponad połowy istniejących składowisk w Polsce (rys. 1). Do najważniejszych powodów zamykania składowisk należały: brak instalacji do odzysku biogazu oraz nieprawidłowe prowadzenie składowiska (np. brak warstwowego gromadzenia odpadów).



Rysunek 1. Liczba czynnych składowisk odpadów w latach 2010-2019

Figure 1. Number of active landfills in 2010-2019

Źródło / Source: GUS, 2020

Zamknięte składowiska odpadów mają szczególne zalety i cechy lokalizacji, które sprzyjają wykorzystaniu ich pod budowę instalacji fotowoltaicznych. Duża i otwarta przestrzeń zamkniętego składowiska, brak rywalizacji z gruntami rolnymi oraz brak wpływu na obszary mieszkalne (ponieważ te zazwyczaj są oddalone od składowisk). Składowiska zlokalizowane są z dala od obszarów chronionych, parków narodowych, rezerwatów przyrody, siedlisk roślin i zwierząt, co oznacza, że przekształcenie sposobu użytkowania składowiska nie wpłynie negatywnie na wrażliwe ekosystemy.

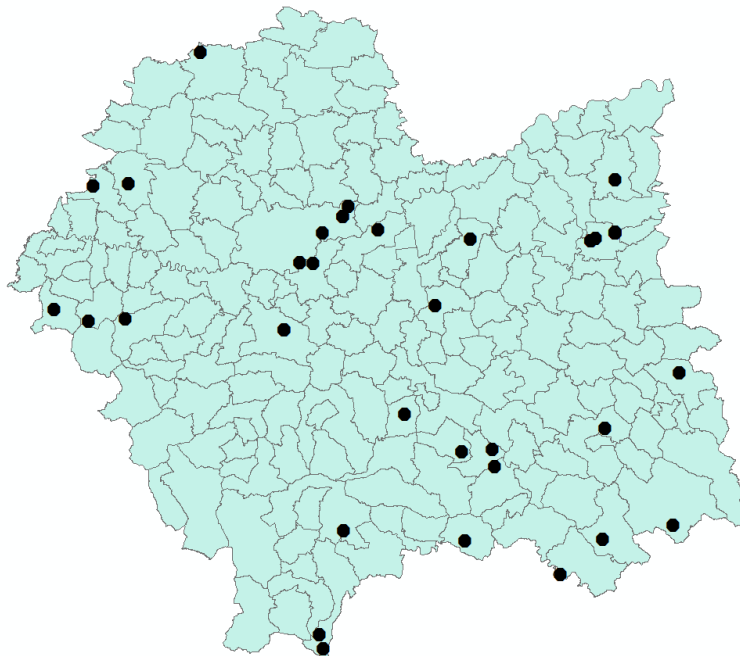
W większości składowiska odpadów wyposażone są w przyłącza do sieci elektroenergetycznej, z których korzystano gdy składowiska funkcjonowały. Energia elektryczna produkowana na zamkniętych składowiskach odpadów może być wykorzystywana na wiele sposobów w obrębie składowiska lub jego okolicy m.in. do zaopatrywania w energię elektryczną gminy (pompowanie wody drenażowej, uzdatnianie wody, monitoring, oświetlenie i inne) (Szabó i in., 2017).

Zamknięte składowiska są zagospodarowywane pod kątem biologicznym lub technicznym. Celem niniejszej pracy jest rozpoznanie możliwości wykorzystania zrehabilitowanych składowisk odpadów (w woj. małopolskim) jako potencjalnych lokalizacji farm fotowoltaicznych (PV) poprzez dobranie zbioru kryteriów lokalizacyjnych oraz zastosowanie metody AHP, w kierunku wskazania optymalnego składowiska (pod kątem budowy instalacji fotowoltaicznej) oraz oszacowanie ilości energii możliwej do uzyskania z zaprojektowanej instalacji fotowoltaicznej.

