

# ZINTEGROWANE PODEJŚCIE DO KRÓTKO- I DŁUGOTERMINOWEGO MONITORINGU REKULTYWACJI TERENÓW POGÓRNICZYCH - WYBRANE ASPEKTY PROJEKTU REECOL

## AN INTEGRATED APPROACH TO SHORT- AND LONG-TERM MONITORING OF POST-MINING LAND RECLAMATION - SELECTED ASPECTS OF THE REECOL PROJECT

**Marcin Maksymowicz, Makary Musiałek – „Poltegor-Institut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław**

DOI:10.5604/01.3001.0055.1284

### Streszczenie

Monitoring przebiegu procesów rekultywacyjnych jest niezwykle istotny celem oceny ich skuteczności oraz podejmowania decyzji. W ramach projektu REECOL, wyznaczono szereg obszarów eksperymentalnych, w których testowane są nowe rozwiązania ekologicznej rehabilitacji gleb oraz prowadzony jest pilotażowy monitoring. W artykule przedstawiono założenia oraz wstępne wyniki dwóch pilotażowych programów monitoringu środowiskowego realizowanych na terenie pogórnym odkrywki Józwin IIB. Celem pierwszego, małoskalowego programu jest ocena wpływu kompostowania na poprawę parametrów glebowych i wzrost roślinności w ramach strategii rekultywacji ekologicznej. W tym celu założono trzy doświadczalne poletka o powierzchni 82 m<sup>2</sup> każde. Monitoring obejmuje pobór prób glebowych w sezonach wiosennych i jesiennych w latach 2024–2026, a także ocenę wizualną i spektralną (UAV) rozwoju roślinności. Analizowane są m.in. właściwości fizykochemiczne gleby, zawartość materii organicznej oraz aktywność mikrobiologiczna. Drugi, wielkoskalowy program monitoringu zakłada długoterminową ocenę postępów rekultywacji na większym fragmencie zwalowiska wewnętrznego, z wykorzystaniem zobrażeń satelitarnych misji Sentinel-2. Celem jest identyfikacja obszarów wymagających dalszych działań. Analiza obejmuje badania szeregowych czasowych wskaźników spektralnych (NDVI, NDWI), uwzględniając przy tym zobrażenia archiwalne. Przedstawiono również wstępne wyniki oceny stanu wyjściowego środowiska oraz pierwsze rezultaty monitoringu. Projekt pt. „Ekologiczna rehabilitacja i długoterminowy monitoring obszarów pogórnym” (REECOL) jest realizowany przez Pracownię Zrównoważonego Rozwoju i Współpracy Międzynarodowej „Poltegor-Institut” i potrwa do końca 2026 roku.

**Słowa kluczowe:** monitoring, rekultywacja terenów pogórnym, ekologiczna rehabilitacja gleb, teledetekcja

### Abstract

Monitoring of the reclamation processes is crucial for evaluating their effectiveness and supporting decision-making. As part of the REECOL project, several experimental areas have been designated to test new ecological soil rehabilitation solutions and conduct pilot monitoring. This article presents the framework and preliminary results of two pilot environmental monitoring programs implemented in the post-mining area of the Józwin IIB open-pit mine. The aim of the first, small-scale program is to assess the impact of composting on improving soil parameters and vegetation growth within an ecological reclamation strategy. For this purpose, three experimental plots of 82 m<sup>2</sup> each were established. Monitoring includes the collection of soil samples during spring and autumn seasons from 2024 to 2026, as well as visual and spectral (UAV-based) assessment of vegetation development. Researchers during analyses focus on soil physicochemical properties, organic matter content, and microbiological activity. The second, large-scale monitoring program involves long-term assessment of reclamation progress on a larger section of the internal dumping ground, using satellite imagery from the Sentinel-2 mission. The objective is to identify areas requiring further action. The analysis includes time series studies of spectral indices (NDVI, NDWI), incorporating historical imagery. The article also presents preliminary findings on the initial environmental conditions and the first results of the monitoring. The project titled “Ecological Rehabilitation and Long-Term Monitoring of Post-Mining Areas” (REECOL) is carried out by the Sustainable Development and International Cooperation Department of the Poltegor-Institute and will continue until the end of 2026.

**Keywords:** monitoring, post-mining land reclamation, ecological soil rehabilitation, remote sensing

## Wprowadzenie

Monitoring postępów rekultywacji jest kluczowym elementem procesu przywracania wartości użytkowych i przyrodniczych terenom zdegradowanym przez działalność górnictwem. Pozwala on na ocenę bieżącą skuteczności zastosowanych działań rekultywacyjnych oraz identyfikację obszarów, które wymagają dodatkowych interwencji. Właściwym jest, aby monitoring był prowadzony na wszystkich etapach rekultywacji: zaczynając od fazy planowania, przez realizację, aż po długoterminową eksploatację zreaktywowanego terenu. W fazie początkowej pozwala na określenie stanu wyjściowego środowiska, co stanowi punkt odniesienia dla dalszych działań. W trakcie realizacji rekultywacji monitoring umożliwia kontrolę wykonywanych prac oraz wczesne wykrywanie ewentualnych nieprawidłowości w procesie. W fazie eksploatacji zreaktywowanego terenu pozwala na ocenę trwałości efektów rekultywacji i jej wpływu na środowisko (Chodak, 2013)[2].

