

Prof. dr hab. inż. Tadeusz A. Marcinkowski
Politechnika Wroclawska
Wydział Inżynierii Środowiska
Zakład Technologii Odpadów i Remediacji Gruntów
Wybrzeże Stanisława Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

RECENZJA

rozprawy doktorskiej

pt.: „Metoda rekultywacji obiektów unieszkodliwiania odpadów wydobywczych z flotacji rud miedzi”, której autorem jest Pan mgr Wojciech Mizera

Promotorem rozprawy jest Pan dr hab. inż. Kazimierz Grabas, prof. PWr.

I. PODSTAWA OPRACOWANIA

Recenzję dysertacji opracowano na podstawie pisma Pana dr. hab. inż. Radosława Zimroza, prof. PWr., Prodziekana Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej, z 2. 03. 2017 r.

II. FORMA PRACY

Rozprawa doktorska liczy 105 stron tekstu; podzielono ją na 4 zasadnicze rozdziały. W tekście zawarto 10 tabel, 14 wykresów, 5 fotografii, 2 rysunki. Natomiast w załącznikach przedstawiono dokumentację fotograficzną, zestawienia tabelaryczne tzw. danych surowych, wykresy zbiorcze wyników badań i dziennik obejmujący rejestr prac badawczych polowych. Na końcu pracy zamieszczono spis literatury, który obejmuje 158 pozycji, w tym kilka anglojęzycznych krajowych i zagranicznych. Forma pracy nie budzi zastrzeżeń, natomiast w treści pracy zdarzyły się pomyłki i ubytki w oznaczeniach oraz nazewnictwo i słowne wynikające prawdopodobnie z powodu stosowanej podczas redagowania techniki kopiuj/wklej.

III. TREŚĆ PRACY

Doktorant we wstępie do rozprawy wskazał na skalę problemu eksploatacji, rekultywacji i zagospodarowania funkcjonujących i niefunkcjonujących w KGHM Polska Miedź S.A. obiektów unieszkodliwiania odpadów wydobywczych (OUOW). Podkreślił również, że oprócz praktycznego i wdrożeniowego, jest to też ważny aspekt naukowy. Wskazał

też na dotychczasowe przyczyny braku rekultywacji tych obiektów, a były nimi między innymi właściwości fizykochemiczne odpadów, czy brak regulacji prawnych zobowiązujących właściciela do zamknięcia składowiska. Przyczyny te, między innymi, były bodźcem do podjęcia problemu, który jest tematem ocenianej dysertacji. Przeprowadzone studia literaturowe (rozdz. 2) obejmowały ponad 30 stron tekstu i poświęcone były czterem zasadniczym zagadnieniom.

Pobieżnie omawiając technologię przerobu rud miedzi wskazał proces flotacji jako główną przyczynę powstawania tych odpadów technologicznych (odpady flotacyjne, które w skali roku powstają w ilości bliskiej 30. mln ton). Głównymi składnikami tych drobno zmielonych odpadów (w 80% frakcja pylista poniżej 0,06 mm) są: piaskowce, dolomity, wapienie i łupki zawierające niewielkie ilości siarczkowych minerałów kruszcowych. Odpady te zawsze deponowano na składowiskach nadpoziomowych, które oprócz funkcji magazynującej, pełniły funkcje hydrotechniczne jako czasowe zbiorniki retencyjne wód kopalnianych.

Kolejne rozważane zagadnienie to tzw. nowe podejście do problemu rekultywacji jako technicznego i biologicznego przywrócenia do ponownego użytkowania terenów zdewastowanych antropogenicznie; oczywiście przy uwzględnieniu aspektów: środowiskowych i prawnych, planowania przestrzennego, oraz technologicznych i badawczych.

Trzecim zagadnieniem dyskutowanym w części literaturowej była ocena stanu wiedzy w zakresie rekultywacji z ukierunkowaniem na badania na obiektach jeszcze eksploatowanych czy już nieczynnych.

