

# WYKORZYSTANIE KOMPOSTÓW DO REKULTYWACJI TERENÓW POGÓRNICZYCH

## USE OF COMPOSTS FOR RECLAMATION OF POST-MINING AREAS

Justyna Sobolczyk-Bednarek, Anna Choińska-Pulit-„Poltegor – Instytut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław

(pl)DOI: 10.5604/01.3001.0054.9671

### Streszczenie

Górnictwo jest jedną z ważniejszych dziedzin gospodarki, ponieważ dostarcza surowce mineralne, potrzebne do rozwoju gospodarczego kraju. Mowa tu zarówno o surowcach metalicznych, chemicznych jak również energetycznych. Jednak działalność eksploatacyjna prowadzi do całkowitej lub częściowej degradacji naturalnych ekosystemów [1].

W prezentowanej pracy przedstawiono wpływ działalności górniczej na środowisko naturalne, również w świetle polityki Unii Europejskiej. Przedstawiono kierunki rekultywacji terenów pogórnich, a w szczególności alternatywną metodę przywracania środowiska do stanu naturalnego poprzez zastosowanie kompostów. W artykule przedstawiono tematykę z zakresu procesu kompostowania. Zastosowanie kompostów może być właściwym i ekologicznym sposobem przywracania produktywnej warstwy gleby poprzez zwiększenie zawartości materii organicznej.

**Słowa kluczowe:** rekultywacja, kompost, tereny pogórnice

### Abstract

Mining is one of the most important sectors of the economy, as it supplies mineral resources needed for the economic development of the country. This includes metal, chemical and energy resources. However, mining activities lead to the complete or partial degradation of natural ecosystems [1].

The presented work presents the impact of mining activities on the natural environment, also in the light of the European Union policy. It presents the directions of the reclamation of post-mining areas, and in particular an alternative method of restoring the environment to its natural state through the use of composts. The work presents the subject of the composting process. The use of composts can be an appropriate and ecological way to restore the productive layer of soil by increasing the content of organic matter.

**Keywords:** recultivation, compost, mining areas

### Wprowadzenie

Konieczność redukcji emisji CO<sub>2</sub> do atmosfery, wymusza na krajach Europy stopniowe odchodzenie od paliw kopalnych. W związku z tym prowadzone będą działania, mające na celu rekultywację terenów zdegradowanych przez działalność górniczą. Przywrócenie terenów do użytkowania jest trudnym procesem, tym bardziej, że nie ma uniwersalnej metody rekultywacji. Problem ten pogarsza fakt, że kopalnie zajmują duży obszar [2]. Ponadto dezaprobata ze strony społeczeństwa również przyczynia się do walki o dobre imię kopalń i wymusza na nich działania prowadzące do zmiany ich wizerunku [3]. Do najbardziej widocznych naturalnych efektów działalności górnictwa odkrywkowego w środowisku

są wielkoobszarowe wyrobiska pozostałe po eksploatacji piasku, żwiru, wapienia, lignitu i węgla kamiennego, tymczasem hałdy pokopalniane powstają w wyniku działalności górnictwa podziemnego [1]. Poważane negatywne skutki działalności górniczej dla środowiska jakie można wymienić to: zanieczyszczenie zbiorników wodnych, zanieczyszczenie powietrza, degradacja gleby i szkody dla różnorodności biologicznej, a także skutki społeczne, takie jak masowe migracje, przesiedlenia ludzi i mienia [3]. Początkowy proces działalności górniczej obejmuje zakłócenie ekosystemu poprzez praktyki wyniszczające środowisko, takie jak wylesianie, wypalanie krzewów, przemieszczanie siedlisk i utrata różnorodności biologicznej. Działalność górnicza powoduje także uwalnianie gazów cieplarnianych, które to z kolei

powodują wzrost temperatury i pogorszenie warunków życia [5]. Mimo że tereny poprzemysłowe i pogórnice są uważane za nieprzydatne z punktu widzenia rolnictwa, są to obszary cenne dla wybranych funkcji gospodarczych i społecznych, zwłaszcza w regionach silnie zurbanizowanych [6].

