



Zabrze, 19.11.2025 r.

Prof. dr hab. Magdalena Jabłońska-Czapla,
Kierownik Zakładu Ochrony Powierzchni Ziemi
Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk
ul. M. Skłodowskiej-Curie 34
41-819 Zabrze

Recenzja

rozprawy doktorskiej autorstwa mgr inż. Pawła Friebe
zatytułowanej

*„Badania nad technologią odzysku metali ziem rzadkich ze zużytego sprzętu wyposażonego w
magnesy NdFeB”*

1. Podstawa opracowania

Recenzja została przygotowana na podstawie decyzji Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej z dnia 23.10.2025 r. Rozprawa doktorska została zrealizowana w ramach doktoratu wdrożeniowego. Postępowanie w sprawie nadania Panu mgr inż. Pawłowi Friebe stopnia doktora w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka jest prowadzone na podstawie przepisów ustawy z dnia 20 lipca 2018 r., Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2024 r., poz. 1571 z późn. zm).

2. Przedmiot i cel recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Pawła Friebe pt. *„Badania nad technologią odzysku metali ziem rzadkich ze zużytego sprzętu wyposażonego w magnesy NdFeB”*. Promotorem pracy był dr hab. inż. Tomasz Suponik, profesor PŚ, opiekunem pomocniczym był dr inż. Paweł Nuckowski. Szczegółowa ocena rozprawy wraz z uzasadnieniem jest prowadzona w odniesieniu do wymagań Ustawy przede wszystkim w celu

uzyskania jednoznacznej konkluzji spełnienia lub nie poniższych warunków tj. czy w nawiązaniu do Art. 187:

- Rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia przez Niego pracy naukowej?
- Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej?

3. Zasadność podjęcia pracy

Zgodnie z definicją pierwiastki krytyczne to pierwiastki o kluczowym znaczeniu dla rozwoju najnowocześniejszych technologii stąd popyt na nie stale rośnie, a ryzyko podaży (np. z powodu konfliktów geopolitycznych, braku odpowiednich substytutów) jest wysokie. Pierwiastki te są niezbędne w wielu strategicznych gałęziach gospodarki, dlatego ryzyko ich niedoboru i wpływ tego niedoboru na gospodarkę są większe niż w przypadku innych surowców. Określenie „technologiczne” stosuje się w celu podkreślenia ich kluczowej roli przy produkcji komponentów szerokiej gamy zaawansowanych i innowacyjnych technologii, tak zwanych technologii *high-tech*. Obszar zastosowania tych pierwiastków jest bardzo rozległy i obejmuje wiele gałęzi przemysłu takich jak: elektronika użytkowa, elektronika przemysłowa, środki transportu, przemysł precyzyjny, przemysł zbrojeniowy, przemysł lotniczy i raketowy, przemysł chemiczny, przemysł farmaceutyczny. Stale rosnące zapotrzebowanie na te pierwiastki oraz fakt, że znaczna część ich światowej produkcji przypada na niewielką liczbę państw, takich jak: Chiny (antymon, fluoryt, gal, german, grafit, ind, magnez, pierwiastki ziem rzadkich, wolfram), Rosja (platynowce, wolfram), Demokratyczna Republika Konga (kobalt, tantal) oraz Brazylia (niob i tantal) sprawiło, że wzrosła potrzeba przewidywania ich „krytyczności” i opracowania strategii ograniczających ryzyka związane są z ich pozyskaniem i użytkowaniem. Efektem działań w tym zakresie jest powstanie wykazów krytycznych dla rozwoju gospodarczego danego państwa metali, minerałów i materiałów naturalnych, czyli surowców najważniejszych pod względem gospodarczym, których podaż jest zagrożona. Neodym to pierwiastek ziem rzadkich (REE) o kluczowym znaczeniu krytycznym dla Unii Europejskiej. Jest wykorzystywany między innymi w magnesach stanowiących elementy w urządzeniach elektrycznych i elektronicznych. Magnesy NdFeB, zawierające Nd i Dy odgrywają

istotną rolę w nowoczesnych technologiach. Wykorzystuje się je np. w silnikach i generatorach elektrycznych, turbinach wiatrowych, dyskach twardych (ang. Hard Disc Drive; HDD), słuchawkach, głośnikach, pojazdach elektrycznych i hybrydowych, systemach katalitycznych czy skanerach. Jedną z alternatywnych dróg pozyskiwania REE jest recykling odpadów zawierających magnesy NdFeB. Globalna produkcja odpadów elektronicznych (e-odpadów) rośnie w zastraszającym tempie. Jeśli obecne tendencje się utrzymają, ilość globalnych e-odpadów podwoi się do 120 milionów ton rocznie do roku 2050.