Autor zwrócił uwagę, iż cytat: „W przypadku obiektów KGHM, zadaniem rekultywacji powinien być dobór odpowiednich czynności i środków, które w stosunkowo krótkim czasie zainicjują i będą następnie stymulowały procesy glebotwórcze.” Procesy te, zdaniem Doktoranta, wymagają zastosowania, oprócz znanych i stosowanych dotychczas metod i technik, także rozwiązań nowatorskich, co również jest jednym z zagadnień omawianych w ocenianej dysertacji. W związku z tym w rozprawie zostały przypomniane prace rekultywacyjne i ich efekty uzyskane na należących do KGHM Polska Miedź S.A. składowiskach: „Lena” nr 1, „Lena” nr 2, „Iwiny” nr 1 oraz Gilów. Wobec obiektów tych stosowano wielokierunkowo doświadczenia stosując głównie drzewa, krzewy, roślinność zieloną, konsumpcyjną i wspomagające je różne formy nawożenia. Oczywiście zasiedlanie różną roślinnością prowadzono po przykryciu odpadów innymi gruntami, o zróżnicowanej miąższości (nawet do 2 m) i o różnych właściwościach fizycznych. Do rekultywacji stosowano też nadkłady czy odpady z kopalni piasku. Prowadzono również badania rekultywacji na podkładzie macierzystym („Lena” nr 1), bez stosowania nadkładów organiczno-mineralnych. Przy okazji badań i rekultywacji omawianych obiektów, kierowano się również możliwościami planowanych zmian w późniejszym przeznaczeniu obiektów z uwzględnieniem przywróceniu ich do ponownej eksploatacji. Stosowano wtedy rekultywację zapewniającą tymczasową stabilizację powierzchni poprzez tymczasową obudowę biologiczną (składowisko Gilów).

Doktorant przytoczył również wyniki badań nad tzw. bezglebową rekultywacją, co przeprowadzono na OUOW Wartowice nr 3 w Iwinach. Rekultywacja polegała na obsianiu powierzchni odpadów mieszankami traw i roślin motylkowych; a kierunek leśny potraktowano jedynie jako uzupełniający.

W ostatniej części omawianego rozdziału przytoczono dość pobieżnie informacje literaturowe na temat rekultywacji podobnych obiektów poza Polską. Autor podał, iż wiedza literaturowa na ten temat są dość uboga. Głównie z tego powodu, że obiekty te powinny spełniać po zamknięciu wymogi bezpieczeństwa statycznego, co wynika z innych właściwości tych odpadów. W praktyce obiekty tego typu są porzucane i nie rekultywowane (np. w Grecji czy Hiszpanii). Natomiast w Skandynawii, Ameryce Płd., czy Australii często prowadzi się stabilizację biologiczną ograniczającą negatywny wpływ na środowisko, poprzez izolację syntetykami (geomembrany), stosowanie okrywy glebowej i wysiew traw.

Odnosząc się ponownie do warunków krajowych Doktorant wskazał za prof. W. Krzaklewskim, iż: „nowoczesna rekultywacja stawia sobie aktualnie wyższe cele, dążąc do przywrócenia wartości użytkowych; ma także na celu wykształcenie na terenach zdegradowanych całych ekosystemów krajobrazu”.

W zakończeniu rozważań literaturowych ponownie, lecz bardziej obszernie, przedyskutował stan prawny i kosztowy aspektów dotyczących rekultywacji i zagospodarowania OUOW z flotacji rud miedzi.

Część badawcza pracy zawarta jest w rozdziałach: 3. – Badania własne i 4. Podsumowanie i wnioski.

Celem pracy było opracowanie, w oparciu o badania własne i analizy dotychczasowych koncepcji, niskonakładowej metody rekultywacji nieczynnych składowisk odpadów z przeróbki rud miedzi. Założono przy tym, że osiągnięcie tego celu stworzy podstawy do opracowania kompleksowej i uniwersalnej metody rekultywacji tego typu obiektów w LGOM. Zakresem badań objęto możliwości stosowania odpadów mineralnych z górnictwa do rekultywacji składowisk odpadów flotacyjnych, co postanowiono wykazać w trakcie zaplanowanych 3 letnich badań terenowych uwzględniających pełne sezony wegetacyjne. Założono ponadto, że opracowana metoda pozwoli na obniżenie kosztów realizacji prac rekultywacyjnych.