METODYKA BADAŃ

Z zasobów Urzędu Marszałkowskiego Województwa Małopolskiego w Krakowie pozyskano informacje o lokalizacji zamkniętych składowisk w województwie małopolskim (rys. 2) w ostatnich 30 latach. Dane te zawierały także: datę i powód zamknięcia składowiska, powierzchnię, typ

składowiska (przeznaczone do składowania odpadów obojętnych, niebezpiecznych, inne niż obojętne i niebezpieczne) oraz kierunek rekultywacji. Ponadto dla każdego z obiektów określono spadek (‰) i kierunek nachylenia terenu, a także aktualną formę użytkowania.



Rysunek 2. Lokalizacja składowisk odpadów objętych analizą
Figure 2. Location of the analyzed waste landfills

W celu wskazania optymalnego składowiska pod budowę instalacji fotowoltaicznej zastosowano metodę Analitycznego Procesu Hierarchicznego (AHP), która pozwoliła finalnie na opracowanie listy składowisk uporządkowanych pod względem możliwości wykorzystania ich pod budowę tego typu instalacji, w tym wskazanie tego najkorzystniejszego obiektu. Metoda AHP jest powszechnym oraz złożonym narzędziem służącym do podejmowania decyzji, który bazuje na porównywaniu parami kryteriów wyboru (Tułcecki i Król, 2007; Wota i Woźniak, 2015). Metoda AHP jest narzędziem uniwersalnym, wykorzystywanym w ekonomii, inżynierii produkcji, a także w ocenach środowiskowych i wielu innych. Bazuje na wiedzy ekspertów, którzy oceniają kryteria optymalizacyjne oraz warianty decyzyjne porównując je parami i przypisując tak utworzonym parom oceny od 1 do 9 (gdzie cyfra 1 oznacza, że porównywane cechy są sobie równe, a cyfra 9, że jedna z cech posiada ekstremalną przewagę nad drugą). Istotną zaletą tej metody jest fakt, że oceny dokonywane przez ekspertów również podlegają ocenie poprzez obliczenie współczynnika zgodności ocen (Saaty, 2004). Takie podejście umożliwia wyeliminowanie ocen dokonywanych przez ekspertów w sposób niekonsekwentny. W tej pracy powołano 10 ekspertów, w tym zajmujących się eksploatacją składowisk (5 osób) oraz rekultywacją terenów zdegradowanych (5 osób).

Metoda AHP została opracowana przez Thomasa L. Saaty w latach 70-tych XX wieku. Szczegółowy opis metody i jej wykorzystanie w problemach lokalizacji obiektów komunalnych zostały opisane m.in. przez Malinowski i in. (2021) oraz Wiącek i Malinowski (2023).

W metodzie AHP wykorzystywane są kryteria oraz warianty decyzyjne. W tym przypadku wariantami było 41 zamkniętych składowisk odpadów. Kryteria optymalizacyjne zostały wskazane przez zaproszonych do badań ekspertów. Spośród zaproponowanych dziesięciu kryteriów do analizy przyjęto następujących sześć:

- powierzchnia zamkniętego składowiska, która potencjalnie może być wykorzystana pod instalację PV. Im większa powierzchnia tym korzystniej ze względu na większy obszar pod potencjalną lokalizację instalacji PV,
- kierunek rekultywacji składowiska (Koda, 2014; Koda i in, 2023):
 - techniczny – charakteryzuje się ukształtowaniem terenu składowiska w sposób nadający odpowiednie nachylenie skarpom, które umożliwią prawidłowe spływanie wód opadowych. Zalecane nachylenie wynosi 1:2,5 (składowiska predysponowane pod PV),
 - biologiczny – pokrywa biologiczna składowiska ma zapobiegać procesom erozyjnym, a także prowadzić do inicjacji procesów glebotwórczych (składowiska niepredysponowane pod PV),
 - techniczno-biologiczny (składowiska predysponowane pod PV),
- ukształtowanie terenu (płaskie, lekkie nachylenie oraz zmienne nachylenie). W kontekście projektowania instalacji fotowoltaicznej najkorzystniejszy jest teren względnie płaski lub o małym spadku,
- kierunek nachylenia składowiska w części dostępnej pod instalację PV (ekspozycja). Panele skierowane w stronę południową pozwalają na największe uzyski energii w europejskich szerokościach geograficznych,
- proces rekrutacji (korzystnie, aby proces został już zakończony),
- gotowość terenu do montażu instalacji pod względem istniejących przyłączy infrastrukturalnych.