Do metod monitorowania zaliczyć można między innymi analizy fizykochemiczne i biologiczne gleby, ocenę pokrywy roślinnej, badania hydrogeologiczne oraz hydrologiczne, wykorzystanie technik teledetekcyjnych w postaci nalotów dronami czy na podstawie danych satelitarnych. Systematyczne prowadzenie monitoringu pozwala na wprowadzenie ewentualnych korekt w strategii rekultywacyjnej oraz optymalizację kosztów i efektów działań. W literaturze podkreśla się, że skuteczny monitoring jest niezbędnym czynnikiem dla zapewnienia trwałości efektów rekultywacji i ochrony środowiska (Frankowski i in., 2012)[3].

Procesy przywracania wartości zdegradowanym terenom pogórnym, takie jak rekultywacja, rehabilitacja, remediacja i rewitalizacja, bywają często mylone pomimo istotnych różnic znaczeniowych. Rekultywacja (reclamation) obejmuje działania techniczne i przyrodnicze prowadzące do nadania gruntom nowych lub dawnych funkcji użytkowych. Rehabilitacja (rehabilitation) koncentruje się na stworzeniu stabilnego, samowystarczalnego ekosystemu niekoniecznie zgodnego ze stanem sprzed eksploatacji. Remediacja (remediation) to proces oczyszczania środowiska z zanieczyszczeń, szczególnie istotny w kontekście gleby i wód. Natomiast rewitalizacja (revitalization) integruje powyższe etapy, dążąc do kompleksowego ożywienia społeczno-gospodarczego terenu. Właściwe rozróżnienie i zastosowanie tych terminów jest kluczowe dla planowania działań przemysłowych i zapewnienia ich trwałości (Kaźmierczak i in., 2021)[1].

W niniejszym artykule przedstawiono będące na początkowym etapie realizacji prace monitoringowe w ramach projektu REECOL, odbywające się w obszarze pogórnym odkrywki Józwin IIB Kopalni Węgla Brunatnego Konin.

## O projekcie REECOL

Projekt badawczy o nazwie „Ekologiczna rehabilitacja i długoterminowy monitoring obszarów pogórnym” (REECOL) ma na celu wspieranie transformacji obszarów górnictwa węgla, biorąc pod uwagę rehabilitację ekosystemów i monitoring, przyszłe planowane sposoby użytkowania gruntów ekonomikę stosowanych rozwiązań. Projekt koncentruje się na rekultywacji obszarów powęglowych, stosując nowe i innowacyjne technologie, zwłaszcza w zakresie ulepszonej rehabilitacji gleby. Projekt ma na celu:

- Ocenę i katalogowanie wiedzy i doświadczeń dotyczących podejść do rekultywacji obszarów pogórnym, uwzględniając stopień degradacji ekosystemów, planowane przyszłe sposoby użytkowania gruntów, ekonomikę rozwiązań opracowywanych w projekcie oraz wpływ zmian klimatu.
- Opracowanie i testowanie nowych rozwiązań w zakresie rekultywacji gruntów, przywracania roślinności i rehabilitacji ekosystemów, a następnie analiza kosztów i korzyści tych rozwiązań, w tym opracowanie nowej technologii bezkontaktowej remediacji gleby, czy opracowanie nowych polepszaczy glebowych i kompostu z odpadów.
- Opracowanie i testowanie narzędzi do efektywnego krótko- i długoterminowego monitorowania rehabilitacji ekosystemów, dostosowanych do różnych metod rekultywacji przemysłowej - narzędzia te umożliwią monitorowanie kluczowych wskaźników sukcesu rehabilitacji i związanych z nią korzyści ekologicznych.
- Opracowanie innowacyjnej metody certyfikacji rehabilitacji ekosystemów na obszarach pogórnym - celem jest stworzenie systematycznego, powtarzalnego podejścia do definiowania kryteriów certyfikacji rekultywacji. Metoda ta ma wspierać działania rekultywacyjne w planach zamknięcia kopalni.
- Zaznajomienie interesariuszy w regionach węglowych przechodzących transformację z innowacyjnymi i zrównoważonymi opcjami rehabilitacji ekologicznej, wymogami ich wdrożenia, długoterminową rentownością i wpływem społeczno-ekonomicznym (<https://reecol.komag.eu/>)[4].

Projekt REECOL dąży do opracowania kompleksowych procedur wspierających transformację regionów węglowych poprzez innowacyjne podejścia do rehabilitacji ekologicznej, testowanie nowych rozwiązań i narzędzi monitorowania, stworzenie metody certyfikacji oraz zaznajomienie z nimi interesariuszy, jednocześnie mierząc się z wyzwaniami technicznymi, środowiskowymi i prawnymi (<https://reecol.komag.eu/>)[4].