Przedmiotem badań była też analiza źródłowych materiałów badawczych pochodzących z ostatniego czterdziestolecia oraz weryfikacja ich empirycznymi badaniami własnymi. Obiektem badań własnych Autora było nieczynne od 1989 roku składowisko (OUOW) Wartowice nr 3 należące do zlikwidowanej kopalni Konrad. Poletka doświadczalne zlokalizowano we wschodniej części obiektu na powierzchni pozbawionej rowów erozyjnych w obszarze niezalewowym. Całość ogrodzono, chroniąc przed dostępem dzikich zwierząt.

Autor zaproponował metodę rekultywacji bezglebowej, realizowaną dwuetapowo „jako techniczną i następnie biologiczną”. Część techniczna polegała na dostarczeniu odpadów mineralnych na obszar rekultywowany, ich spreparowaniu (przesianiu na sicie o ϕ oczek maksymalnie 20 mm) i rozprowadzeniu równomiernie na powierzchni składowiska odpadów flotacyjnych i następnie mechanicznym przemieszaniu całości na głębokość od 2 do nawet 10 cm warstwy rodzimego depozytu. Rekultywacja biologiczna z kolei obejmowała nawożenie przedsiewne, bronowanie i wysiew mieszanek traw i roślin motylkowych.

W badaniach stosowano następujące 4 rodzaje odpadów:

- piasek i nadkład z kopalni piasku Jurków w Iwinach (typologicznie to glina lekka szkieletowata),
- skała płonna z drążenia szybu K1 i K2 w Iwinach (typologicznie to glina lekka szkieletowata),

- nadkład z kopalni wapienia Podgrodzie w Raciborowicach (typologicznie to margle o odczynie kwaśnym),
- fosfogipsy z Zakładów Chemicznych Wizów S.A. w m. Łąka (czynnik zakwaszający zawierający fosforany).

Poletko doświadczalne założono na powierzchni 132 m², a w jego skład wchodziło 20 mikropoletek o powierzchni 4 m³ każde, które oddzielone były pasami gruntu wyłączanego z obsiewu.

Na powierzchnię odpadów flotacyjnych wprowadzano w dwóch różnych seriach różne dawki wybranych i wcześniej opisanych odpadów mineralnych w ilościach 10 kg lub 20 kg każdego rodzaju odpadów na poszczególne poletka.

W serii A zastosowano dawki piasku, fosfogipsu i nadkładu w ilości po 10 kg i uzupełniając po 1 kg odpadów ZnSO₄ oraz FeSO₄. W serii B analogicznie dawki podwojono. W seriach C i D zastosowano dodatkowo czwarty rodzaj odpadów czyli skałę płoną.

Natomiast seria badawcza E stanowiła układ odniesienia (tzw. próba zerowa bez dodatków odpadów). Na spreparowanych w opisany sposób podłożach wysiano gatunki traw i ich mieszanki z roślinami motylkowymi takimi, które są przydatne na gruntach ubogich w substancje biogenne, a przy okazji charakteryzują się dużymi przyrostami masy oraz wytwarzają mocno rozbudowane systemy korzeniowe sprzyjające retencji wody i poprawie porowatości podłoża.

Fazy obsiewu polegały na zastosowaniu nawożenia NPK w dawkach od 40 g do 60 g na poletko, następnie wysiewano trawy i ich mieszanki w dawkach od 2,4 g, poprzez 3,6 g do 7,2 g na poletko. Wysiewano kostrzewę, kupkówkę, koniczynę i lucernę. Wysiewu dokonywano metodą hydroobsiewu przygotowując specjalną zawiesinę z: mulczu, nawozu, hydrożelu i kleju.

Po uzyskaniu wschodu roślin, okresowo prowadzono nawożenie mineralne: wiosną (pogłównie) i pod koniec lata, oraz zabiegi pielęgnacyjne kosząc darń w czerwcu i na przełomie września i października w latach 2013 – 2015.

