

Kraków, dn. 21.03.2025 r.

Dr hab. inż. Marek Borowski, prof. Uczelni
Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Aleksandra Frejowskiego pt.:

Metoda oceny możliwości wykorzystania infrastruktury oraz zasobów kopalń węgla kamiennego po zakończeniu eksploatacji

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Aleksandra Frejowskiego pt. „Metoda oceny możliwości wykorzystania infrastruktury oraz zasobów kopalń węgla kamiennego po zakończeniu eksploatacji” została zlecona na mocy uchwały Rady Naukowej Głównego Instytutu Górnictwa – Państwowego Instytutu Badawczego oraz umowy z dnia 10.01.2025 roku, zgodnie z ustawą z dnia 3 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, w związku z art. 179 ust. 2 ustawy Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

Charakterystyka doktoranta

Mgr inż. Aleksander Frejowski jest pracownikiem naukowym Głównego Instytutu Górnictwa – Państwowego Instytutu Badawczego w Katowicach, gdzie obecnie zatrudniony jest w Zakładzie Technologii Eksploatacji, Tępań i Oceny Ryzyka. Z Instytutem związany jest od 2008 roku – początkowo pracował w Zakładzie Tępań i Mechaniki Górotworu, a od 2019 roku kontynuuje działalność badawczą w obszarze bezpieczeństwa przemysłowego i transformacji terenów pogórnich.

Jest absolwentem Politechniki Śląskiej w Gliwicach, gdzie na Wydziale Górnictwa i Geologii uzyskał tytuł magistra inżyniera. W swojej pracy naukowej skupia się na interdyscyplinarnych zagadnieniach związanych z transformacją energetyczną, w tym rewitalizacją terenów pogórnich, zagospodarowaniem kopalń kończących działalność oraz wykorzystaniem technologii gospodarki o obiegu zamkniętym. Szczególną uwagę poświęca ocenie środowiskowej technologii górniczych, a także problematyce zagrożeń geomechanicznych i zarządzaniu ryzykiem przy likwidacji zakładów górniczych.

Aleksander Frejowski jest autorem lub współautorem pięciu publikacji indeksowanych w bazie Scopus, w tym w czasopiśmie *Energies*, gdzie opublikował prace dotyczące m.in. oceny środowiskowej technologii Hydro Borehole Mining, transformacji „black-to-green” na terenach pogórnich oraz analizy ryzyka związanego z zamykaniem kopalń. Jego publikacje były cytowane 36 razy przez 31 różnych prac, co przekłada się na indeks H równy 4. W połowie swoich publikacji pełnił funkcję pierwszego autora.

Współpracuje z naukowcami z Polski, Hiszpanii i Niemiec, aktywnie uczestnicząc w projektach badawczych dotyczących gospodarki post-górnich i zrównoważonego rozwoju. Jego działalność naukowa łączy wiedzę z zakresu górnictwa, geotechniki, ochrony środowiska i nowoczesnych koncepcji energetycznych, co czyni go specjalistą w kontekście transformacji regionów górniczych.

Ocena rozprawy doktorskiej

1. Ocena zakresu i tytułu rozprawy doktorskiej stanowiącej podstawę ubiegania się w postępowaniu o nadanie stopnia doktora

Zakres rozprawy doktorskiej mgr. inż. Aleksandra Frejowskiego – „Metoda oceny możliwości wykorzystania infrastruktury oraz zasobów kopalń węgla kamiennego po zakończeniu eksploatacji” – w pełni odpowiada aktualnym wyzwaniom społeczno-gospodarczym i środowiskowym związanym z transformacją energetyczną oraz polityką sprawiedliwej transformacji regionów pogórnich. Jest to temat szczególnie istotny w kontekście polityki Europejskiego Zielonego Ładu, który nakłada na państwa członkowskie obowiązek odejścia od gospodarki opartej na paliwach kopalnych, przy jednoczesnym uwzględnieniu aspektów społecznych i gospodarczych w regionach szczególnie narażonych na skutki dekarbonizacji. Rozprawa podejmuje się ambitnego zadania opracowania uniwersalnej metodyki oceny potencjału zlikwidowanych kopalń węgla, uwzględniając zarówno aspekty techniczne, ekonomiczne, jak i środowiskowe, co znajduje odzwierciedlenie w zastosowanych metodach badawczych, takich jak analiza morfologiczna, strukturalna, metoda Delphi czy analiza wielokryterialna. Wysoką wartość naukową pracy potwierdza także zakres analiz porównawczych przeprowadzonych na przykładach doświadczeń państw Europy Zachodniej (m.in. Niemiec, Wielkiej Brytanii, Francji, Hiszpanii), co umożliwia adaptację zagranicznych dobrych praktyk do polskich realiów. Co szczególnie istotne, zaproponowane przez doktoranta modele biznesowe uwzględniają synergiczne wykorzystanie zasobów infrastrukturalnych i geologicznych kopalń z nowoczesnymi technologiami odnawialnymi, jak produkcja zielonego wodoru, magazynowanie energii czy wytwarzanie energii z geotermii – co świadczy o wysokim stopniu innowacyjności pracy. Tytuł jest w pełni adekwatny do przedstawionej problematyki, oddaje interdyscyplinarny charakter rozprawy i trafnie akcentuje zarówno cel naukowy, jak i potencjalny wymiar aplikacyjny wyników badań. W kontekście postępowania o nadanie stopnia doktora, tytuł ten można ocenić jako przemyślany, trafny oraz zgodny z kierunkiem prowadzonych badań.