W pracy Rahmonov O. i wsp. [1] zebrano badania z różnych środowisk naturalnych, na które oddziałują warunki antropopresji górniczej na czterech kontynentach. Autorzy wskazują w niej, że najbardziej rozbudowaną formą rekultywacji terenów jest kierunek leśny, który dominuje także w Polsce. Częstym sposobem zagospodarowania terenów pogórnich jest kierunek turystyczny np. wioska górnicza na terenie wydobywania węgla brunatnego w północnej Polsce [1]. Z inicjatywy Komisji Europejskiej rekultywacja terenów pogórnich wpisuje się w europejski Zielony Ład, w związku z wykorzystaniem zasobów i przejściem na gospodarkę w obiegu zamkniętym, przeciwdziałaniem utracie różnorodności biologicznej oraz zmniejszeniem poziomu zanieczyszczeń. Osiągnięcie założeń Unii Europejskiej jest możliwe poprzez połączenie wielu działań jednocześnie, są to: efektywna gospodarka wodą, precyzyjne rolnictwo, cyrkularne wykorzystanie odpadów organicznych, stosowanie rozwiązań opartych na naturze, badania naukowe w bliskim partnerstwie nauki i przemysłu, zrównoważona regeneracja i wykorzystanie naturalnego potencjału gleb [6].

Górnictwo broniąc się przed złą sławą na każdym etapie swojej działalności wprowadza ograniczenia uciążliwego dla środowiska wpływu swej działalności. Jednym ze sposobów ograniczania negatywnego wpływu na środowisko jest rekultywacja terenów poeksploatacyjnych, dzięki której tereny przekształcone przez działalność górniczą przywracane są do wartości użytkowych lub przyrodniczych. Według Midor K. i wsp. [2] warunkiem opracowania koncepcji rekultywacji jest jej właściwe rozpoznanie. Doświadczenie specjalistów z tego zakresu może skutecznie połączyć aspekty związane z rekultywacją. Przed realizacją takiego przedsięwzięcia należy wziąć pod uwagę podział terenu, pod względem przyszłych oczekiwań i funkcji, wykonanie listy etapów realizacji całego projektu, a także przeanalizować możliwości zagospodarowania terenu oraz jego właściwości [2]. Ci sami autorzy, na przykładzie byłej kopalni węgla kamiennego na Górnym Śląsku, podjęli temat stworzenia metody modelowania procesów rekultywacji z wykorzystaniem mapy procesów, jako zarządzania procesami planowania i realizacji inwestycji. Autorzy zauważyli, że stosując mapę procesów można skrócić każdy z etapów rekultywacji [2].

Działalność górnicza w dużej mierze przyczynia się do pozbawienia gleby materii organicznej [7]. Materia organiczna gleb jest podstawowym wskaźnikiem jej jakości. Posiada ona ważną rolę w utrzymaniu najistotniejszych fizycznych, chemicznych i mikrobiologicznych cech gleby, decydujących o jej produkcyjnym potencjale oraz zdolności do pełnienia funkcji środowiskowych. Ma ona wpływ na potencjał sorpcyjny gleby, regulując obieg pierwiastków w biosferze i szybkość ich wymywania z gleby oraz na potencjał buforowy gleby związany z odpowiednim pH. Dzięki wysokiej zawartości materii organicznej w glebie utrzymywana jest jej stabilność oraz struktura, zmniejszając podatność na zagęszczenie oraz degradację w wyniku erozji wodnej i wietrznej. Materia organiczna bierze udział w obiegu wody, czyniąc glebę bardziej odporną na nadmiar wody jak i na suszę. Rola materii

organicznej w przeciwdziałaniu suszy jest związana z jej właściwościami retencyjnymi oraz kształtowaniem właściwej struktury gleby, sprzyjającej zatrzymywaniu większych ilości wody w glebie. Globalne znaczenie materii organicznej związane jest z bioróżnorodnością gleb oraz z różnorodnością krajobrazu, a to przekłada się na stabilność ekosystemów i ich odporność na niekorzystne warunki [6]. Skuteczna rekultywacja powinna mieć zatem na celu zainicjowanie i przyspieszenie rozwoju procesów glebotwórczych oraz zwiększenie zawartości materii organicznej w glebie. Przeszkodą dla tego procesu jest fakt, że odpady górnicze i gleby pokopalniane pozbawione są materii organicznej. Tym bardziej poprawa jakości za pomocą materiałów organicznych, takich jak osady ściekowe, obornik lub kompost, może stać się kluczowym rozwiązaniem skutecznej rekultywacji [7, 26].