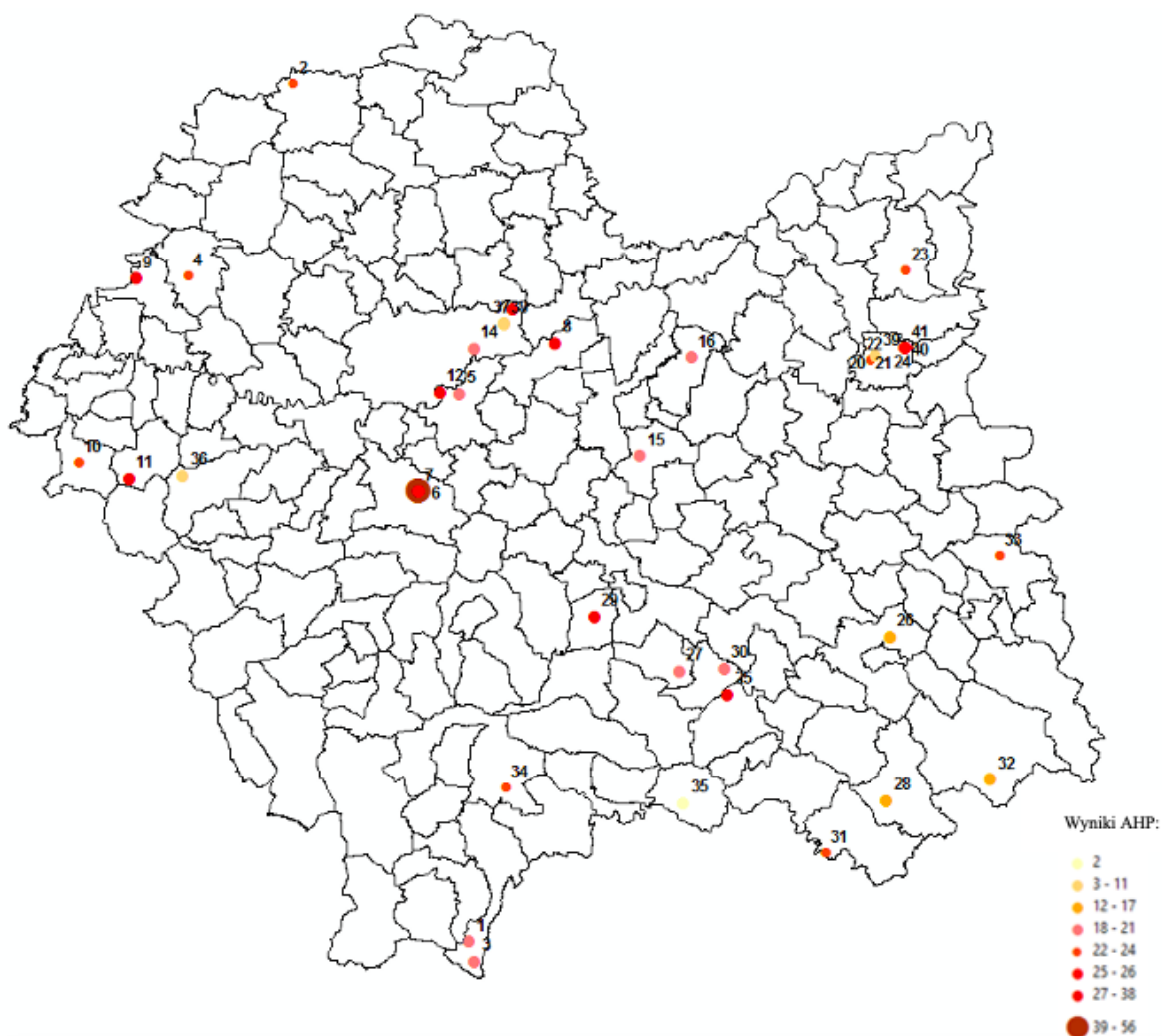
Dla składowiska o najkorzystniejszych warunkach lokalizacyjnych dobrano rodzaj instalacji PV oraz oszacowano ilość energii elektrycznej możliwej do uzyskania. Do zaprojektowania instalacji PV wzięto pod uwagę następujące dane klimatyczne: średnią roczną temperaturę dla woj. małopolskiego, która wynosi około 7,6°C (GUS, 2021), średnie roczne nasłonecznienie ($1120 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$), średnią liczbę dni z opadem śniegu (23 dni) oraz średnią sumę opadów (615 mm, przy 143 dniach deszczowych w ciągu roku) (Weather Online).