Tytuł rozprawy doktorskiej w pełni odpowiada zawartości merytorycznej pracy. Autor przeprowadził szczegółową analizę potencjału zlikwidowanych kopalń węgla kamiennego w kontekście ich przyszłego wykorzystania w nowych modelach gospodarczych, zgodnych z ideą gospodarki o obiegu zamkniętym i celami Europejskiego Zielonego Ładu. Praca obejmuje:

- kompleksowy przegląd literatury i uwarunkowań prawnych dotyczących zamykania kopalń w Polsce i w Europie,
- analizę przypadków transformacji terenów pogórnich w krajach Europy Zachodniej,
- opracowanie metody oceny możliwości ponownego wykorzystania infrastruktury kopalnianej (zarówno podziemnej, jak i powierzchniowej) oraz okolicznej przestrzeni i zasobów,
- opracowanie i ocenę scenariuszy biznesowych, m.in. z wykorzystaniem energii odnawialnej, geotermii, produkcji wodoru, wirtualnych elektrowni i magazynów energii,
- zastosowanie zaawansowanych narzędzi analitycznych (analiza strukturalna, morfologiczna, wielokryterialna, metoda Delphi),
- ocenę żywotności aktualnie czynnych kopalń w kontekście możliwości ich przekształcenia.

Tytuł w sposób ścisły i jednoznaczny odzwierciedla zakres oraz cele rozprawy, podkreślając jej praktyczno-analityczny charakter i ukierunkowanie na opracowanie metody oceny. Praca nie tylko identyfikuje możliwości wykorzystania pokopalnianej infrastruktury, ale również formułuje kryteria wyboru i oceny scenariuszy wykorzystania tych zasobów w warunkach transformacji energetycznej. Tym samym tytuł jest zgodny z zawartością, nie budzi zastrzeżeń formalnych ani merytorycznych.

2. Ocena układu i struktury rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska liczy łącznie 255 stron, w tym 11 zasadniczych rozdziałów, zawiera wykaz literatury obejmujący 241 pozycji. Praca zawiera również 32 tabel oraz 34 rysunki, schematy i wykresy, które wspierają analizę badawczą i przedstawienie wyników. Rozprawa doktorska została opracowana

w sposób przemyślany i logiczny, z zachowaniem poprawnego układu merytorycznego oraz formalnego. Struktura pracy odpowiada standardom akademickim i sprzyja klarownemu przedstawieniu zagadnień badawczych, ich tła, przebiegu analiz oraz wyników.

Rozprawa składa się z jedenastu głównych rozdziałów, poprzedzonych streszczeniem w języku angielskim (*Abstract*) oraz zakończonych dodatkowymi elementami w postaci spisów ilustracji, tabel, bibliografii i aneksów. Układ rozdziałów jest spójny z przyjętą metodyką badań oraz logiczną sekwencją wnioskowania.

Rozdział 1 (*Wstęp*) stanowi wprowadzenie do problematyki badawczej poruszanej w rozprawie. Autor zarysowuje w nim szeroki kontekst historyczny i gospodarczy funkcjonowania górnictwa węgla kamiennego w Europie, podkreślając jego znaczenie dla rozwoju przemysłowego oraz zmiany, jakie zaszły w ostatnich dekadach w wyniku transformacji energetycznej i restrukturyzacji sektora wydobywczego. Szczególną uwagę poświęcono sytuacji w Polsce, która, w odróżnieniu od wielu krajów zachodnich, jeszcze do niedawna opierała bezpieczeństwo energetyczne na paliwach kopalnych. Autor trafnie wskazuje na potrzebę przemyślanego i zrównoważonego podejścia do procesu likwidacji kopalń, uwzględniającego zarówno aspekty społeczne, jak i możliwości zagospodarowania zasobów pokopalnianych. Wstęp uzasadnia aktualność i znaczenie podjętej tematyki w kontekście polityki Europejskiego Zielonego Ładu, która zakłada osiągnięcie neutralności klimatycznej do 2050 roku, a jednocześnie promuje rozwiązania oparte na gospodarce o obiegu zamkniętym i energii odnawialnej. Rozdział dobrze przygotowuje czytelnika do dalszej lektury, wskazując, że wykorzystanie infrastruktury i zasobów zamykanych kopalń może odegrać kluczową rolę w transformacji energetycznej i rozwoju regionów pogórnich.