Kompost stanowi złożony nawóz biologiczny o szerokim zakresie oddziaływania na środowisko glebowe, w szczególności użyznienie poprzez poprawę jej zasobności w wodę, zwiększenie aktywności mikrobiologicznej oraz ograniczenie zanieczyszczenia metalami ciężkimi. Stosowanie kompostów może być jedną z prostszych metod procesu bioremediacji gleby [25]. Kompostowanie jest powszechnie wykorzystywaną metodą utylizacji różnych odpadów organicznych, jednak w Polsce stosuje się ją do usuwania zaledwie kilku procent odpadów, głównie komunalnych. W mniejszej skali stosowane jest również w gospodarstwach domowych. Parametry towarzyszące przemianom materii organicznej w procesie kompostowania zależą przede wszystkim od efektywności procesu. Wskaźnikami zachodzących przemian są: temperatura, wilgotność, pH, natlenienie jak również skład masy kompostowej. Parametry służą informowaniu o prawidłowości przebiegu procesu, o stanie higienizacji, jak również o etapach i dojrzałości, stąd ich kontrola musi odbywać się stosunkowo często. Rozpoczęcie kompostowania powinien poprzedzać dobór składu masy kompostowej, określany stosunkiem C:N, gdyż od dostępności tych pierwiastków zależy rozwój mikroorganizmów. Składniki kompostu mogą stanowić odpady pochodzenia roślinnego i zwierzęcego, co jest istotne ze względu na realizację koncepcji gospodarki w obiegu zamkniętym. Za optymalne uważane są proporcje C:N w granicach 20-40:1 [9,10,11]. Czynnikiem determinującym obecność mikroflory, która jest odpowiedzialna za cały proces [12]. W zależności od składu chemicznego surowców, a właściwie głównego składnika, dobiera się dodatkowe komponenty uzupełniające. Przykładowo są to odpady celulozowe, które dostarczają węgla organicznego, a dodatkowo eliminują odory i stabilizują kompost. Oprócz tego ważne jest rozdrobnienie składników masy kompostowej, gdyż zbyt duża wielkość cząstek utrudnia dostęp mikroorganizmów, natomiast zbyt mała zaburza warunki tlenowe w kompoście. Przy czynnym natlenieniu wielkość cząstek może wynosić 1 cm, natomiast przy jego braku 5-10 cm. Z kolei obecność tlenu zapewnia rozwój mikroorganizmów tlenowych, ale zbyt intensywne natlenianie, może obniżyć temperaturę oraz wilgotność [13, 18]. Nie bez znaczenia jest sposób dostarczania tlenu i rozprowadzania go po całej masie. W tym celu wykorzystuje się bioreaktory obrotowe lub wymuszone napowietrzanie przy pomocy kompresora. Stosowane techniki są determinowane przez skład masy kompostowej, możliwości finansowe oraz dostępność sprzętu. Wybór techniki kompostowania zarówno wpływa na sam proces kompostowania, jak również na środowisko [14, 15, 16].

Mikroorganizmy odgrywają kluczową rolę w procesie kompostowania, a ich skład gatunkowy jest unikalny dla danego rodzaju kompostu (Tab. 1). Proces kompostowania polega na tlenowym rozkładzie materii organicznej z udziałem bakterii, promieniowców, drożdży i grzybów strzępkowych. Mikroorganizmy prowadzą dekompozycję materii organicznej kompostu poprzez produkcję pozakomórkowych enzymów hydrolitycznych, co prowadzi do depolimeryzacji dużych cząstek na małe fragmenty, rozpuszczalne w wodzie i lepiej przyswajane przez mikroorganizmy i rośliny [12, 26]. Pod względem biochemicznym kompostowanie polega na mikrobiologicznej mineralizacji materii organicznej zawierającej cukry, białka, hemicelulozę, ligninę, co prowadzi do wytworzenia humusu (próchnicy), uwolnienia dwutlenku węgla oraz energii cieplnej. Związki próchniczne obok kwasów fulwowych, huminowych i humin, zawierają zwiększone ilości mineralnych związków azotu i fosforu [10].

Szczególnie istotnymi produktami tych przemian są związki próchniczne, w tym kwasy huminowe. Kwas humusowy, aplikowany bezpośrednio na glebę, pozwala zredukować pobieranie przez rośliny metali ciężkich takich jak rtęć, kadm, nikiel czy ołów, dezaktywując je poprzez łączenie w nieprzyswajalne związki chemiczne. Ponadto