Istnieje wiele narzędzi i programów, których zadaniem jest wspomaganie procesu projektowania instalacji fotowoltaicznych. Do najpopularniejszych należą: PVGIS, Sunny Design, PV*SOL i EasySolar. Są one wykorzystywane przede wszystkim przez firmy komercyjne. Oprogramowania te pozwalają na przyspieszenie procesu projektowania, zmniejszają ryzyko popełnienia błędu przy obliczeniach oraz zwiększają dokładność obliczanych parametrów. Do zaprojektowania instalacji PV w niniejszej pracy wykorzystano oprogramowanie EasySolar (EasySolar Sp. z o.o., Lublin, Polska). Program ten umożliwia profesjonalne zaprojektowanie systemu fotowoltaicznego wraz z wykonaniem dokumentacji technicznej i ekonomicznej oraz wizualizacją wyników. Program współpracuje z Google Maps oraz pozwala na przeprowadzenie obliczeń uzysku energii elektrycznej na podstawie współrzędnych geograficznych.

WYNIKI

Porównanie parami przyjętych 6 kryteriów optymalizacyjnych przez ekspertów oraz ustalenie średnich ocen z tego porównania pozwoliło na wyznaczenie ostatecznych wag kryteriów, a więc wpływu poszczególnych kryteriów na wybór optymalnego składowiska pod budowę instalacji PV. Największą wagę uzyskało kryterium związane z zakończeniem procesu rekultywacji składowiska (36%), a w następnej kolejności ekspozycja składowiska (30%). Za najmniej istotne zostały uznane: dostępna powierzchnia składowiska (3%), ukształtowanie terenu (6%) oraz gotowość terenu do montażu instalacji (8%).

Każdą z 41 lokalizacji również poddano ocenie parami (dokonanej przez ekspertów) względem każdego z 6 kryteriów. W efekcie uszeregowano analizowane składowiska od najkorzystniejszego do najmniej korzystnego pod względem budowy farmy PV (rys. 3).