Główne działania w ramach jednego z zadań w projekcie, to rozwój i testowanie krótkoterminowych rozwiązań monitorujących. Obejmuje to gromadzenie danych na miejscu, charakteryzowanie i testowanie tych rozwiązań na wybranych obszarach badawczych. W ramach tego zadania testowane są także nowe metody rekultywacji, np. kompost opracowany przez „Poltegor-Instytut” na bazie odpadów powęglowych, słomy oraz odpadu z branży drobiarskiej (pióra). Ponadto zadanie to skupia się na testowaniu wykorzystania danych satelitarnych i danych z spektralnych z dronów do monitoringu długoterminowego. W projekcie, dane te są wykorzystywane do monitorowania wyników działań rekultywacyjnych oraz obserwowania niepożądanych procesów, takich jak rozprzestrzenianie się gatunków inwazyjnych czy sukcesja naturalna. Celem tych działań jest udoskonalenie zestawu narzędzi (toolbox) do monitorowania, ocena ich wykonalności, kosztów, korzyści i możliwości interpretacji w odniesieniu do różnych schematów rekultywacji. Monitorowanie krótkoterminowe dostarcza danych o natychmiastowym sukcesie, natomiast rozwiązania długoterminowe są niezbędne do obserwacji trendów.

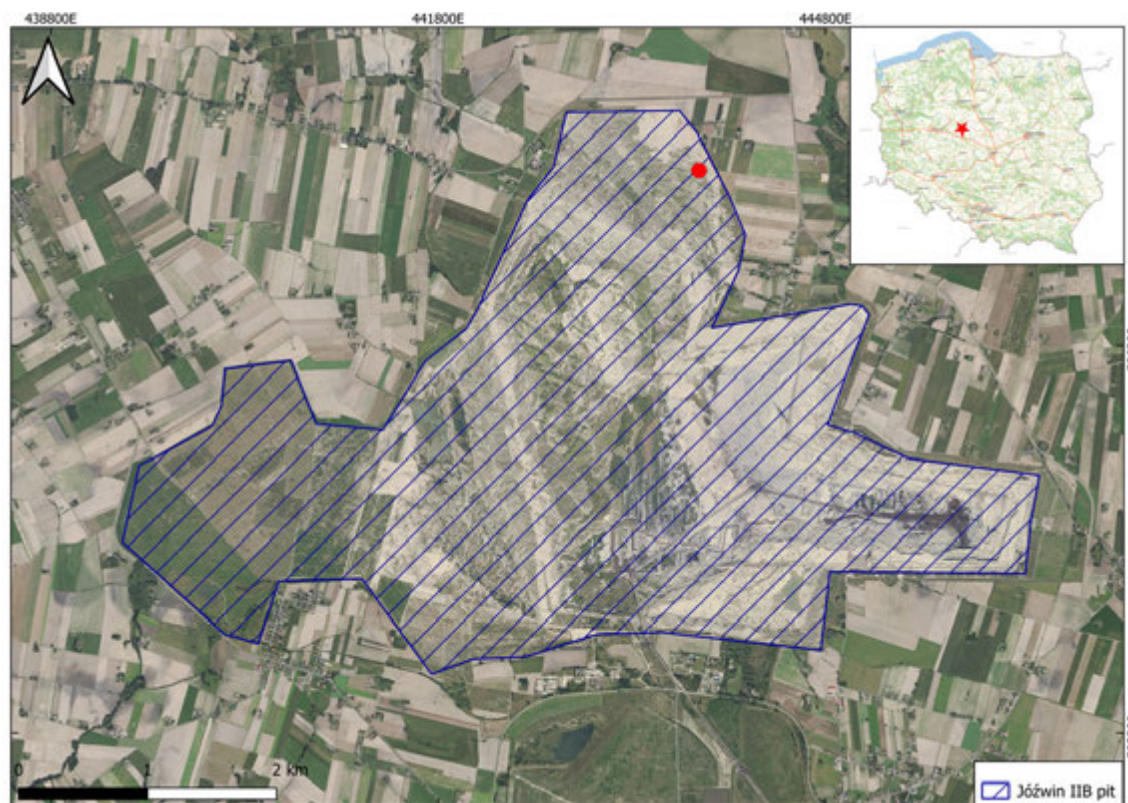
Planowane działania monitoringowe w projekcie obejmują dwa odrębne cele badawcze i zostały podzielone na dwa pilotażowe programy monitoringu:

- program eksperymentalnego, wielkoskalowego monitoringu postępu rekultywacji na wybranym fragmencie zwałowiska wewnętrznego, z wykorzystaniem danych satelitarnych misji Sentinel-2,
- małoskalowy program monitoringu parametrów glebowych i wzrostu roślinności na wyznaczonych poletkach doświadczalnych.

## Obszar poddawany monitoringowi pilotażowemu

Kopalnia Węgla Brunatnego Konin zlokalizowana jest we wschodniej części województwa wielkopolskiego. Od wielu lat stanowiła kluczowego dostawcę węgla brunatnego dla Zespołu Elektrowni Pątnów-Adamów-Konin. Obszar ten położony jest w obrębie Nizin Środkowopolskich, w regionie Pojezierza Wielkopolskiego, który charakteryzuje się stosunkowo płaskim ukształtowaniem terenu. KWB Konin funkcjonowała jako wieloodkrywkowa kopalnia, posiadająca długoletnią historię eksploatacji. Obecnie, znaczna część obszarów pogórnich została już poddana rekultywacji i zagospodarowana na potrzeby jezior pogórnich, gruntów rolnych oraz terenów leśnych, co w istotny sposób przyczyniło się do ukształtowania współczesnego krajobrazu regionu (<https://www.kwbkonin.pl/>)[5].