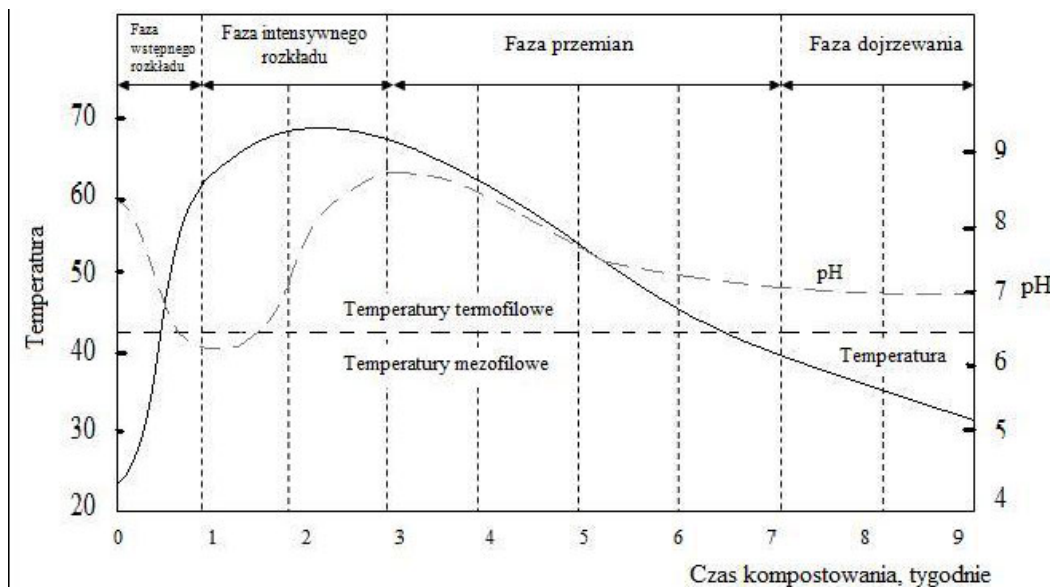
po zastosowaniu preparatów nawozowych z dodatkiem związków próchnicznych szybciej zachodzi rekultywacja gleby zanieczyszczonej także innymi substancjami tj. produkty naftowe, radioaktywne oraz inne zanieczyszczenia chemiczne. Piccolo i wsp. [33] opisali w swojej pracy nowatorską i wydajną technologię remediacji gleb z metali ciężkich, opartej na wykorzystaniu materii próchnicznej produkowanej z poddanej recyklingowi biomasy w procesie kompostowania. Komposty uzyskano przez zmieszanie materii próchnicznej ze słomą, która stanowiła materiał strukturalny. Autorzy ponadto wykazali w toku swoich badań, że substancje humusowe nie tylko wpływały na usunięcie metali, wypierając je z trudno dostępnych kompleksów w glebie, ale także obserwowano występowanie metali resztkowych w bardziej biodostępnych formach, które mogły być następnie łatwiej pobierane przez rośliny. Wydaje się to zaletą w przyspieszeniu powszechnie powolnego procesu fitoekstrakcji, który może być następnie stosowany w celu ukończenia remediacji terenów pogórnich zanieczyszczonych metalami.

Kompostowanie łatwo degradowalnych odpadów organicznych np. roślinnych zachodzi przy udziale autochtonicznej mikroflory. Do kompostowania trudno degradowalnych substancji niezbędne jest wspomaganie procesu

Tab.1. Przykładowe mikroorganizmy występujące w określonych typach kompostów [12]

Tab.1. Examples of microorganisms found in specific types of composts [12]

Typ kompostu	Mikroorganizmy
Obornik lub pozostałe odpady	<i>Bacillus budius</i> , <i>Cellulomonas</i>
Mieszanka obornika i substratów ligninocelulozowych	<i>Bacillus schlegeli</i>
Domowe odpady organiczne	<i>B. licheniformis strain NH1</i>
Odpady otrąb ryżowych lub ziemniaczane	<i>Bacillus. sp. (strain 0YK-01-600)</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Trichoderma</i> , <i>Myriodontium</i> , <i>Pleurotus</i>
Odpady miejskie	<i>Faenia rectivirgula</i> , <i>Saccharomonospora viridis</i> , <i>Streptomyces thermoviolaceus</i> , <i>Thermoactinomyces thalophilus</i> , <i>T. vulgaris</i> , <i>Thermomonospora curvata</i>
Odpady organiczne	<i>Protobacteria</i>
Odpady rozdrobnionego papieru	<i>Cellulomonas sp.</i>
Odpady cytrusowe	<i>B. licheniformis</i> , <i>B. macerans</i> , <i>B. stearothermophilus</i> , <i>Absidia corymbifera</i> , <i>Aspergillus fumigatus</i> , <i>Rhizomucor pusillis</i> , <i>Talaromyces thermophilus</i> , <i>Emericella nidulans</i> , <i>Thermomyces lanuginosus</i> , <i>Proteusz vulgaris</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>P. fluorescens</i> , <i>P. luteola</i> , <i>Serratia marcescens</i> , <i>Aspergillus puniceus</i> , <i>A. ustus</i> , <i>Paecilomyces lilacinus</i> , <i>Coprinus lagopus</i>
Słoma pszenicy	<i>Pleurotus sajror-caju</i> , <i>Trichoderma harzianum</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Azotobacter chroococcum</i>
Odpady z usuwanych roślin lub ścieków, suplementowane trocinami	<i>Salmonella</i>
Odpady ligninowe z modrzewia i osiki	<i>Trametes villosus</i>
Odpady z produkcji napojów i żywności	<i>Bacillus sp. strain KHR-10</i> i <i>Cellulomonas sp. strain KHR-15- MX</i>
Odpady komunalne	<i>Penicillium</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Thermoactinomyces</i> , <i>Streptomyces</i> ,
Domowe sterylizowane odpady	<i>Bacillus stearothermophilus</i>
Niedojrzałe komposty trawy	<i>Trichoderma viridae</i> , <i>Bacillus sp.</i>