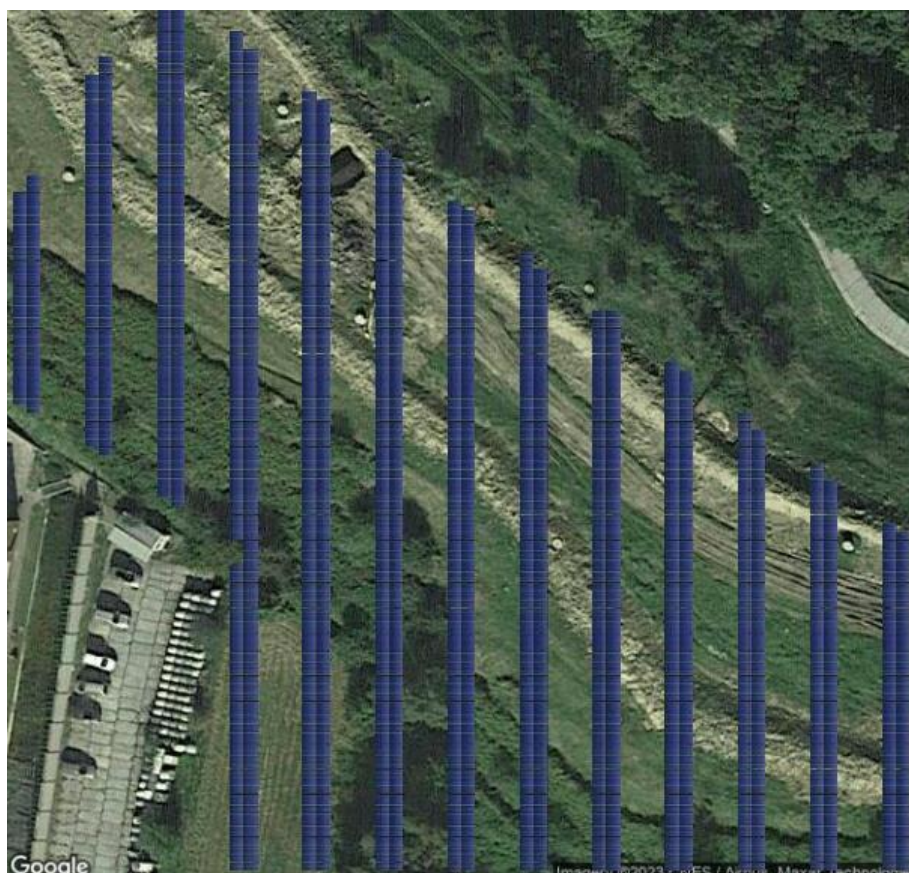


Rysunek 3. Wizualizacja obliczeń metodą AHP dla analizowanych składowisk
Figure 3. Visualization of AHP calculations for the analyzed landfills

Najwyższą ocenę uzyskała lokalizacja numer 6 (rys. 3). Jest to zamknięte składowisko odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne w Myślenicach

(powiat myślenicki). Jego kierunek rekultywacji to techniczno-biologiczny. Składowisko zajmuje 8 ha i cechuje się niewielkim spadkiem terenu, który skierowany jest w kierunku zachodnim. Przewaga punktowa nad drugim w kolejności składowiskiem wyniosła aż 14 pkt.

Po wskazaniu optymalnego składowiska wykonano dokładne mapowanie tej lokalizacji. Kolejny etap projektowania instalacji obejmował obrysowywanie potencjalnej powierzchni instalacji w programie EasySolar. Następny etap obejmował dobranie odpowiednich paneli fotowoltaicznych, ich nachylenia, azymutu, odległości pomiędzy rzędami oraz wizualizację instalacji (rys. 4). Wybrane moduły to JKM550M-72HL4-V produkowane przez firmę JinkoSolar (Szanghaj, Chiny).