Następny rozdział 2 (*Cel i zakres pracy*) jasno określa zarówno cel naukowy, jak i użyteczny rozprawy doktorskiej. Celem naukowym jest opracowanie metody pozwalającej na ocenę możliwości wykorzystania infrastruktury i zasobów kopalń węgla kamiennego po zakończeniu eksploatacji, natomiast celem praktycznym – identyfikacja potencjału tych obiektów do pełnienia nowych funkcji gospodarczych, zgodnych z zasadami gospodarki o obiegu zamkniętym oraz wymaganiami polityki klimatycznej Unii Europejskiej. Autor wyraźnie podkreśla znaczenie takiego podejścia w kontekście nadchodzącej transformacji energetycznej w Polsce, wskazując na potrzebę płynnego przejścia od energetyki opartej na węglu do rozwiązań niskoemisyjnych. W rozdziale przedstawiono również graficzne schematy obrazujące logikę prowadzenia badań, zależności między kolejnymi etapami pracy oraz strukturę uzyskiwanych wyników. Dzięki temu zyskuje się pełny obraz procesu badawczego oraz zastosowanej metodologii, co ułatwia zrozumienie przyjętego toku analizy. Zakres pracy obejmuje m.in. identyfikację kluczowych kryteriów oceny, opracowanie scenariuszy wykorzystania pokopalnianych obiektów, ocenę ich efektywności oraz prognozowanie żywotności czynnych kopalń, co świadczy o kompleksowym i systemowym podejściu do problemu.

Z kolei rozdział 3 rozprawy (*Transformacja górnictwa węgla kamiennego w Polsce – stan wiedzy*) stanowi obszernie i dobrze udokumentowane opracowanie dotyczące transformacji górnictwa w Polsce, które osadzone jest w szerszym kontekście historycznym, ekonomicznym i prawnym. Autor dokonuje szczegółowego przeglądu literatury krajowej i zagranicznej, prezentując ewolucję sektora wydobywczego od lat powojennych po czasy współczesne, z uwzględnieniem kluczowych etapów restrukturyzacji, zmian własnościowych, polityki subsydiowania oraz likwidacji nierentownych zakładów. Szczególną wartość poznawczą stanowi przedstawienie danych statystycznych dotyczących zatrudnienia, wydobycia, liczby kopalń i ich struktury organizacyjnej, które ilustrują skalę i dynamikę zmian zachodzących w polskim górnictwie. Autor omawia także ramy prawne funkcjonowania sektora, w tym ustawy i programy rządowe związane z restrukturyzacją oraz procesem zamykania kopalń, takie jak „Program dla Śląska” czy umowy społeczne. Rozdział ten pełni ważną funkcję w rozprawie, ponieważ nie tylko jako tło teoretyczne dla dalszych rozważań, ale również jako fundament, na którym oparta została dalsza analiza możliwości wykorzystania infrastruktury pogórnich. Pokazuje również, że proces transformacji górnictwa nie jest jedynie zagadnieniem technicznym, lecz ma głęboki wymiar społeczny, gospodarczy i środowiskowy.

Rozdział 4 (*Wykorzystanie infrastruktury oraz zasobów podziemnych kopalń węgla dla nowej działalności gospodarczej – doświadczenia europejskie*) poświęcony jest analizie zagranicznych doświadczeń w zakresie zagospodarowania infrastruktury pokopalnianej, stanowiąc istotny element porównawczy