Rys. 1. Fazy procesu kompostowania w czasie [10]

Fig. 1. Composting process phases during [10]

Tab.2. Wskaźniki wartości nawozowej

Tab.2. Indicators of fertilizing value

Nawóz organiczny	C/N	Cw/Norg	NH <sub>4</sub> /NO <sub>3</sub>	Cw	NH <sub>4</sub> -N	Nog	P	K
Ilość	<10	<0,55	0,16	<1,7	<0,04	>0,3	>0,2	>0,2

szczepionką mikroorganizmów [31]. Drobnoustroje naturalnie zasiedlające te odpady są zdolne do ich rozkładu [32], jednak jest to proces bardzo czasochłonny i mało wydajny. Wzbogacenie mikroflory kompostu wyselekcjonowanymi szczepami drobnoustrojów korzystnie wpływa na przebieg procesu kompostowania i sprzyja wytwarzaniu związków próchnicznych [31]. Po zakończeniu mikrobiologicznego rozkładu materii organicznej można zaobserwować zmniejszenie objętości kompostowanej masy, co poza uzyskaniem wartościowego produktu nawozowego, przyczynia się również do zmniejszenia strumienia odpadów [11].

Po zapoczątkowaniu procesu kompostowania dalszy jego przebieg można śledzić poprzez rejestrację dwóch podstawowych parametrów, jakimi są odczyn środowiska oraz temperatura (Rys.1) [10, 17]. Biochemiczna transformacja materii organicznej podczas kompostowania jest katalizowana przez enzymy drobnoustrojów, które są specyficznymi hydrolazami. Dla przykładu  $\beta$ -glikozydazy w tym celulazy degradują polisacharydy z wiązaniami  $\beta$ -1,4 glikozydowymi, dostarczając glukozę mikroorganizmom, która wchodzi do przemian centralnych [19]. Aktywność enzymatyczna wzrasta podczas kompostowania, a następnie obniża się przy końcu procesu, co pokazuje stabilność aktywności enzymatycznej, zawartej już w dojrzałym kompoście [12, 22].

Najważniejszym wskaźnikiem jakości kompostów jest jego dojrzałość, która wyraża się możliwością wykorzystania w ogrodnictwie lub rolnictwie [23]. Wszystkie zachodzące procesy w kompostach służą uzyskaniu produktu nawozopodobnego. Produkt kompostowania, aby mógł być wykorzystany jako odżywka lub nawóz do gleby musi być pozbawiony metali ciężkich i innych związków toksycznych, które trafiając do gleby, kumulowane są w roślinach, a następnie konsumowane przez ludzi [20, 21, 22, 23].

Dokładne wytyczne dotyczące przydatności masy kompostowej jako nawozu ustalone zostały w Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 21 sierpnia 2024 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu. Produkt przeznaczony na nawóz powinien zawierać minimum 30% substancji organicznej w przeliczeniu na suchą masę i określoną zawartość substancji mineralnych, które są głównymi składnikami nawozów organicznych (Tab. 2) [24].