Obecne działania rekultywacyjne na obszarze Konińskiego Zagłębia Węglowego koncentrują się na przywracaniu zdegradowanym terenom funkcji ekologicznych poprzez zastosowanie zintegrowanych metod rekultywacji technicznej i biologicznej. Rekultywacja techniczna obejmuje przekształcanie rzeźby terenu oraz nanoszenie warstw bardziej urodzajnych gleb, co ma na celu stabilizację powierzchni i zapobieganie dalszej erozji. Etap ten stanowi fundament dla dalszych procesów rekultywacji. Rekultywacja biologiczna ukierunkowana jest na przywrócenie szaty roślinnej oraz poprawę jakości gleb. W ramach rekultywacji w kierunku rolniczym tworzone są użytki rolne i łąki, natomiast rekultywacja leśna polega na wprowadzaniu rodzimych gatunków drzew w celu zwiększenia stabilności ekologicznej i wspierania bioróżnorodności. Działania te uzupełniane są o zabiegi poprawy właściwości glebowych, takie jak nawożenie oraz wysiew gatunków roślin korzystnych dla struktury i żyzności gleb (<https://www.kwbkonin.pl/>)[5].



Rys. 1. Lokalizacja oraz zasięg obszaru górniczego Józwin IIB. Czerwony punkt oznacza położenie poletka badawczego na zwałowisku wewnętrznym  
Fig. 1. Location and range of Józwin IIB post mining area. The red point is the location of experimental plots on the internal dumping ground



Rys. 2. Zwałowisko wewnętrzne objęte monitoringiem długoterminowym. Czerwony punkt oznacza lokalizację poletka badawczego  
 Fig. 2. Internal dumping ground covered by long-term monitoring. The red point is the location of the test plot

Odkrywka Józwin II B w trakcie rekultywacji, obejmująca obszar 47,3 km<sup>2</sup> na pograniczu gmin Kleczew i Wilczyn, eksploatowała złoża Pątnów IV od 1999 roku. Od tego czasu działalność górnicza doprowadziła do istotnych przekształceń krajobrazu. Wydobycie węgla brunatnego wymagało usunięcia znacznych ilości nadkładu, co skutkowało powstaniem głębokiego wyrobiska oraz rozległych zwałowisk – zarówno wewnętrznych, jak i zewnętrznych. Eksploatacja węgla brunatnego w odkrywce Józwin II B została oficjalnie zakończona w czerwcu 2023 roku. Gleby na tym obszarze uległy wyjałowieniu, co znacząco ograniczyło ich żyzność i stabilność strukturalną. Zakłócone zostały również lokalne systemy hydrologiczne. Skutki dla ekosystemów były głębokie – doszło do utraty siedlisk rodzimych gatunków oraz poważnych trudności w odtwarzaniu roślinności z uwagi na niekorzystne właściwości zdegradowanych gleb (Pierzchała i in., 2025)[6].

Obecnie obszar pogórnicy Józwin II B znajduje się w fazie likwidacji i rekultywacji, która planowo ma potrwać do końca 2029 roku. Strategia rekultywacyjna zakłada przekształcenie krajobrazu pogórnicy na teren zrównoważony ekologicznie, obejmując demontaż infrastruktury górniczej, remediację środowiska oraz zagospodarowanie przestrzenne. Proces rekultywacji ma charakter kompleksowy i wielofunkcyjny – obejmuje działania techniczne i biologiczne, zmierzające do przekształcenia terenu pogórnicy w użytki rolne, lasy, obszary rekreacyjne i akweny wodne. Do działań szczegółowych należą m.in. stabilizacja skarp, tworzenie zbiorników wodnych, rewitalizacja gleb oraz odbudowa szaty roślinnej (Pierzchała i in., 2025)[6].

Zaawansowanie prac rekultywacyjnych związanych z poprawą właściwości glebowych jest zróżnicowane w poszczególnych częściach obszaru Józwin II B. W wielu rejonach zwałowisk wewnętrznych gleby pozostają jałowe ze względu na fitotoksyczne właściwości i niską żyzność – dotychczas były one poddane jedynie rekultywacji technicznej. W miarę upływu czasu obserwuje się jednak postępujący wpływ sukcesji naturalnej, przejawiający się m.in. w spontanicznym rozwoju roślinności. Część zwałowisk objęta jest aktualnie rekultywacją rolniczą. W tym kontekście stosuje się szereg zabiegów agrotechnicznych mających na celu przywrócenie produktywności rolniczej terenom zdegradowanym. Do działań tych należą: orka średnia, bronowanie ciężkie i lekkie, stosowanie nawozów mineralnych oraz wysiew nasion traw i roślin motylkowych, takich jak kostrzewa łąkowa i lucerna siewna. Praktyki te mają na celu poprawę struktury gleby, zwiększenie jej żyzności oraz zdolności do retencji wody (Pierzchała i in., 2025)[6].