i inspiracyjny dla dalszych rozważań prowadzonych w rozprawie. Autor w sposób uporządkowany przedstawia studia przypadków z takich krajów jak Wielka Brytania, Francja, Niemcy, Hiszpania i Belgia czyli państw, które jako jedne z pierwszych w Europie rozpoczęły proces transformacji energetycznej i społeczno-gospodarczej obszarów pogórnich. W rozdziale ukazano różnorodność podejść do wykorzystania likwidowanych kopalń: od przekształcania ich w centra naukowe i edukacyjne, przez rozwój turystyki przemysłowej i kulturalnej, aż po wdrażanie nowoczesnych rozwiązań z zakresu energii odnawialnej, takich jak magazynowanie energii, geotermia czy produkcja wodoru. Opisane przykłady zostały opatrzone komentarzem analitycznym, w którym autor wskazuje na czynniki sukcesu i bariery implementacyjne, a także odnosi je do potencjału polskich kopalń. Dzięki tej analizie praca zyskuje szerszy kontekst europejski, a zaproponowana przez autora metodologia oceny możliwości wykorzystania kopalń po eksploatacji zyskuje mocne oparcie w sprawdzonych, praktycznych rozwiązaniach wdrożonych poza granicami kraju. Rozdział ten dowodzi również, że transformacja pogórnicza może być szansą rozwojową, o ile zostanie właściwie zaplanowana i osadzona w lokalnych uwarunkowaniach.

Rozdział 5 (*Metodyka zastosowana w pracy*) stanowi kluczowy element rozprawy, w którym autor szczegółowo prezentuje zastosowaną metodykę badawczą, dostosowaną do złożoności i interdyscyplinarnego charakteru analizowanego problemu. W sposób logiczny przedstawiono dobór narzędzi badawczych, w tym analizę strukturalną, morfologiczną, metodę Delphi, analizę wielokryterialną oraz wskaźnikową, wskazując ich przydatność na poszczególnych etapach oceny możliwości wykorzystania infrastruktury pokopalnianej. Analiza strukturalna posłużyła do identyfikacji powiązań między czynnikami wpływającymi na proces transformacji, analiza morfologiczna umożliwiła systematyzację możliwych scenariuszy zagospodarowania, natomiast metoda Delphi została wykorzystana do uzyskania eksperckiej oceny przydatności poszczególnych rozwiązań. Z kolei analizy wielokryterialne i wskaźnikowe posłużyły do oceny efektywności wybranych modeli biznesowych i technologicznych. Autor zadbał o przejrzystość opisu poszczególnych metod oraz ich praktycznego zastosowania. Zastosowanie kilku uzupełniających się podejść badawczych umożliwiło wszechstronną analizę problemu i uwiarygodniło uzyskane wyniki, a jednocześnie czyni zaproponowaną metodykę potencjalnie przydatną w przyszłych badaniach i praktyce transformacji regionów pogórnich.

Następny rozdział 6 (*Zmiana przeznaczenia zamykanych kopalń węgla kamiennego przez opracowanie modeli biznesowych opartych na energii odnawialnej i gospodarce o obiegu zamkniętym*) stanowi rozwinięcie części metodologicznej pracy i koncentruje się na opracowaniu scenariuszy oraz modeli biznesowych możliwych do wdrożenia na terenach pokopalnianych. Autor opisuje zagadnienia związane z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii oraz zasad gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ) jako fundamentów nowoczesnego podejścia do transformacji infrastruktury pogórnich. Przedstawione scenariusze uwzględniają nie tylko potencjał techniczny kopalń, ale również możliwości integracji nowoczesnych technologii, takich jak produkcja wodoru, magazynowanie energii, wykorzystanie geotermii czy budowa instalacji fotowoltaicznych. Autor proponuje wieloaspektowe podejście do oceny zasobów pogórnich, dzieląc je na infrastrukturę podziemną, powierzchniową i otoczenie funkcjonalno-przestrzenne, oraz opracowuje zestaw kryteriów umożliwiających ich kompleksową analizę. Takie podejście pozwala nie tylko na klasyfikację i wybór najbardziej perspektywicznych lokalizacji, ale także na dopasowanie odpowiednich modeli rozwoju gospodarczego do indywidualnych uwarunkowań danego obiektu. Rozdział ten jest szczególnie istotny z punktu widzenia praktycznego zastosowania wyników pracy, gdyż stanowi pomost między częścią teoretyczną a propozycją konkretnych rozwiązań wdrożeniowych.

Rozdział 7 (*Uzasadnienie wyboru modeli biznesowych*) przedstawia pogłębioną analizę uzasadnienia wyboru modeli biznesowych zaproponowanych w kontekście transformacji terenów pogórnich. Autor przeprowadza wieloaspektową ocenę poszczególnych wariantów, uwzględniając kluczowe kryteria techniczne, ekonomiczne oraz środowiskowe, co pozwala na racjonalne i wiarygodne wskazanie najbardziej obiecujących rozwiązań. Szczególną uwagę zwrócono na poziom gotowości technologicznej (TRL) poszczególnych technologii, zgodność modeli z unijną taksonomią zrównoważonego finansowania oraz ich powiązanie z zasadami gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ). Autor analizuje również możliwość synergicznego łączenia różnych technologii, takich jak produkcja wodoru, geotermia czy magazynowanie energii. Tak skonstruowana analiza umożliwia nie tylko teoretyczne porównanie modeli, ale również identyfikację uwarunkowań wdrożeniowych oraz barier, które mogą mieć wpływ na

ich praktyczną realizację w warunkach krajowych. Rozdział ten wyróżnia się wysokim poziomem analitycznym oraz zastosowaniem nowoczesnych narzędzi oceny strategicznej.