Właściwości kompostu predestynują go do wykorzystania na zdegradowanych terenach pogórnicych, w celu przeprowadzenia skutecznej rekultywacji poprzez wzbogacenie w materię organiczną, poprawiając aktywność mikrobiologiczną gleby, a tym samym jej żyzność [8, 9]. Tandy i wsp. [27] przedstawili wyniki badań potwierdzające korzyści płynące z zastosowania kompostów do remediacji terenów pogórnicych. Zarówno gleba kompostowana wraz z odpadami organicznymi jak i sama aplikacja organicznego kompostu do gleby sprzyjała wzrostowi roślin i przyczyniała się do zmniejszania akumulacji Cu, Pb i As w roślinach. Według autorów, efekt ten został osiągnięty dzięki synergii dwóch czynników: zmniejszonej dostępności metali i lepszego odżywiania roślin [27].

Badania nad wykorzystaniem kompostu z odpadów komunalnych i odpadów wydobywczych podjęli Kujawska J. i wsp. [28] wykazując, że zmieszanie kompostu z odpadów komunalnych z przywęglową skałą płonną z kopalni w Bogdanie oraz zwiercinami powstającymi podczas poszukiwania gazu łupkowego w proporcji wagowej 64%:3%:33% oraz 50%:5%:45% prowadzi do wytworzenia podłoża mineralno-organicznego, które może znaleźć zastosowanie do tworzenia warstwy rekultywacyjnej terenów zdegradowanych. Właściwości fizyczno-chemiczne badanych podłoży były zbliżone do właściwości typowych gleb,

bogatych w materię organiczną, ale wytworzonych na skałach nieorganicznych [28].

W innym badaniu Schroeder [29] badał proces remediacji jałowego terenu zanieczyszczonego odpadami piaskowymi i szlamami z zakładu górniczego. Główny nacisk położono na wykorzystanie zwróconej wierzchniej warstwy gleby i organicznych dodatków, takich jak kompost z odpadów ogrodowych, stosowany bezpośrednio na zdegradowaną glebę. Aby zbadać tę możliwość, dwa doły kopalniane (badania na skalę pilotażową) zostały wzbogacone wierzchnią warstwą gleby i kompostem, gdzie uprawiano pszenicę ozimą i soję. Zastosowanie kompostu z odpadów ogrodowych zrewitalizowało glebę do użytku rolniczego. Autor publikacji stwierdził, że obróbka kompostem może być najlepsza w dłuższej perspektywie.

Z kolei w badaniach prowadzonych przez Salgado i wsp. [34] wykazano skuteczność stosowania kompostów w remediacji terenów pogórnich zanieczyszczonych metalami ciężkimi. W badaniach polowych wykorzystano odpady alkaliczne wytwarzane podczas eksploatacji dunitu, w połączeniu z kompostem lub niezależnie. Celem było zminimalizowanie mobilności metali ciężkich (As, Cu, Cd, Ni, Pb i Se), poprawa zdrowia gleby i stymulacja wzrostu roślin (*Lolium perenne* L.). Połączenie dunitu i kompostu okazało się skuteczną strategią remediacji zanieczyszczonych gleb poeksploatacyjnych. Wyniki wykazały, że zastosowanie tego rozwiązania znacznie zmniejszyło stężenie dostępnego Cu i Ni w glebie o ponad cztery razy, a także znacznie poprawiło właściwości gleby i sprzyjało zbiorom większej biomasy.

Kompost można również stosować łącznie z innymi biologicznymi technikami bioremediacyjnymi. Ciekawy przykład takiego zintegrowania dwóch metod biologicznych zaprezentowali w swojej pracy Hosseinniaee i wsp. [30]. W tym badaniu synergistyczne efekty gatunków roślin: dziewanna

okazała (*Verbascum speciosum*), szanta (*Marrubium cuneatum*), i ostnica (*Stipa arabica*), wraz z dodatkiem kompostu z odpadów komunalnych w dawkach 1, 3 i 5%, zostały ocenione w eksperymencie doniczkowym, którego celem była remediacja zanieczyszczonej gleby zawierającej ołów (Pb) i kadm (Cd). Zastosowanie kompostu poprawiło biomasa nadziemną roślin o 13 - 19% oraz aktywność mikrobiologiczną badanych gleb, wyrażoną w zwiększonej aktywności dehydrogenaz. Po zastosowaniu kompostu wszystkie trzy gatunki roślin pobierały kadm i ołów w mniejszej ilości.