#### Satelitarny monitoring stanu środowiska na zwałowisku wewnętrznym

W ramach realizacji jednego z zadań projektu REECOL zaplanowano program eksperymentalnego, wielkoskalowego monitoringu postępu rekultywacji na wybranym fragmencie zwałowiska wewnętrznego, ukierunkowany na długoterminową ocenę skuteczności działań rekultywacyjnych oraz identyfikację obszarów wymagających interwencji. Jego głównym celem jest wykazanie przydatności wykorzystania danych

spektralnych pozyskiwanych z satelitów w długoterminowym i wielkoskalowym monitoringu postępu prac rekultywacyjnych lub rehabilitacyjnych, umożliwiającym identyfikację obszarów, które potencjalnie wymagają dodatkowych działań. Obszar objęty monitoringiem przedstawiono na Rysunku 2.

W celu oceny zmian środowiskowych zostanie zastosowana gęsta seria czasowa obrazów satelitarnych z misji Sentinel-2, umożliwiająca wyliczenie wybranych indeksów spektralnych, takich jak:

- NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)
- NDWI (Normalized Difference Water Index)

W ramach pilotażowego monitoringu satelitarnego planowane jest wykorzystanie wszystkich dostępnych scen Sentinel-2 obejmujących okres od wczesnej wiosny 2025 roku do lata 2026 roku, z uwzględnieniem progów dla zachmurzenia i pokrywy śnieżnej. Dodatkowo, wykorzystane zostaną także dane archiwalne począwszy od wiosny 2024 roku. Szacunkowo przeanalizowanych zostanie około 60-80 zobrażeń.

Podstawowe cechy misji Sentinel-2, uznane za wystarczające do celów długoterminowego monitoringu rekultywacji, to:

- sensor multispektralny z 13 pasmami spektralnymi
- rozdzielczość przestrzenna: 10 m
- zakres spektralny: 443–2190 nm
- czas rewizyty: co 5 dni

W celu realizacji długoterminowego, wielkoskalowego monitoringu rekultywacji w ramach projektu REECOL

opracowano dedykowane narzędzie oparte na platformie Google Earth Engine (GEE). GEE to środowisko działające w chmurze, umożliwiające analizę danych oraz wykonywanie zautomatyzowanych obliczeń na podstawie danych satelitarnych. Zaletą platformy jest możliwość wielokrotnego uruchamiania skryptów oraz bezpośredniego eksportu wyników do Google Drive.

Przygotowane narzędzie umożliwia:

- automatyczne pobieranie danych satelitarnych z misji Sentinel-2,
- filtrację obrazów pod względem zachmurzenia,
- obliczanie wybranych wskaźników spektralnych,
- dodawanie masek chmur opartych o warstwę klasyfikacji sceny (SCL),
- eksport przetworzonych danych w formacie GeoTIFF.

Automatyzacja całego procesu znacząco redukuje czas potrzebny na analizę danych, umożliwia monitorowanie trendów w czasie rzeczywistym oraz łatwą integrację z systemami GIS w dalszych etapach analiz środowiskowych.

Pierwsze, przykładowe wyniki otrzymane podczas przetwarzania danych archiwalnych z 2024 roku przedstawiono na Rysunkach 3, 4.

Jak widać na grafikach (Rys. 3, 4) wyraźnie zauważalny jest trend wzrostowy dla wskaźnika NDVI oraz spadkowy dla NDWI w czasie. Może świadczyć to powiększającej się pokrywy roślinnej oraz/lub polepszeniu jej kondycji na badanym obszarze, co jest pożądanym efektem w rekultywacji



Rys. 3. Zestawienie przykładowych wyników analizy danych spektralnych w postaci wskaźnika NDVI dla trzech dat, dla obszaru zwalowiska wewnętrznego  
Fig. 3. Summary of the exemplary results of the analysis of spectral data in the form of the NDVI index for three dates, for the area of the internal dumping ground



Rys. 4. Zestawienie przykładowych wyników analizy danych spektralnych w postaci wskaźnika NDWI dla trzech dat, dla obszaru zwalowiska wewnętrznego  
Fig. 4. Summary of the exemplary results of the analysis of spectral data in the form of the NDWI index for three dates, for the area of the internal dumping ground

Tab. 1. Charakterystyka poletek doświadczalnych  
 Tab. 1. Characteristics of experimental plots

ID	Działanie rekultywacyjne	Powierzchnia
M1	kultywacja + sadzenie kukurydzy	82 m <sup>2</sup>
M2	kultywacja	82 m <sup>2</sup>
M3	kultywacja + aplikacja kompostu + sadzenie kukurydzy	82 m <sup>2</sup>

na tym obszarze. Niemniej, dopiero pełna, przewidziana w zadaniu analiza danych zawierająca rezultaty do roku 2026, pozwoli rzetelnie ocenić postęp rekultywacji, uwzględniając przy tym sezonowość.

### Pilotażowy monitoring na poletkach badawczych

Pilotażowy, małoskalowy program monitoringu parametrów glebowych i wzrostu roślinności na wyznaczonych poletkach doświadczalnych, z wykorzystaniem poboru próbek in situ, badań laboratoryjnych oraz oceny wizualnej i spektralnej pokrywy roślinnej. Celem programu jest ocena wpływu kompostowania na proces rehabilitacji gleb oraz wzrost kukurydzy w ramach ekologicznej strategii rekultywacyjnej.