Rozdział 8 (*Wskaźnikowa analiza modelu biznesowego*) skupia się na szczegółowej analizie wskaźnikowej jednego z wybranych modeli biznesowych, uznanego za najbardziej perspektywiczny w kontekście transformacji infrastruktury pokopalnianej. Autor wprowadza zestaw wskaźników oceniających efektywność, wykonalność oraz zgodność modelu z założeniami zrównoważonego rozwoju. Analiza obejmuje m.in. ocenę kosztów wdrożenia, stopnia wykorzystania istniejącej infrastruktury, potencjału redukcji emisji, lokalnego wpływu społeczno-gospodarczego oraz poziomu innowacyjności. Zastosowanie wskaźników umożliwia obiektywną i mierzalną ocenę rozpatrywanego modelu, a także ułatwia jego porównanie z alternatywnymi rozwiązaniami. Autor prezentuje również wyniki analiz w formie tabelarycznej i graficznej, co zwiększa przejrzystość wnioskowania i ułatwia interpretację danych. Rozdział ten stanowi ważne ogniwo łączące teoretyczne podstawy pracy z ich praktycznym zastosowaniem, dostarczając konkretnych narzędzi do oceny opłacalności i efektywności transformacji terenów pogórniczych.

Rozdział 9 (*Określenie potencjalnej żywotności kopalń prowadzących podziemną eksploatację węgla energetycznego w Polsce*) stanowi uzupełnienie wcześniejszych analiz i wprowadza istotny element prognostyczny dotyczący dalszego funkcjonowania infrastruktury górniczej. Autor dokonuje oceny żywotności wybranych, nadal funkcjonujących kopalń węgla kamiennego, biorąc pod uwagę szereg kryteriów geologiczno-górniczych (m.in. głębokość zalegania pokładów, warunki hydrogeologiczne, zagrożenia naturalne) oraz ekonomicznych (efektywność wydobywania, koszty operacyjne, potencjał inwestycyjny). Analiza ta pozwala na wskazanie obiektów o największym potencjale do przekształcenia w przyszłościowe jednostki gospodarcze oparte na alternatywnych modelach biznesowych. Dzięki temu rozdział ten wzbogaca rozprawę o wymiar strategiczny, umożliwiając planowanie długofalowych działań transformacyjnych i adaptacyjnych, które wykraczają poza prostą likwidację zakładów górniczych. Ocena żywotności kopalń stanowi także punkt wyjścia do rozważań o możliwości elastycznego dostosowania infrastruktury do nowych funkcji, co dodatkowo podkreśla praktyczne znaczenie zaproponowanej metodyki.

Rozdziały 10 (*Podsumowanie badań*) i 11 (*Wnioski*) pełnią rolę syntetyzującą i zamykającą rozprawę. W sposób przejrzysty zestawiono w nich najważniejsze wyniki uzyskane w toku prowadzonych analiz, podkreślając osiągnięcie zarówno celu naukowego, jak i praktycznego pracy. Autor wskazuje, że opracowana przez niego metoda oceny możliwości wykorzystania infrastruktury i zasobów kopalń po zakończeniu eksploatacji jest uniwersalna, elastyczna i może zostać zastosowana w różnych kontekstach przestrzennych i technologicznych. Wnioski końcowe zawierają także rekomendacje dotyczące wdrażania wybranych modeli biznesowych oraz kierunki dalszych badań i działań transformacyjnych, szczególnie w kontekście polityki klimatyczno-energetycznej UE i krajowych strategii sprawiedliwej transformacji. Autor podkreśla potencjał synergii pomiędzy infrastrukturą pogórnictwa, a technologiami odnawialnymi, co nadaje pracy duży walor aplikacyjny i czyni ją wartościowym źródłem wiedzy dla decydentów, inwestorów i instytucji zarządzających transformacją regionów górniczych.