Dlatego bardzo istotne jest opracowanie i optymalizacja innowacyjnych technologii odzysku metali ziem rzadkich z elektroodpadów w tym z dysków twardych (HDD).

Mając na uwadze powyższe niniejsza dysertacja jest ważna i podejmuje istotne aspekty naukowe i gospodarcze.

4. Ogólna charakterystyka rozprawy

Niniejsza dysertacja przygotowana w ramach doktoratu wdrożeniowego dotyczy opracowania i weryfikacji innowacyjnej technologii odzysku stopu metali ziem rzadkich z małogabarytowych zużytych sprzętów elektronicznych zawierających magnesy neodymowe takich jak dyski twarde. Opracowana w niniejszej pracy technologia opiera się na mechanicznej dezintegracji HDD i separacji z nich poszczególnych komponentów wykorzystując wyłącznie metody fizyczne, które podzielono na manualne i mechaniczne. W ramach badań opracowano zintegrowany układ operacji obejmujący m.in. rozdrabnianie, w specjalnie zaprojektowanym rozdrabniaczu nazywanym dezintegratorem, termiczną demagnetyzację wyodrębnionych magnesów, wielostopniową klasyfikację ziarnową oraz separację magnetyczną, grawitacyjną i optyczną. Dysertacja zawiera ponadto analizę kosztów procesowych i wpływu operacji manualnych i mechanicznych na środowisko przyrodnicze, badając zużycie energii, emisję hałasu i zapylenie.

Rozprawa doktorska mgr inż. Pawła Friebe została napisana w języku polskim i liczy 126 stron, zawiera 66 tabel, 46 rysunków. Składają się na nią: spis treści, spis symboli i skrótów, lista publikacji związanych z rozprawą doktorską, lista zgłoszeń patentowych/wynalazków związanych z rozprawą doktorską oraz listę pozostałych publikacji. Rozprawę uzupełniają streszczenie w języku polskim i angielskim. Dysertacja zawiera wprowadzenie, cel badawczy, hipotezy badawcze, analizę literatury na tle realizowanych badań, materiały i metody badawcze, materiały i metody analityczne i pomiarowe, wyniki badań i dyskusja, podsumowanie, wnioski oraz bibliografię zawierającą 87 pozycji.

Rozprawa doktorska cechuje się przejrzystą i logiczną konstrukcją, która bardzo dobrze oddaje sformułowany temat i cele pracy.

Zawartość rozdziałów jest przemyślana i podporządkowana tematowi pracy. Prowadzone analizy są wnikliwe, tok rozważań jest klarowny, argumentacja przekonująca, a formułowane na podstawie studiów literaturowych wnioski są dobrze udokumentowane w przypisach bibliograficznych. Pragnę podkreślić, że wyniki autorskich badań empirycznych o charakterze jakościowym i ilościowym zostały dobrze osadzone w literaturze przedmiotu.

Bibliografia ocenianej rozprawy liczy łącznie 87 pozycji, w tym monografie, artykuły naukowe, podręczniki, źródła internetowe, a także ustawy czy normy. Bibliografia cechuje się również aktualnością, ponieważ Doktorant odwołuje się w pracy do wielu publikacji wydanych w ostatnich latach. Dokonując oceny wykorzystanych w pracy źródeł literaturowych należy zaznaczyć, że cytowane publikacje są autorstwa osób o znaczącym dorobku naukowym.

Rozprawa została podzielona na część teoretyczną i doświadczalną. We wprowadzeniu autor opisał, które pierwiastki ziem rzadkich wchodzi w skład magnesów NdFeB, wskazał na dynamiczny wzrost ilości zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego oraz do tej pory stosowane metody recyklingu. W początkowych rozdziałach przedstawił przegląd aktualnego stanu wiedzy w obszarze odzysku metali ziem rzadkich z odpadów oraz scharakteryzował strumienie odpadów dysków twardych, analizując wyzwania technologiczne związane z ich recyklingiem. W punkcie 2 dysertacji został przedstawiony cel badawczy pracy, a w punkcie 3 postawiono trzy hipotezy badawcze. Czwarty punkt rozprawy dotyczył analizy literaturowej na tle realizowanych badań. Doktorant scharakteryzował dyski twarde oraz zawarte w nich metale, wykonał przegląd technologii recyklingu HDD, jak również omówił szczegółowo wykorzystane w niniejszej dysertacji procesy inżynierii mineralnej zastosowane w pracy do recyklingu HDD (rozdrabnianie, separację magnetyczną, mielenie, klasyfikację granulometryczną, separację grawitacyjną, separację optyczną, separację elektrostatyczną).