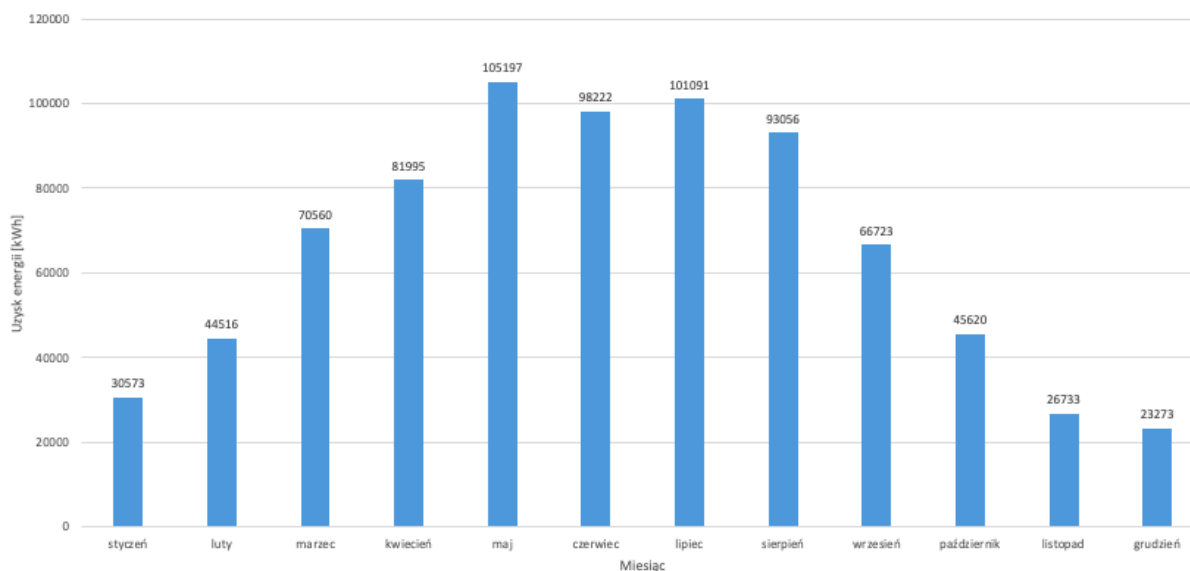
Rysunek 4. Wizualizacja projektowanej instalacji fotowoltaicznej na składowisku odpadów w Myślenicach

Figure 4. Visualization of the designed photovoltaic installation at the landfill in Myślenice

Zgodnie z projektem instalacja obejmuje 1643 sztuki paneli fotowoltaicznych. Jej łączna moc wynosi 903,65 kWp. Ze względu na problematyczność w serwisowaniu oraz użytkowaniu, nie zdecydowano się na jeden inwerter centralny. Zamiast tego zaproponowano zainstalowanie 15 falowników szeregowych o mocy 60 kW, produkowanych przez firmę SOFAR SOLAR (Tarnów, Polska), model 60000TL.

Na rysunku 5 zaprezentowano potencjalny uzysk mocy w ujęciu miesięcznym. Łączna szacowana ilość wyprodukowanej energii elektrycznej w ciągu roku wynosi 787 559 kWh. W wycenie instalacji ujęty został koszt

modułów fotowoltaicznych, inwerterów, uzgodnienia przeciwpożarowego, konstrukcji wsporczych oraz zabezpieczeń. Łączny koszt instalacji fotowoltaicznej wyniesie 2 637 179, 51 PLN.



Rysunek 5. Produkcja energii z instalacji fotowoltaicznej [kWh]
Figure 5. Energy production from a photovoltaic installation [kWh]

Jednym z najlepszych rozwiązań w zakresie budowania nowych instalacji PV pod kątem ekonomicznym i ekologicznym jest montowanie ich na terenach poeksploatacyjnych, przekształconych antropogenicznie. Należą do nich m.in. zamknięte składowiska odpadów, zamknięte kopalnie itp. Komisja Europejska wspiera strategiczne podejście do ponownego wykorzystania gruntów zdegradowanych i nieużytków, które można przeznaczyć na niskoemisyjne inwestycje (np. instalacje PV). Często tereny zrekultywowane mają w sobie problem taki, iż grunt nie jest stabilny. Niemniej jednak Heib (2022) w swojej pracy przedstawił zalety i ograniczenia instalacji PV na opuszczonych zwałowiskach, gdzie stwierdzono, że mimo niestabilnego podłoża obecne rozwiązania techniczne niwelują zagrożenie i umożliwiają montaż instalacji PV.