3. Ocena zastosowanego piśmiennictwa w ramach rozprawy doktorskiej

Piśmiennictwo wykorzystane w rozprawie doktorskiej mgr. inż. Aleksandra Frejowskiego cechuje się dużą różnorodnością, aktualnością oraz adekwatnością względem poruszanej tematyki. Spis literatury w rozprawie doktorskiej zawiera 241 pozycje bibliograficzne, które obejmują zarówno artykuły naukowe, raporty instytucji krajowych i unijnych, dyrektywy UE, jak i źródła internetowe oraz akty prawne (Dz.U.). Autor korzysta zarówno z literatury krajowej, jak i zagranicznej, obejmującej publikacje naukowe, raporty branżowe, dokumenty strategiczne Unii Europejskiej oraz akty prawne regulujące funkcjonowanie i transformację sektora górnictwa. W pracy uwzględniono pozycje z czasopism naukowych indeksowanych w bazach Scopus i Web of Science, co świadczy o właściwym poziomie merytorycznym i dbałości o źródła naukowe. Szczególnie cenne są odniesienia do dokumentów UE w zakresie taksonomii zrównoważonego finansowania, gospodarki o obiegu zamkniętym oraz polityki klimatycznej, co wpisuje rozprawę w kontekst współczesnych wyzwań europejskiej transformacji energetycznej. Autor cytuje także specjalistyczne opracowania techniczne i dane statystyczne instytucji krajowych (GUS, MAP, PGG, SRK), co podkreśla wiarygodność analiz i rekomendacji. Piśmiennictwo

zostało umiejętnie zintegrowane z treścią rozprawy, a jego struktura i sposób przywoływania spełniają standardy akademickie. Całość świadczy o właściwym poziomie orientacji autora w literaturze przedmiotu oraz umiejętności krytycznego i selektywnego doboru źródeł.

4. Wskazanie oraz ocena celu rozprawy doktorskiej kandydata

Celem rozprawy doktorskiej mgr. inż. Aleksandra Frejowskiego pt. „*Metoda oceny możliwości wykorzystania infrastruktury oraz zasobów kopalń węgla kamiennego po zakończeniu eksploatacji*” jest opracowanie kompleksowej metodyki służącej do oceny potencjału zamykanych kopalń węgla kamiennego pod kątem ich przyszłego wykorzystania zgodnego z zasadami zrównoważonego rozwoju, gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ) oraz polityki klimatycznej Unii Europejskiej, w tym Europejskiego Zielonego Ładu.

Cel ten został sformułowany w sposób jednoznaczny i logiczny, a także osadzony w aktualnym kontekście przemian energetycznych i społeczno-gospodarczych zachodzących w regionach pogórnich. Praca zmierza do stworzenia narzędzia umożliwiającego podejmowanie decyzji dotyczących transformacji infrastruktury górniczej poprzez identyfikację najbardziej racjonalnych modeli biznesowych, z uwzględnieniem aspektów technicznych, ekonomicznych, środowiskowych i przestrzennych.

Zarówno cel naukowy, jak i praktyczny zostały należycie wyartykułowane i znajdują odzwierciedlenie w doborze metod badawczych, strukturze rozprawy oraz przeprowadzonych analizach. Oceniając cel pracy, należy podkreślić jego wysoką aktualność oraz znaczenie aplikacyjne, szczególnie w kontekście przyszłości regionów górniczych w Polsce i Europie.

5. Wskazanie oraz ocena zastosowanych metod badawczych

W rozprawie doktorskiej mgr. inż. Aleksandra Frejowskiego zastosowano zestaw zróżnicowanych i odpowiednio dobranych metod badawczych, które zostały szczegółowo omówione w Rozdziale 5 (*Metodyka*). Dobór metod jest uzasadniony charakterem problemu badawczego oraz złożonością analizowanej tematyki, obejmującej zarówno aspekty techniczne, jak i środowiskowe, przestrzenne oraz społeczne.

Wśród zastosowanych metod znalazły się:

- analiza strukturalna i morfologiczna, wykorzystana do identyfikacji i uporządkowania czynników wpływających na możliwości zagospodarowania infrastruktury pokopalnianej,
- metoda Delphi, która umożliwiła pozyskanie opinii ekspertów z różnych dziedzin i jej syntezę w celu ograniczenia niepewności decyzyjnej,
- analiza wielokryterialna (MCDA) zastosowana do oceny scenariuszy i wariantów zagospodarowania, uwzględniając wiele wskaźników oceny,
- analiza wskaźnikowa użyta w celu ilościowego porównania modeli biznesowych, z uwzględnieniem m.in. technologicznej gotowości, zasad GOZ, taksonomii UE oraz efektywności ekonomicznej.