W dalszych rozdziałach doktorant zaprezentował wyniki badań eksperymentalnych oraz przeprowadził ocenę efektywności technologii z punktu widzenia technicznego, ekonomicznego i środowiskowego. W punkcie 5 zatytułowanym „*Materiały i metody badawcze*” autor szczegółowo omówił przeprowadzone prace w tym, sposób poddawania recyklingowi zużytych dysków HDD: manualny i mechaniczny. Zastosował dwie metody recyklingu manualnego: rozwiercanie śrub i rozkręcanie śrub. Sposób recyklingu mechanicznego został przedstawiony na schemacie blokowym na Rysunku 5.1. Opracowaną technologię zgłoszono do Urzędu Patentowego RP (nr zgłoszenia patentowego P. 452083). W ramach realizacji pracy opracowany został dezintegrator (nr dokumentacji W73.2016) oraz nóż

tnący (nr zgłoszenia W.131654), a do wykonania projektu urządzenia wykorzystano zgłoszony wcześniej „*Sposób rozdrabniania zużytych sprzętów elektrycznych i elektronicznych zawierających magnesy neodymowe w celu uzyskania cząstek o odpowiednich rozmiarach dla odzysku stopu żelaza z neodymem, dysprozem lub innymi pierwiastkami ziem rzadkich*” (nr zgłoszenia patentowego P.442603). Doktorant jest współautorem ww. zgłoszeń patentowych. Gotowy prototyp został wykonany przez firmę FUGOR sp. z o.o. na podstawie opracowanej dokumentacji. W następnych podpunktach pracy doktorant opisał kolejne zastosowane metody separacji w tym: separację magnetyczną pasywną, separację magnetyczną aktywną, demagnetyzację termiczną magnesów, klasyfikację granulometryczną i mielenie, separację grawitacyjną z wykorzystaniem stołu koncentrycznego Bartles-Mozley, separację optyczną, separację elektrostatyczną. W podpunkcie 5.2 doktorant przedstawił materiały i metody analityczne (pomiarowe) zastosowane w niniejszej dysertacji, w tym: XRD, ICP-AES, XRF, obserwacje mikroskopowe, ocenę obecności materiałów nieferromagnetycznych, analizę finansową, poziom hałasu i zapylenia. W rozdziale 6 mgr inż. Paweł Friebe omówił wyniki badań i ich dyskusję. Podrozdział 6.1 dotyczył recyklingu manualnego. Otrzymane wyniki wskazały, że rozkręcanie zużytych dysków HDD jest wydajniejszym i korzystniejszym z ekonomicznego punktu widzenia rozwiązaniem w porównaniu z rozwiercaniem. Natomiast podpunkt 6.2 dotyczył recyklingu mechanicznego. W układzie operacji technologicznych zastosowano kolejno: rozdrabnianie w dezintegratorze, separację magnetyczną pasywną i aktywną, przesiewanie, operacje grawitacyjne (stół Bartles-Mozley, separator powietrzny cyklofluidalny) oraz sortowanie optyczne. W kolejnych podrozdziałach doktorant zamieścił uzyskane wyniki badań, które przedstawione zostały w postaci licznych rysunków, zdjęć, tabel z wynikami i opatrzone odpowiednim ich omówieniem. W podrozdziale 6.3 została przedstawiona i porównana analiza kosztów recyklingu manualnego i mechanicznego. Otrzymane wyniki jednoznacznie wskazały na przewagę ekonomiczną metody mechanicznej, szczególnie w dłuższym okresie czasu, w którym redukcja kosztów pracowniczych odgrywa kluczową rolę. Natomiast w podrozdziale 6.4 doktorant przedstawił analizę wpływu na środowisko naturalne technologii z wykorzystaniem recyklingu manualnego i mechanicznego. Podsumowanie dysertacji przedstawiono w punkcie 7. Opracowana technologia spełniła stawiane jej cele pod względem efektywności odzysku surowców, jakości produktów oraz aspektów środowiskowych. Zrealizowany ciąg procesów mechanicznych (rozdrabnianie oraz separacja: dwustopniowa magnetyczna, grawitacyjna, optyczna, elektrostatyczna) pozwolił na odzyskanie praktycznie całości cennych materiałów zawartych w dyskach twardych. Świadczy o tym m.in. brak wykrywalnych ilości pierwiastków charakterystycznych (jak Nd) poza