## Podsumowanie

Zalety stosowania kompostów są wielowymiarowe. Warto nadmienić, iż komposty, które są bogate w materię organiczną i związane w nich składniki odżywcze, budują integralność gleby i odżywiają rośliny na długi okres. Wieloletnie badania nad stosowaniem kompostu wykazują jego pozytywny wpływ na stan gleb, który utrzymuje się do 8 lat po zastosowaniu. Nawożenie kompostem redukuje również prawdopodobieństwo chorób roślin, ponieważ kompost nie zawiera patogenów ani nasion chwastów. Mikroorganizmy w nim zawarte zwalczają patogeny obecne w glebie, co gwarantuje ochronę roślin uprawnych bez konieczności stosowania pestycydów [4]. Przeprowadzona analiza wykorzystania kompostów na cele rekultywacyjne niesie ze sobą kilka korzyści, powiązanych ze sobą. Po pierwsze zostaną wykorzystane materiały odpadowe z przemysłu rolno spożywczego, po drugie wykorzystany zostanie ekologiczny sposób utylizacji, a po trzecie powstanie wartościowy produkt nawozowy do zastosowań w rekultywacji i wzbogacaniu gleby w naturalne składniki organiczne. Wszystko to jest zgodne z polityką Unii Europejskiej, a w szczególności wpisuje się w założenia europejskiej strategii transformacji ekologicznej Zielony Ład.

## Literatura

- [1] Rahmonov O., Rózkowski J., Kłys G. 2022. *The Managing and Restoring of Degraded Land in Post-Mining Areas*. „Land” (T. 11, nr 2, s. 1-3), <https://doi.org/10.3390/land11020269>
- [2] Midor K., Biały W., Rogala-Rojek J., Matusiak P. 2021. *The Process of Designing the Post-Mining Land Reclamation Investment Using Process Maps*. *Energies* 2021, 14(17), 5429; <https://doi.org/10.3390/en14175429>
- [3] Adator Stephanie Worlanyo, Li Jiangfeng. 2021. *Evaluating the environmental and economic impact of mining for post-mined land restoration and land-use: review*. *Journal of Environmental Management*, 279, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111623>
- [4] [<http://ekopolska.org.pl/zastosowanie-kompostu-w-rolnictwie/>]
- [5] Adegbite A. Tella. 2024. *The Environmental Impact of Mining Activities in the Local Community: Structural Equation Modelling Approach*. *International Journal of Social Work*, Vol. 11, No. 1; <https://doi.org/10.5296/ijsw.v11i1.21747>
- [6] Siebielec G., Siebielec S., Kaczyński R., Gmur D., Koza P. 2021. *Egzogenna materia organiczna jako element europejskiego zielonego ładu*. *Studia Raporty IUNG-PIB*; 66(20): 27-42; <https://doi.org/10.26114/sir.iung.2021.66.02>
- [7] Paradelo Núñez, Remigio. 2013. *Use of compost for the restoration of mine wastes and mine soils*. *Boletín Geológico y Minero*, 124 (3), 405-419
- [8] Natywa M., Sawicka A., Wolna-Maruwka A. 2010. *Aktywność mikrobiologiczna enzymatyczna gleby pod uprawą kukurydzy zależność od zróżnicowanego nawożenia azotem*. *Woda-Srodowisko-Obszary Wiejskie*, t. 10 z. 2 (30); s. 111–120
- [9] Liang C., Das K.C., McClendon R.W. 2003. *The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of biosolids composting blend*. *Bioresource Technology* 86, 131-137
- [10] Błaszczak M. K. 2007. *Mikroorganizmy ochronie środowiska*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa
- [11] Kornilowicz-Kowalska T., Bohacz J. 2010. *Dynamics of growth and succession of bacterial and fungal communities during composting of feather waste*. *Bioresource Technology* 101, 1268-1276
- [12] Ros M., García, Hernández T. 2006. *full-scale study of treatment of pig slurry by composting: Kinetic changes in chemical and microbial properties*. *Waste Management* 26, 1108-1118