Autor nie tylko dokonał właściwego doboru narzędzi analitycznych, lecz także umiejętnie je zaadaptował do złożonego problemu badawczego, jakim jest ocena potencjału transformacyjnego infrastruktury pokopalnianej. Zastosowanie analizy strukturalnej i morfologicznej umożliwiło logiczne uporządkowanie czynników i scenariuszy przekształceń oraz ich wzajemnych relacji. Dzięki metodzie Delphi uzyskano cenny wkład ekspertów branżowych i akademickich, co wpłynęło na zwiększenie wiarygodności i praktycznej użyteczności wyników. Natomiast analiza wielokryterialna (MCDA) i analiza wskaźnikowa pozwoliły na usystematyzowaną, ilościową ocenę wybranych modeli biznesowych – przy czym ocena została oparta o kryteria techniczne, środowiskowe i ekonomiczne, zgodne z założeniami zrównoważonego rozwoju i taksonomii UE.

Wszystkie metody zostały opisane w sposób przejrzysty, wraz z przedstawieniem ich schematów zastosowania i uzasadnieniem ich doboru. Autor wykazał umiejętność integrowania podejść jakościowych i ilościowych, co nadaje pracy interdyscyplinarny charakter. Ocenie należy pozytywnie nie tylko sam wybór metod, ale również ich implementację oraz konsekwentne wykorzystanie na kolejnych etapach analizy.

6. Ocena części rozprawy doktorskiej dotyczącej omówienia wyników badań

Część rozprawy doktorskiej mgr. inż. Aleksandra Frejowskiego poświęcona omówieniu wyników badań (rozdziały 7–9) została opracowana w sposób klarowny, rzeczowy i spójny z przyjętą metodologią badawczą. Autor w logicznej kolejności przedstawia wyniki przeprowadzonych analiz, zaczynając od uzasadnienia wyboru modeli biznesowych dla zagospodarowania infrastruktury likwidowanych kopalń, poprzez ich ocenę wskaźnikową, aż po weryfikację możliwości wykorzystania infrastruktury czynnych kopalń z punktu widzenia ich dalszej żywotności.

W Rozdziale 7 autor dokonuje kompleksowego przeglądu i oceny modeli biznesowych możliwych do wdrożenia na terenach pogórnich, koncentrując się na ich potencjale transformacyjnym w kontekście Europejskiego Zielonego Ładu i założeń gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ). Szczegółowo analizowane są czynniki techniczne, w tym przede wszystkim poziom gotowości technologicznej (Technology Readiness Level – TRL), który pozwala ocenić stopień zaawansowania i dojrzałości proponowanych rozwiązań technologicznych. W ocenie uwzględniono również kryteria środowiskowe, takie jak zgodność z taksonomią UE czy implementacja zasad GOZ, co zapewnia zgodność koncepcji z aktualnymi kierunkami polityki klimatyczno-energetycznej Unii Europejskiej.

Na uwagę zasługuje także przeprowadzona przez autora analiza synergii technologicznej, która dotyczy możliwości łączenia poszczególnych technologii w spójne, zintegrowane systemy – zwłaszcza w kontekście lokalnych uwarunkowań infrastrukturalnych i energetycznych. Modele zostały ocenione również pod kątem ich integracji z istniejącymi systemami energetyki rozproszonej i lokalnej, co znacząco zwiększa ich wykonalność oraz praktyczną atrakcyjność wdrożeniową.

Analiza została przeprowadzona z dużą precyzją merytoryczną i oparta na konsultacjach z ekspertami branżowymi oraz literaturze przedmiotu. Przedstawione wnioski mają charakter aplikacyjny i mogą stanowić rzeczywistą podstawę do projektowania działań rewitalizacyjnych i inwestycyjnych na terenach poprzemysłowych, szczególnie w regionach objętych transformacją energetyczną.

Rozdział 8 stanowi istotną część rozprawy doktorskiej, w której autor przeprowadza analizę wskaźnikową wybranego modelu biznesowego, służącego zagospodarowaniu terenów pokopalnianych w duchu zrównoważonego rozwoju i transformacji energetycznej. Analiza ta umożliwia ilościową ocenę modelu w trzech kluczowych wymiarach: efektywności techniczno-ekonomicznej, wykonalności wdrożeniowej oraz zgodności z celami polityki klimatycznej i energetycznej Unii Europejskiej.

Zastosowane wskaźniki zostały dobrane w sposób adekwatny do przedmiotu badań i obejmują zarówno mierzalne aspekty techniczne (np. poziom wykorzystania dostępnej infrastruktury, potencjał energetyczny, koszty operacyjne), jak i kryteria społeczne i środowiskowe (np. wpływ na lokalny rynek pracy, redukcja emisji, zgodność z zasadami GOZ). Autor zadbał o transparentność prezentowanych danych – ich źródła są jasno określone, a sposób kalkulacji poszczególnych wartości wskaźnikowych opisany zrozumiale.