Spulchnianie podłoża przeprowadzono w II i III dekadzie kwietnia. Natomiast badania podłoży przeprowadzono jednokrotnie pod koniec okresu badawczego w 2015 r. Z kolei próbki roślin pobierano trzykrotnie. Badania mikrobiologiczne również wykonano jednokrotnie w połowie okresu badawczego (w 2014 r.).

Badania składu chemicznego podłoży wykonano oznaczając: N_{org}, C_{org}, P, K i Mg.

Badania biologiczne polegały na oznaczeniu: ogólnej liczby bakterii, bakterii nityfikacyjnych oraz aktywności dehydrogenazowej.

Skład chemiczny roślin badano oznaczając: Cd, Ni, Pb, Co, Cu, Zn, Mg, Fe, Mn, Ca i K.

Jednocześnie prowadzono wizualnie - dokumentowane fotograficznie - badania wzrostu i rozwoju roślin.

Obserwując wzrost roślin Autor wykazał, że największe przyrosty biomasy notowano dla lucerny występującej osobno oraz w mieszankach z trawami. Ponadto mieszanki traw są zgodnie z wynikami doświadczenia najlepszymi roślinami startowymi dla tego typu trudnych środowisk. Ich dobre ukorzenienie oraz wzrost kolejnych generacji pozwala na późniejsze wkraczanie innych gatunków roślin.

Odpady wydobywcze wytworzyły więc możliwość trwałego wprowadzania/wkraczania roślin na podłoże odpadów flotacyjnych. Zaobserwowano rozpoczęcie, a następnie wspomaganie

procesów glebotwórczych; w warstwie przypowierzchniowej struktura gruntu uległa znaczącej poprawie. Zaobserwowano też pojawienie się organizmów żyjących w ekosystemach typu trawiastego, czyli: owadów i drobnych gryzoni.

Trwałe zazielenienie odpadów flotacyjnych przywraca więc dawno utracone przez składowiska funkcje przyrodnicze: siedliskowe i ostoje bioróżnorodności.

Oceniając z kolei skład chemiczny wytworzonego materiału roślinnego, po trzech latach hodowli wykazano, że w początkowym okresie doświadczenia, testowane w obrębie modelu empirycznego, rośliny akumulowały zwiększoną ilość metali ciężkich (w tym miedzi). W kolejnych latach nastąpiła stabilizacja pobierania metali z podłoża przy zbliżonej produkcji biomasy w każdym z okresów wegetacyjnych. Innymi słowy dodatek odpadów wydobywczych wpływa pozytywnie na wzrost roślin, przy równoczesnym zachowanym niskim, bądź umiarkowanym akumulowaniu przez rośliny metali ciężkich pochodzących z podłoża.

Generalnie, dodatek odpadów do podłoża wraz z regularnym wprowadzaniem dawek nawozów zwiększył udział makroelementów w testowanych roślinach.

Z kolei realizując badania mikrobiologiczne wykazano, że dodatek odpadów wydobywczych wpływa pozytywnie na liczebność bakterii i promieniowców, w stosunku do podłoża z odpadów niemodyfikowanych. W przypadku doświadczenia, dla odpadów bez dodatkowych zabiegów agrotechnicznych, liczebność bakterii wzrosła od kilku do kilkunastu razy w stosunku do odpadów modyfikowanych. Liczba promieniowców była skorelowana z liczbą bakterii.

Autor wskazał, że na wzrost liczebności bakterii i grzybów, pozytywny wpływ miało dodatkowe stosowanie odpadów wydobywczych; na poletkach z podwójnymi dawkami ilość bakterii i grzybów była wyższa w stosunku do próby kontrolnej.

Aktywność mikroorganizmów mierzona przy pomocy wskaźnika aktywności dehydrogenazowej wskazała na wzrost procesów metabolicznych, co miało przede wszystkim, istotne znaczenie dla funkcjonowania procesów glebotwórczych, w których istotny wkład mają drobnoustroje rozkładające materię organiczną.

Na podstawie wyników omówionych badań, Autor zaproponował koncepcję rekultywacji OUOW proponując: sprzęt techniczny, rodzaj i formę nawożenia, materiał siewny, a także preferowane zabiegi pielęgnacyjne rekultywowanych powierzchni składowisk.