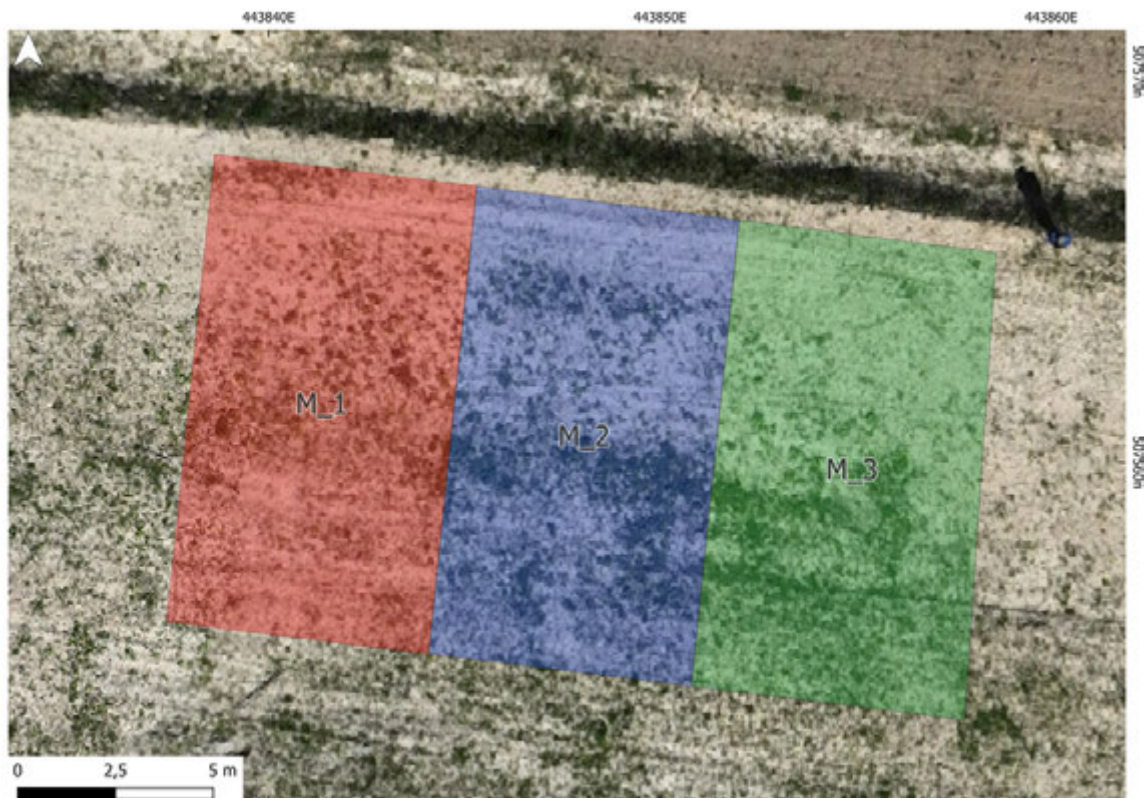
W ramach tego programu monitoringu ustanowiono trzy przylegające do siebie poletka doświadczalne na terenie pogórnym Józwin II B. Zlokalizowane są one w północnej części obszaru, na zwałowisku wewnętrznym, które dotychczas poddane zostało jedynie rekultywacji technicznej. Każde z poletek będzie realizowało inny scenariusz badawczy, obejmujący: kultywację, kompostowanie oraz wysiew kukurydzy. Kluczowe cechy każdego z poletek przedstawiono w Tabeli 1.

Głównym celem planu monitoringu dla ustanowionych poletek doświadczalnych jest ocena wpływu kompostu o wysokiej aktywności biologicznej na żyzność gleby i inne jej parametry, a także wpływu na rozwój roślinności. Wspomniany kompost przygotowywany jest w ramach zadania WP4 Projektu REECOL. Równolegle monitoring umożliwi ocenę wpływu rehabilitacji biologicznej, tj. wzrostu kukurydzy, na właściwości glebowe.

Ustanowione pole doświadczalne ma powierzchnię 246 m<sup>2</sup> i zostało podzielone na trzy poletka o identycznych wymiarach (M1, M2, M3).

Prace terenowe na poletkach doświadczalnych obejmują uprawę, kompostowanie oraz pobór próbek w sezonach późnojesiennych, a także uprawę, wysiew kukurydzy i pobór próbek w sezonach wczesnowiosennych. Harmonogram poboru próbek zostanie zoptymalizowany w taki sposób, aby uzyskane dane były reprezentatywne dla średnich parametrów glebowych poszczególnych poletek.