- [13] Yamada Y., Kawase Y. 2006. *Aerobic composting of waste activated sludge: Kinetic analysis for microbiological reaction and oxygen consumption*. Waste Management 26, 49 – 61
- [14] Tiquia S.M., Tam N.F.Y., 1998. *Composting of spent pig litter in turned and forced-aerated piles*, Environmental Pollution 99, 329-337
- [15] Pagans E., Font X., Sánchez A. 2006. *Biofiltration for ammonia removal from composting exhaust gases*. Chemical Engineering Journal, 113, 105-110
- [16] Cadena E., Colon J., Artola A., Sánchez A., Font X. 2009. *Environmental impact of two aerobic composting Technologies using life cycle assessment*. Int J Life Cycle Assess 14, 401-410
- [17] Jędrzak A. 2008. *Biologiczne przetwarzanie odpadów*. Wydawnictwa Naukowe PWN, Warszawa, 198 – 219
- [18] Neklyudov A.D., Fedotor G.N., Ivankin A.N. 2008. *Identification of Composting Processes by Aerobic Microorganisms: A review*, Appl. Bioch. and Microbiol., Vol. 44, No. 1, 6-18
- [19] Cunha-Queda A.C., Ribeiro H.M., Ramos A., Cabral F. 2007. *Study of biochemical and microbiological parameters during composting of pine and eucalyptus bark*. Bioresource Technology, 98, 3213-3220
- [20] Cambardella C.A., Richard T.L., Russell A. 2003. *Compost mineralization in soil as function of composting process conditions*. European Journal of Soil Biology 39, 117–127
- [21] Wang P., Changa C.M., Watson M.E., Dick W.A., Chen Y., Hoitink H.A.J. 2004. *Maturity indices for composted dairy and pig manures*. Soil Biology & Biochemistry 36 767–776
- [22] Aslam D.N., Horwath W., Vander Gheynst J.S. 2008. *Comparison of several maturity indicators for estimating phytotoxicity in compost-amended soil*. Waste Management 28, 2070–2076
- [23] Hargreaves J.C., Adl M.S., Warman P.R. 2008. *review of the use of composted municipal solid waste in agriculture*. Agriculture, Ecosystems and Environment 123, 1–14
- [24] Rozporządzenie Ministra Rolnictwa Rozwoju Wsi dnia 9 sierpnia 2024 r. sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy nawozach nawożeniu. Na podstawie art. 10-11a ustawy dnia 10 lipca 2007 r. nawozach nawożeniu (Dz. U. 2024 r. poz. 105)
- [25] Rosa E., Sufardi S., Syafruddin S., Rusdi M. 2023. *Bioremediation of Ex-Mining Soil with the Biocompost in the Incubation Experiments*. Applied and Environmental Soil Science, Vol., <https://doi.org/10.1155/2023/4129909>
- [26] Myszyra-Dymek, M.; Żukowska, G. 2023. The Influence of Sewage Sludge Composts on the Enzymatic Activity of Reclaimed Post-Mining Soil. Sustainability, 15, 4749. <https://doi.org/10.3390/su15064749>
- [27] Tandy S. Healey J. R., Nason M. A., Williamson J. C., Jones D. L. 2009. *Remediation of metal polluted mine soil with compost: Co-composting versus incorporation*. Environmental Pollution, 157, 690–697, <https://doi.org/10.1016/j.nvpol.2008.08.006>.
- [28] Kujawska J., Pawłowska M., Wójcik K., Baran S., Żukowska G., Pawłowski A. 2016. *Zastosowanie odpadów wydobywczych kompostu odpadów komunalnych do tworzenia materiałów glebopodobnych do rekultywacji terenów zdegradowanych*. Lublin Annual Set The Environment Protection Rocznik Ochrona Środowiska, 709-721, Tom 18
- [29] Schroeder, Philip D. 1997. *Restoration of prime farm land disturbed by mineral sand mining in the upper coastal plains of Virginia*. Master's Thesis, Virginia Tech
- [30] Hosseinniaee S., Jafari M., Tavili A., Zare S. 2024. *Role of compost in assisted phytostabilization via three naturally occurring species on mine-contaminated soil and health risk alleviation for livestock*. Environmental Technology & Innovation, 36, <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103754>
- [31] Rodziewicz A., Sobolczyk J., Łaba W., Choińska A. 2010. *Ilościowe jakościowe zmiany drobnoustrojów podczas kompostowania pierza udziałem szczepionki keratynolitycznych bakterii*. II Sympozjum Inżynierii Żywności, Warszawa, 9-11
- [32] Kim J.M., Lim W.J., Suh H.J. 2001. *Feather-degrading Bacillus species from poultry waste*. Process Biochemistry, 37, 287-291
- [33] Piccolo L., Spaccini R., De Martino A., Scognamiglio F., Meo V. 2019. *Soil washing with solutions of humic substances from manure compost removes heavy metal contaminants as function of humic molecular composition*. Chemosphere, volume 225, 150-156. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.03.019>
- [34] Salgado L., Aparicio L., Elías Afif E., Fernández-López E., Gallego J.R., Forján R., 2024. *A second life for mining waste as an amendment for soil remediation*. Journal of Material Cycles and Waste Management, 26:2971–2979 <https://doi.org/10.1007/s10163-024-02013-6>