Dla proponowanej koncepcji wyliczył także koszty realizacji rekultywacji tradycyjnej (grunty urodzajne o miąższości $\leq 1\text{m}$) jako wariant 1 oraz porównawczo wariant 2 jako metoda rekultywacji bezglebowej zgodnie z wytycznymi wynikającymi z badań omawianych w ocenianej rozprawie. Wykazał, że opracowana przez Niego technologia jest niemal dwukrotnie tańsza od tradycyjnej metody rekultywacji z zastosowaniem gruntów urodzajnych. We wnioskach Doktorant wskazał między innymi, że:

- Dodatek odpadów mineralnych zdecydowanie wpłynął na poprawę warunków wegetacji testowanych roślin. Uzyskano wytworzenie trwałej biologicznej okrywy rekultywacyjnej. Gatunki testowanych roślin, w stosunku do prób kontrolnych, osiągnęły lepsze parametry wzrostu oraz zdrowotności.
- Stosowane rodzaje odpadów wpłynęły pozytywnie na poprawę właściwości fizycznych podłoża, w związku z czym nie jest możliwe jednoznaczne wskazanie preferowanego dodatku wśród stosowanych dodatków mineralnych.

- Kierunek trawiasty pozwolił na zrealizowanie zakładanych celów rekultywacji przyrodniczej, a wśród testowanych gatunków najbardziej preferowana, w warunkach siedliskowych składowiska, była mieszanka traw z lucerną.
- Okresowe nawożenie powinno być stosowane aż do momentu wykształcenia się zwartych muraw roślinności. Dowiedziono też, że testowane uprawy mogą się utrzymywać przez wiele lat, i to bez konieczności stosowania dosiewów uzupełniających.
- Opracowana metoda rekultywacji gwarantuje przywrócenie funkcji przyrodniczych na terenach wcześniej zdegradowanych przemysłowo.

IV. UWAGI

1. W ocenianej dysertacji brakuje zadawalającego przeglądu literatury obcej na temat eksploatacji i rekultywacji składowisk omawianych i podobnych odpadów przemysłowych. Podrozdział poświęcony temu elementowi analizy literatury wzmocniłby merytorycznie dyskusję i podsumowanie zastosowanych rozwiązań technicznych i technologicznych.
2. Praca byłaby bardziej przystępna dla czytelnika, gdyby Autor w części wstępnej zamieścił mapę z zaznaczonymi lokalizacjami eksploatowanych i zamkniętych OUOW w LGOM należących do KGHM Polska Miedź S.A.
3. Numeracja i zapis tych samych OUOW przedstawiana była chaotycznie; mianowicie w zdaniach na stronach: 16, 21, 33, 38, oznaczano na przykład jako „Lena” Nr 1 i „Lena” Nr 2 lub LENA NR 1 i LENA NR 2 albo też (tabela 3 str. 44) Lena I i Lena II. Z kolei na str. 44 w tabeli 3.1 jest: Wartowice (Konrad III), a na stronach: 8, 38, 45 jest: „Wartowice” Nr 3. Ponadto Autor numerując obiekty stosował też raz zapis liczb arabski, a innym razem rzymski.
4. Na str. 47 cyt.: „Relatywnie korzystny jest alkaliczny odczyn pH mieszczący się w przedziale 8,0-8,5, który znacznie ogranicza mobilizację metali ciężkich i ich przechodzenie do roztworu wodnego.” Powinno być: „....ogranicza mobilność (lub ruchliwość) metali ciężkich...”.
5. Na str.55: w. 7g., dawkę odpadów flotacyjnych Autor podał stosując jednostkę: Mg/ar, natomiast w w.4d. i 5d., ilość powstających odpadów mineralnych podał w tys. Mg. Zapisy te są błędne, gdyż w Rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 30 listopada 2006 roku w sprawie legalnych jednostek miar w paragrafie 2 podstawową jednostką masy jest kilogram o oznaczeniu „kg”, a w tabeli 4. tegoż Rozporządzenia jednostką masy (o specjalnej nazwie i oznaczeniu) jest tona o oznaczeniu „t” zdefiniowana w jednostkach SI: 1t = 10³ kg.
6. Na stronach: 65 i 87 dawki N, P, K zapisano jako: kg/1ha, powinno być: kg/ha, z kolei w innym przypadku zapisano g/4m², a powinno być g/m².
7. Na str. 68. jest:zawartość pierwiastków składowych...., powinno być:zawartość pierwiastków śladowych....
8. W tekście pracy Autor permanentnie stosował zapisy: fizyko-chemia, czy fizyko-chemiczny, a powinno być bez dywizu: fizykochemia, fizykochemiczny.
9. Doktorant, w tekście pracy, często stosował sformułowania odbiegające od obowiązujących w Ustawie o odpadach oraz w Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie katalogu