W związku z tym, planowany program eksperymentalnego monitoringu obejmie szereg kampanii poboru próbek glebowych w celu oceny wpływu aplikacji kompostu na wzrost kukurydzy oraz na właściwości gleby, zgodnie z następującym harmonogramem:



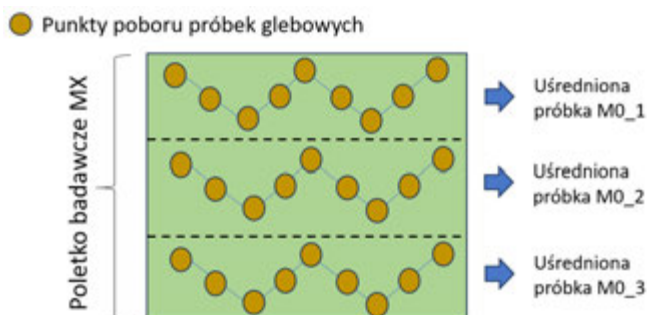
Rys. 5. Pole doświadczalne podzielone na trzy poletka, gdzie monitorowane są parametry glebowe oraz skuteczność zaaplikowanego kompostu  
 Fig. 5. The experimental field divided into three plots, where soil parameters and the effectiveness of the applied compost are monitored

- Jesień 2024: pobór próbek glebowych, kultywacja, kompostowanie
- Wiosna 2025: pobór próbek glebowych, kultywacja, wysiew kukurydzy
- Lato 2025: ocena wzrostu roślinności
- Jesień 2025: pobór próbek glebowych, kultywacja, kompostowanie
- Wiosna 2026: pobór próbek glebowych, kultywacja, wysiew kukurydzy
- Lato 2026: ocena wzrostu roślinności

Kukurydza została wybrana na potrzeby tego zadania, gdyż umożliwi skuteczny pomiar wpływu kompostowania na wzrost roślin.

Według poniższego schematu (Rys. 6), celem monitoringu krótkoterminowego parametrów glebowych, w listopadzie 2024 roku pobranych zostało 9 uśrednionych próbek glebowych, po 3 dla każdego wariantu poletka.

Próbki glebowe pobierane były z głębokości 0-30 cm oraz kolejno uśredniane poprzez kwartowanie (Rys. 7).



Rys. 6. Schemat poboru i uśredniania próbek glebowych z poletek M1, M2 i M3  
Fig. 6. Scheme of soil sampling and averaging from plots M1, M2 and M3

Próbki przesłane zostały do partnerów projektu REECOL we Francji (INERIS oraz BRGM) celem przeprowadzenia badań laboratoryjnych. Zgodnie z założeniami monitoringu, kluczowe parametry gleby poddane monitoringowi będą obejmowały analizy fizykochemiczne oraz ilościową i jakościową ocenę materii organicznej. Analizowane parametry będą obejmowały:

- skład granulometryczny
- odczyn pH
- zawartość węgla organicznego i nieorganicznego
- wskaźniki węgla labilnego i recykulacyjnego
- całkowitą zawartość materii organicznej
- zawartość azotu całkowitego
- stosunek węgla do azotu (C/N)
- całkowitą zawartość węglanów oraz tlenu wapnia (CaO)
- zawartość fosforu przyswajalnego
- pojemność wymiany kationowej (CEC)
- mikroelementy: Fe, Cu, Zn, Mn i B

Dodatkowo, monitoring na poletkach doświadczalnych obejmuje ocenę mikrobiologicznej respiracji gleby (zarówno podstawowej, jak i indukowanej substratem), aktywności enzymatycznej związanej z cyklami węgla, azotu, fosforu i siarki, a także ocenę funkcjonalnej różnorodności genetycznej mikroorganizmów glebowych. Program pilotażowego monitoringu obejmie również ocenę wzrostu kukurydzy w terenie (in-situ) oraz ocenę spektralną wzrostu kukurydzy z wykorzystaniem bezałogowego statku powietrznego (UAV) wyposażonego w kamerę wielospektralną, prowadzoną w sezonach letnich.



Rys. 7. Pobór próbek w terenie  
Fig. 7. Field samples collecting



Rys. 8. Przygotowane do dalszych analiz próbki gleby z poletka badawczego  
Fig. 8. Prepared for further analysis soil samples from experimental plot

## Podsumowanie i dalsze prace

Artykuł przedstawia zintegrowane podejście do krótko- i długoterminowego monitoringu rekultywacji terenów pogórnich w ramach projektu badawczego REECOL. Monitoring postępów rekultywacji jest kluczowym elementem procesu przywracania wartości terenom zdegradowanym przez działalność górnictwa, pozwalającym ocenić skuteczność działań, zidentyfikować obszary wymagające interwencji oraz kontrolować przebieg prac. Projekt REECOL, realizowany przez Pracownię Zrównoważonego Rozwoju i Współpracy Międzynarodowej „Poltegoru-Instytut” do końca 2026 roku, ma na celu wspieranie transformacji regionów węglowych poprzez ekologiczną rehabilitację ekosystemów i monitoring,

testowanie nowych rozwiązań (np. opracowanego w ramach projektu kompostu) oraz narzędzi monitorowania, a także opracowanie metody certyfikacji.