WNIOSKI

Metoda Analitycznego Procesu Hierarchicznego jest narzędziem odpowiednim do podejmowania skomplikowanych procesów decyzyjnych. Na podstawie 6 kryteriów lokalizacyjnych (które zostały zaproponowane przez ekspertów i zważone z wykorzystaniem metody AHP), w pracy dokonano uszeregowania 41 zamkniętych składowisk odpadów na terenie województwa małopolskiego. Jedną z tych lokalizacji okazała się być najbardziej korzystną pod budowę instalacji fotowoltaicznej. Program EasySolar jest optymalnym narzędziem do projektowania oraz wizualizacji instalacji fotowoltaicznych. Na wybranym składowisku można umieścić instalację fotowoltaiczną, która pozwoli na uzysk energii elektrycznej w ilości $787\,559 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$.

LITERATURA

1. Ali, S., Taweekun, J., Techato, K., Waewsak, J., Gyawali, S. (2019). GIS Based site suitability assessment for wind and solar farms in Songkhla, Thailand. *Renewable Energy*, 132, 1360–1372.
2. Bandira, P.N.A., Tan, M.L., The, S.Y., Samat, N., Shaharudin, S.M., Mahamud, M.A., Tangang, F., Juneng, L., Chung, J.X., Samsudin, M.S. (2022). Optimal Solar Farm Site Selection in the George Town Conurbation Using GIS-Based Multi-Criteria Decision Making (MCDM) and NASA POWER Data. *Atmosphere*, 13, 2105.
3. Bodziacki, S., Malinowski, M., Famielec, S., Krakowiak-Bal, A., Basak, Z., Łukasiewicz, M., Wolny-Koładka, K., Atılgan, A., Artun, O. (2024). Environmental Assessment of Energy System Upgrades in Public Buildings. *Energies*, 17, 3278.
4. D'Obyrn, K., Wójcik, W. (2015). Optymalne rozwiązania rekultywacji terenu na wybranych przykładach. *Acta Universitatis Nicolai Copernici Ekonomia*, 46, 225–237.
5. Exley, G., Armstrong, A., Page, T., Jones, I.D. (2021). Floating photovoltaics could mitigate climate change impacts on water body temperature and stratification, *Solar Energy*, 219, 24–33.
6. Gródek-Szostak, Z., Malinowski, M., Suder, M., Kwiecień, K., Bodziacki, S., Vaverková, M.D., Maxianová, A., Krakowiak-Bal, A., Ziemiańczyk, U., Uskij, H., Kotulewicz-Wisińska, K., Lisiakiewicz, R., Niemczyk, A., Szląg-Sikora, A., Niemiec, M. (2021). Energy Conservation Behaviors and Awareness of Polish, Czech and Ukrainian Students: A Case Study. *Energies*, 14, 5599.
7. GUS - Główny Urząd Statystyczny. (2020). Gospodarka mieszkaniowa i infrastruktura komunalna w 2019 r. https://stat.gov.pl/files/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5492/13/14/1/gospodarka_miezkaniowa_i_infrastruktura_komunalna_w_2019_r.pdf, data pobrania (7.12.2024).
8. GUS - Główny Urząd Statystyczny. (2021). Ochrona środowiska 2021. https://stat.gov.pl/download/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5484/1/22/1/ochrona_srodowiska_2021.pdf, data pobrania (11.10.2024).
9. GUS - Główny Urząd Statystyczny (2023). Energia ze źródeł odnawialnych w 2022 roku. https://stat.gov.pl/download/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5485/3/17/1/energia_ze_zrodel_odnawialnych_w_2022_r.pdf, data pobrania (10.09.2024).
10. Hasti, F., Mamkhezri, J., Pezhooli, N., McFerrin, R. (2022). Optimal PV sites selection using Gis-based modelling techniques and assessing environmental and economic impacts: The case of Kurdistan. *SSRN Electronic Journal*, 1-29.
11. Heib, M.A. (2022). Assessment of advantages and limitations of installing PV on abandoned dumps. *Górnictwo odkrywkowe*, 63(4), 4-9.
12. IEA - International Energy Agency. (2021). Net Zero by 2050. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>, data pobrania (07.01.2023).
13. Koda, E. (2014). Procedury techniczno-technologiczne stawiane zamykaniu i rekultywacji składowisk odpadów komunalnych. W (red.), *Rekultywacja składowisk: Ogólnopolska Konferencja, Poznań - Brandenburgia*, 7-8 maja 2014 r. 35–55.