odpadów, a także w Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie odpadów wydobywczych.

Na stronach: 53, 56, 57, 58, 59 i 60 Autor stosował wobec odpadów, zamiast zapisów w liczbie mnogiej, zapisy w liczbie pojedynczej, np.:

-metale w odpadzie flotacyjnym...
-odpad powstający przy produkcji...
-odpad z kopalni piasku....
-odpad (o typie pospółki) charakteryzował się...
-właściwości odpadu flotacyjnego...
-odpad powstały w wyniku wydobywania....
-odpad charakteryzuje się odczynem zasadowym.
-jest to odpad wytworzony przy produkcji kwasu....
-odpad flotacyjny...
- w nagłówku tabeli 3.5 jest: odpad,
oraz na str. 58 w tabeli 3.5 w. 3 jest: kod odpadu, a powinno być: kod lub kod odpadów.

Na str. 55 jest: „Wśród głównych grup należy tutaj wymienić: odpady żwiru i skał, odpadowe piaski i ropy, glebę i ziemię.” Według Ustawy o odpadach z 14 grudnia 2012 roku oraz według Rozporządzenia Ministra Środowiska z 9 grudnia 2014 roku w sprawie katalogu odpadów zapis ten jest błędny, gdyż Autor nie wymieniał grup odpadów lecz ich rodzaje, które należą do grupy 01: **odpady powstające przy poszukiwaniu, wydobywaniu, fizycznej i chemicznej przeróbce rud oraz innych kopalni.** Ta sama uwaga dotyczy często stosowanego w pracy, w różnych formach, określenia: ...odpady pogórnice...., a powinno być: odpady wydobywcze.

Częściowym usprawiedliwieniem Doktoranta może być fakt, iż niektóre źródła literaturowe, z których korzystał, też obfitują w tego rodzaju przywoływane błędy, co jednak nie znaczy, że w rozprawie doktorskiej, szczególnie w zakresie nauk technicznych, można je bezkrytycznie powielać. Mam świadomość, że wiele z tych terminów weszło do codziennego potocznego użycia, jednak w tekstach pisanych, a szczególnie w tekstach naukowych, warto i należy dbać o poprawne nazewnictwo i terminologię.

V. PODSUMOWANIE

Praca Pana mgr. Wojciecha Mizery pt.: „Metoda rekultywacji obiektów unieszkodliwiania odpadów wydobywczych z flotacji rud miedzi” stanowi interesującą pozycję naukową potwierdzającą i uzupełniającą wiedzę z zakresu metod przywracania środowisku obszarów zdegradowanych w wyniku oddziaływania zdeponowanych odpadów z fizycznej i chemicznej przeróbki rud metali, a w szczególności odpadów z flotacyjnego wzbogacania

Rudy miedzi na obszarze KGHM Polska Miedź S.A.. Doktorant dla zrealizowania zaplanowanego zakresu badań musiał wykazać się umiejętnościami ich organizacji i sprawnej realizacji. Jednocześnie stwierdzam, iż Autor zastosował właściwe metody badawcze, zrealizował założone cele i wyprowadził poprawne wnioski.

Uważam, że opiniowana praca doktorska spełnia wymogi wynikające z Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki. Wnoszę zatem o jej dopuszczenie do publicznej obrony przed Radą Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej.

Jademy Marciniowski

Wrocław, maj 2017 r.