docelowymi koncentratami, a stop neodymowy został w całości wyodrębniony do dedykowanego produktu. Końcowy koncentrat NdFeB uzyskany w ramach pracy cechuje się wysoką czystością, pozbawioną zanieczyszczeń stali i innych materiałów. Równocześnie odzyskiwane są pozostałe wartościowe produkty: stal (ferromagnetyczna i nierdzewna), aluminium (w postaci proszku lub wiórów siluminu), tworzywa sztuczne oraz PCB. Wszystkie te produkty mogą zostać skierowane do dalszego wykorzystania, m.in. w procesach hutniczych, ponownym stopowaniu lub recyklingu materiałowym. Na stronie 116 dysertacji znaleźć można rozdział 8, w którym przedstawiono wnioski.

5. Ocena rozprawy

W niniejszej rozprawie doktorskiej mającej charakter wdrożeniowy przeprowadzono badania nad opracowaniem i optymalizacją technologii odzysku metali ziem rzadkich ze zużytych dysków twardych (HDD) wyposażonych w magnesy neodymowe. W pracy założono wykorzystanie fizycznych metod recyklingu, które podzielono na manualne i mechaniczne. Jak również wyeliminowano w początkowym etapie recyklingu metody chemiczne (np. hydrometalurgiczne), które zazwyczaj istotnie, negatywnie oddziałują na środowisko.

W niniejszej rozprawie doktorant bardzo dobrze opanował warsztat badawczy o czym świadczy umiejętny sposób zestawiania i porównywania wyników, prezentowania wyników badań, stosowania różnego typu wykresów czy zestawień. Liczne fotografie umieszczone w pracy doskonale obrazują przebieg i pozwalają na porównania. Należy podkreślić, że Doktorant w klarowny i ciekawy sposób analizuje uzyskane wyniki badań.

Doktorant prezentował wyniki badań na VII Mineral Engineering Conference MEC 2024 w Wiśle, KOMTECH 2022 oraz EURECA-PRO 2022 Conference on Responsible Consumption and Production (rozdział w monografii Springer Proceedings). Jest autorem/współautorem kilku publikacji w tym w czasopismach: Minerals, Materials, Mining Machines, Energies. Jest współautorem dwóch zgłoszeń patentowych (P.452083 oraz P.442603) oraz wzoru użytkowego (W.131654).

Na podstawie przeprowadzonych badań w ramach niniejszej dysertacji Doktorant doszedł do następujących wniosków:

- Opracowany dezintegrator wyposażony w noże tnące wykonane z materiałów paramagnetycznych umożliwił skuteczne rozdrabnianie dysków twardych bez przywierania magnesów neodymowych do elementów roboczych maszyny.

Nowatorski charakter prac w zakresie doboru materiałów polegał na zastosowaniu

paramagnetycznych materiałów konstrukcyjno-roboczych o odpowiednich parametrach wytrzymałościowych.