14. Koda, E., Osiński, P., Podlasek, A., Markiewicz, A., Winkler, J., Vaverková M.D. (2023). Geoenvironmental approaches in an old municipal waste landfill reclamation process: Expectations vs reality. *Soils and Foundations*, 63(1), 101273.
15. Kurpaska, S., Latała, H., Malinowski, M., Kiełbasa, P. (2019). Efficiency of solar conversion in flat plate and vacuum tube solar collectors. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 214, 012033.
16. Lai, Ch.S., Jia, Y., Lai, L.L., Xu, Z., Mcculloch, M., Wong, K. (2017). A comprehensive review on large-scale photovoltaic system with applications of electrical energy storage. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 439-451.
17. Malinowski, M., Guzdek, S., Petryk, A., Tomaszek, K. (2021). A GIS and AHP-based approach to determine potential locations of municipal solid waste collection points in rural areas. *Journal of Water and Land Development*, 51, 94-101.
18. Noorollahi, E., Fadai, D., Akbarpour Shirazi, M., Ghodsipour, S.H. (2016). Land Suitability Analysis for Solar Farms Exploitation Using GIS and Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)—A Case Study of Iran. *Energies*, 9, 643.
19. Piyatadsananon, P. (2016). Spatial factors consideration in site selection of ground-mounted PV power plants. *Energy Procedia*, 100, 78–85.
20. Saaty, T.L. (2004). Decision making – the analytic hierarchy and network processes (AHP/ANP). *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 13(1), 1-35.
21. Sannö, A., Johansson, M.T., Thollander, P., Wollin, J., Sjögren, B. (2019). Approaching Sustainable Energy Management Operations in a Multinational Industrial Corporation. *Sustainability*, 11, 754.
22. Sowa, S. (2018). Odnowialne źródła energii jako czynniki wpływający na poprawę efektywności energetycznej. *Zeszyty Naukowe Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*, 105, 187-196.
23. Szabó, S., Bódis, K., Kougias, I., Moner-Girona, M., Jäger-Waldau, A., Barton, G., Szabó, L. (2017). A methodology for maximizing the benefits of solar landfills on closed sites. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 1291-1300.
24. Tułeczki, A., Król, S. (2007). Modele decyzyjne z wykorzystaniem metody Analitical Hierarchy Process (AHP) w obszarze transportu. *Problemy Eksploatacji*, 4, 171-179.
25. Weather Online. Dostępne online: <https://www.weatheronline.pl> (dostęp 20 czerwca 2024).
26. Wiącek, M., Malinowski, M. (2023). Metoda identyfikacji potencjalnych lokalizacji farm wiatrowych na terenach wiejskich. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 1, 205-220.
27. Wota, A.K., Woźniak, A. (2015) The application of the SWOT and AHP methods for the assessment of region's strategic position in the aspect of wind energy. *Agricultural Engineering*, 19(4), 129-138.

Corresponding Author: Mateusz Malinowski, prof. URK
e-mail: mateusz.malinowski@urk.edu.pl
ORCID: 0000-0003-1364-1256

Stanisław Bodziacki
e-mail: stanislawbodziacki@gmail.com
ORCID: 0000-0003-3027-1031

Klaudia Herba

Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie
Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki
ul. Balicka 116b, 30-149 Kraków

Wpłynęło: 20.10.2024 r.
Zwrócono po recenzji: 05.12.2024 r.
Zaakceptowano: 08.12.2024 r.