Artykuł skupia się na założeniach dwóch pilotażowych programów monitoringu środowiskowego prowadzonych na terenie pogórnym odkrywki Józwin II B Kopalni Węgla Brunatnego Konin. Obszar ten, po zakończeniu eksploatacji węgla brunatnego w czerwcu 2023 roku, charakteryzuje się wyjąłowionymi glebami, zakłóconymi systemami hydrologicznymi i utratą siedlisk. Obecna strategia rekultywacji, planowana do końca 2029 roku, zakłada przekształcenie terenu w obszar zrównoważony ekologicznie, obejmując działania techniczne i biologiczne (np. stabilizacja skarp, tworzenie zbiorników wodnych, rewitalizacja gleb, odbudowa roślinności).

Realizowane pilotażowe programy monitoringu obejmują:

- Wielkoskalowy, długoterminowy monitoring satelitalny, gdzie wstępne wyniki z 2024 roku wykazały trend wzrostowy dla NDVI i spadkowy dla NDWI, co może świadczyć o powiększaniu się pokrywy roślinnej lub poprawie jej kondycji.
- Małoskalowy, krótkoterminowy monitoring na poletkach doświadczalnych, gdzie wstępne wyniki są obecnie oczekiwane.

Dalsze planowane prace w ramach przedstawionych programów monitoringowych obejmują:

- Kontynuację poboru próbek glebowych na poletkach doświadczalnych zgodnie z ustalonym harmonogramem, który przewiduje kampanie w sezonach wiosennych i jesiennych w latach 2024–2026.

- Kontynuację oceny wzrostu roślinności na poletkach (kukurydzy) w sezonach letnich do lata 2026 roku, w tym ocenę spektralną z wykorzystaniem UAV.
- Prowadzenie badań laboratoryjnych pobranych próbek glebowych w celu analizy kluczowych parametrów fizykochemicznych, materii organicznej i aktywności mikrobiologicznej.
- Kontynuację analizy gęstej serii czasowej obrazów satelitalnych Sentinel-2 obejmujących okres od 2024 do 2026.
- Wykorzystanie opracowanego narzędzia GEE do automatycznego pobierania danych i obliczania wskaźników spektralnych dla monitorowanego obszaru zwałowiska wewnętrznego.
- Pełną analizę danych z monitoringu satelitalnego, zawierającą rezultaty do roku 2026, co pozwoli rzetelnie ocenić postęp rekultywacji z uwzględnieniem sezonowości.
- Udoskonalenie zestawu narzędzi (toolbox) do monitorowania, ocena ich wykonalności, kosztów, korzyści i możliwości interpretacji w odniesieniu do różnych schematów rekultywacji.

Celem tych działań jest dostarczenie danych niezbędnych do oceny skuteczności testowanych rozwiązań rekultywacyjnych oraz opracowanie efektywnych narzędzi do długoterminowego monitorowania rehabilitacji ekosystemów na obszarach pogórnym.



Co-funded by  
the European Union



Research Fund for Coal & Steel

## Finansowanie

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or Research Found for Coal and Steel. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

Finansowane przez Unię Europejską. Poglądy i opinie wyrażone w artykule są jednak wyłącznie poglądami

i opiniami autorów i niekoniecznie odzwierciedlają poglądy Unii Europejskiej lub Research Found for Coal and Steel. Ani Unia Europejska, ani organ udzielający dotacji nie mogą być za nie pociągnięte do odpowiedzialności.

Artykuł opublikowany w ramach projektu współfinansowanego ze środków polskiego Ministerstwa Edukacji i Nauki w ramach programu pn. Projekty Międzynarodowe Współfinansowane.

## Literatura

- [1] Kaźmierczak, U., Lorenc, M. W., Strzałkowski, P. 2021. *Przegląd istniejącej terminologii dotyczącej rekultywacji terenów pogórnich – propozycja definicji pojęć*. *Górnictwo Odkrywkowe* nr 1, 29–33
- [2] Chodak M. 2013. *Metody rekultywacji i zagospodarowania obszarów poeksploatacyjnych w górnictwie skalnym*. Kraków–Wrocław, Wydawnictwo „Poltegor–Instytut”
- [3] Frankowski Z., Godlewski T., Irmiński W., Łukasik S., Majer E., Nałęcz T., Sokołowska M., Wołkiewicz W., Chada K., Choromański D., Gałkowski P., Jaśkiewicz K., Jurys L., Kaczyński Ł., Madej M., Majer K., Pietrzykowski P., Samel I., Wsędziorówny-Nast M. 2012. *Zasady dokumentowania warunków geoinżynierskich dla potrzeb rekultywacji terenów zdegradowanych*. Warszawa. Instytut Techniki Budowlanej i Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy
- [4] <https://reecol.komag.eu/> dostęp w dniu 30.04.2025
- [5] <https://www.kwbkonin.pl/> dostęp w dniu 30.04.2025
- [6] Pierzchała Ł., Białowąs M., Warzecha A., Musiałek M., Maksymowicz M., Goutant J., Bert V., Hullot O., Harris J., Boivin S., Servou A., Roumpos C., Varouchakis E. A., Galetakis M., Pavlides A., Řehoř M., Antořová L., Bezak B., Bałaga D., Michalak D., Szewerda K., Rozmus M. 2025. *Deliverable 5.2 Report on site study cases: initial assessment. Ecological Rehabilitation and Long-Term Monitoring of Post-Mining Areas*” (REECOL)