- Zaproponowana technologia opiera się wyłącznie na metodach fizycznych: dezintegracji, separacji magnetycznej, grawitacyjnej, optycznej i elektrostatycznej oraz klasyfikacji granulometrycznej. Rezygnacja z etapów hydrometalurgicznych eliminuje konieczność stosowania agresywnych odczynników chemicznych. Zapobiega także powstawaniu toksycznych cieczy procesowych oraz dodatkowych odpadów niebezpiecznych. W konsekwencji istotnie ogranicza potencjalne obciążenia środowiska przyrodniczego.
- Istotną zaletą opracowanej technologii jest brak wykorzystania wody procesowej, co eliminuje konieczność jej uzdatniania oraz suszenia uzyskanych produktów. To rozwiązanie przyczynia się do obniżenia kosztów operacyjnych procesu, zmniejszenia wpływu na środowisko wodne, uproszczenia całego ciągu technologicznego.
- Uzyskane produkty charakteryzują się wysoką selektywnością odzysku. Drobnodziarnisty stop NdFeB zawiera ponad 97% masy głównych składników, w tym 71% Fe oraz 26% Nd, koncentraty stali ferromagnetycznej i nierdzewnej są pozbawione zanieczyszczeń innymi materiałami, koncentraty aluminium nie zawierają cząstek ferromagnetycznych ani zanieczyszczeń organicznych, a tworzywa sztuczne wydzielone metodą separacji optycznej zawierają niewielkie ilości cząstek metalicznych.
- W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że opracowana zintegrowana technologia recyklingu mechanicznego zużytych dysków twardych umożliwia skuteczne rozdzielenie wszystkich głównych komponentów na odrębne strumienie materiałowe. Osiągnięto wysoką selektywność separacji. Wydzielono następujące produkty: stop Nd-Fe-B, stal ferromagnetyczna, stal nierdzewna, aluminium, mieszanina drobno uziarnionych metali, tworzywa sztuczne oraz fragmenty płyt PCB. Każdy z uzyskanych produktów cechuje się wysoką selektywnością odzysku (czystością), co oznacza znikomą zawartość domieszek obcych materiałów w danym strumieniu.
- Całkowite zużycie energii na jednostkę masy wyniosło 1,1108 kWh/kg HDD, przy czym najwyższe jednostkowe zużycie energii (0,7759 kWh/kg HDD) zarejestrowano w końcowym etapie mielenia. Emisja pyłu do powietrza atmosferycznego zawierała się w

zakresie 0,004-0,027 g/m²h, a najwyższy poziom hałasu odnotowano podczas separacji grawitacyjnej cyklofluidalnej (87,9 dBA).

- Całkowite koszty recyklingu mechanicznego wynoszą 1 643 903 zł i są niemal trzykrotnie niższe od kosztów dla metody manualnej, które przyjmują wartość 4 554 904 zł. Poszczególne koszty pracy, narzędzi oraz urządzeń odniesiono do ilości dysków przetworzonych w okresie pięciu lat. W przeliczeniu na jednostkę masy uzyskano wartości 8,03 zł/kg dla metody ręcznej oraz 2,80 zł/kg dla metody mechanicznej. Przewaga ekonomiczna metody mechanicznej wynika ze znacznej redukcji kosztów pracowniczych. Zaznaczyć jednak należy, że koszty inwestycyjne i energii elektrycznej są wyższe dla recyklingu mechanicznego.
- Zaprojektowany dezintegrator nadaje się do rozdrabniania również innych niewielkich sprzętów elektrycznych i elektronicznych wyposażonych w magnesy neodymowe, takich jak małe silniki, głośniki, słuchawki czy telefony komórkowe. Świadczy to o dużej uniwersalności technologii i szerokim spektrum jej zastosowania.

W mojej ocenie doktorant osiągnął główny postawiony cel pracy oraz cele szczegółowe.

W ramach pracy zaprojektowano i wykonano prototyp specjalistycznego dezintegratora dwuwałowego z przeciwbieżnymi wałami tnącymi, przeznaczonego do mechanicznego rozdrabniania dysków HDD z magnesami NdFeB. Urządzenie to zostało zbudowane z wykorzystaniem niemagnetycznych materiałów o wysokiej wytrzymałości, co rozwiązuje problemy przywierania magnesów do elementów stalowych. Opracowana technologia odzysku w pełni wpisuje się w koncepcję obiegu zamkniętego. Opisana w pracy metoda rozdrabniania z wykorzystaniem dezintegratora posiada duży potencjał skalowalności do zastosowań przemysłowych. Prototypowe urządzenie badawcze może zostać wykorzystane jako baza do konstrukcji większych rozdrabniarek lub zestawów urządzeń pracujących równolegle, zdolnych obsłużyć większe strumienie odpadów. Cecha opisanego dezintegratora polegająca na wykonaniu elementów tnących z materiałów paramagnetycznych lub diamagnetycznych zachowuje swoją funkcjonalność niezależnie od skali. Dzięki temu koncepcja może być z powodzeniem przeniesiona na grunt przemysłowy, wypełniając lukę w dostępnych technologiach recyklingu ZSEE zawierających magnesy NdFeB. Rozwiązanie dedykowane początkowo dyskom twardym można adaptować do innych urządzeń o podobnej charakterystyce odpadów.

Przeprowadzony program badań eksperymentalnych, bardzo precyzyjna definicja materiałów i metod badawczych oraz dbałość o porównywalność wyników badań pozwala ocenić, że

Doktorant cechuje się dużą samodzielnością w prowadzeniu pracy naukowej.

W pracy nie uniknięto jednak pewnych uchybień natury redakcyjnej. Poniższe uwagi nie wpływają zasadniczo na moją pozytywną ocenę przedstawionej rozprawy:

Str. 6 i 7: Skróty ADP i CAD są niepotrzebnie wyjaśnione na obu stronach;

Str. 13: w pracy zapisano „pacy” zamiast „pracy”;

Str. 17: W tekście autor pisze o Tabeli 2, natomiast w tekście jest Tabela 4.2;

Str. 19: styl zdania „Złoto (Au) ma najwyższą wartość, mimo że stanowi bardzo mały procent całości”;

Str. 20: zastosowano różne rozmiary czcionki;

Str. 33: spacja przed „do”;

Str. 48 w pracy zapisano „przyciągnie” zamiast „przyciągane”;

Tabel 5.11: w tabeli zapisano „agata” zamiast „agat”

Str. 57: w pracy zapisano „przyciąganie” zamiast „przyciąganiu”;

W ocenie samej pracy lepiej byłoby zastosować dwustronny wydruk w celu oszczędności papieru (działanie proekologiczne).

6. Uwagi krytyczne i pytania

Zasadniczo przedłożoną do oceny pracę doktorską należy ocenić wysoko, zaś temat podjęty przez Doktoranta za istotny i wnoszący znaczny wkład oraz nową wiedzę w problematykę.

Analiza zawartego w pracy materiału oraz jego omówienia dokonanego przez Doktoranta prowadzi w zasadzie do wniosku, że niewiele jest tu aspektów, które budziłyby istotne zastrzeżenia i wymagały zgłoszenia poważnych uwag krytycznych.

- W dobie coraz większego wykorzystania energii wiatrowej proszę o odniesienie się do tego czy opracowana technologia będzie mogła zostać wykorzystana w recyklingu generatorów turbin wiatrowych?
- Proszę o odniesienie się w kontekście niniejszej dysertacji do pojęcia tzw. „*urban mining*”.
- Gdzie i przez kogo były wykonywane pomiary XRD?
- Skąd pochodziły dyski HDD wykorzystane w badaniach, a stanowiące nadawę? Czy pozyskano je z zakładów segregacji ZSEE czy z innych źródeł?
- Jak roztwarzano próbki do analiz ICP-EAS, jakich kwasów używano, jakie były granice wykrywalności i oznaczalności?

- Autor dysertacji pisze, że zaproponowany typ dezintegratora nadaje się też do wstępnego przetwarzania niewielkich ZSEE jak małe silniki czy słuchawki, czy zostało to przez doktoranta sprawdzone?
- Gdzie obecnie znajduje się opracowany dezintegrator? Czy planowane jest poszerzenie skali do wyższego TRL niż TRL4?
- Z jakiego powodu oba zgłoszenia patentowe P.452083 oraz P.442603 zostały odrzucone przez Urząd Patentowy?
- Str. 93: w tabeli 6.22 co oznacza LOI? Czy to „Limit od Identification”? Poprawnie byłoby zastosować LOD (Limit od Detection) lub LOQ (Limit of Quantification). Proszę o wyjaśnienie.

7. Wniosek końcowy

Oceniana praca stanowi przykład kompleksowego i oryginalnego rozwiązania w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej.

Zdecydowanie należy podkreślić dużą wartość pracy, jak również znaczący wkład Doktoranta w proces badawczy. Choć Doktorant nie uniknął pewnych błędów i niedociągnięć, to przede wszystkim należy podkreślić, że zdarzają się one w każdej tego typu pracy, zaś przedstawione w poprzednim rozdziale recenzji uwagi krytyczne nie stanowią podważenia bardzo pozytywnej oceny rozprawy.

Mając powyższe na uwadze, stwierdzam, że będąca przedmiotem oceny rozprawa doktorska Pana mgr inż. Pawła Friebe zatytułowana „*Badania nad technologią odzysku metali ziem rzadkich ze zużytego sprzętu wyposażonego w magnesy NdFeB*” spełnia wymogi określone w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r., Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2024 r., poz. 1571 z późn. zm).

W oparciu o powyższe stawiam wniosek do Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej o dopuszczenie mgr inż. Pawła Friebe do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Magdalena Jabłońska-Czapla