Interpretacja wyników analizy została przeprowadzona w sposób konsekwentny i logiczny. Wnioski wyciągnięte z analizy nie tylko odzwierciedlają faktyczną wartość aplikacyjną danego modelu, ale również wskazują jego mocne i słabe strony, dając podstawę do dalszych prac optymalizacyjnych. W rezultacie, analiza wskaźnikowa nie pełni jedynie funkcji podsumowującej, lecz stanowi wartościowe narzędzie walidacyjne zaproponowanego podejścia badawczego i praktycznego.

W Rozdziale 9 autor rozszerza zakres prowadzonych badań o kompleksową analizę żywotności funkcjonujących jeszcze zakładów górniczych, co stanowi ważny element szerszej refleksji nad transformacją sektora wydobywczego. Podejście to wykracza poza analizę jedynie terenów pogórnich i pozwala na ocenę potencjału dalszego funkcjonowania wybranych kopalń w kontekście technicznym, geologicznym oraz ekonomicznym. Uwzględnienie takiej perspektywy umożliwia bardziej realistyczne oszacowanie możliwości i ograniczeń transformacji energetycznej w regionach górniczych.

Autor stosuje w tym rozdziale wybrane kryteria oceny żywotności, takie jak: jakość i rozpoznanie zasobów węgla, głębokość zalegania pokładów, warunki geomechaniczne, poziom zagrożeń naturalnych, ale także wskaźniki kosztów wydobywania, poziomu zatrudnienia oraz opłacalności kontynuowania eksploatacji. Dane źródłowe zostały zebrane z różnych jednostek i opracowań, a ich przetworzenie i interpretacja zostały przedstawione w sposób przejrzysty i uporządkowany.

Rozdział ten w znaczący sposób wzbogaca rozprawę, ponieważ ukazuje, że skuteczna transformacja energetyczna wymaga nie tylko wdrażania nowych modeli dla obiektów zlikwidowanych, ale także zróżnicowanego podejścia do zakładów wciąż czynnych. Wprowadzenie tego zagadnienia potwierdza interdyscyplinarność pracy, łącząc wiedzę z zakresu geologii, inżynierii górniczej, ekonomii i polityki energetycznej. Tym samym rozdział 9 nie tylko uzupełnia wcześniejsze rozważania, lecz także wzmacnia ich kontekst strategiczny i praktyczny.

Całość wyników została omówiona z należytą starannością, a ich interpretacja uwzględnia zarówno ograniczenia, jak i potencjał praktycznego zastosowania. Autor wykazuje umiejętność krytycznego spojrzenia na dane oraz ich integracji z wcześniej przedstawionymi założeniami i literaturą przedmiotu. Wyniki są nie tylko spójne z celami badawczymi, ale także mają wysoką wartość aplikacyjną dla planowania transformacji regionów pogórnich.

7. Informacje dotyczące praktycznego zastosowania uzyskanych wyników badań

Wyniki badań przedstawione w rozprawie doktorskiej mgr. inż. Aleksandra Frejowskiego posiadają istotny potencjał praktycznego zastosowania, szczególnie w kontekście planowania i wdrażania transformacji regionów pogórnich w Polsce i Europie. Opracowana metodyka oceny możliwości wykorzystania infrastruktury kopalń po zakończeniu eksploatacji może być wykorzystywana przez administrację samorządową, instytucje planistyczne oraz spółki zarządzające majątkiem pogórnym (np. SRK S.A., JSW Innowacje, GIG-PIB) jako narzędzie wspomagające podejmowanie decyzji inwestycyjnych i przestrzennych. Zestawienie modeli biznesowych wraz z ich oceną wielokryterialną dostarcza praktycznych wskazówek co do wyboru najbardziej efektywnych i realnych scenariuszy zagospodarowania – zgodnych z taksonomią UE, zasadami gospodarki o obiegu zamkniętym oraz lokalnymi uwarunkowaniami techniczno-społecznymi. Co istotne, narzędzie to może być również zaadaptowane do procesów związanych z programowaniem funduszy unijnych, w szczególności w ramach Funduszu na rzecz Sprawiedliwej Transformacji, wspierając ocenę racjonalności i trwałości projektów rewitalizacyjnych. Dzięki uwzględnieniu aspektów technologicznych, środowiskowych, ekonomicznych i przestrzennych, opracowane rozwiązania mogą skutecznie wspierać zrównoważoną transformację energetyczną oraz przeciwdziałać degradacji terenów pogórnich.

8. Uwagi dyskusyjne i krytyczne

W ocenianej rozprawie doktorskiej mgr. inż. Aleksandra Frejowskiego nie stwierdzono nieprawidłowości, jednakże można wskazać kilka elementów, które mogą zostać uznane za wymagające dopracowania:

- w części tekstu pojawiają się drobne niekonsekwencje stylistyczne oraz interpunkcyjne, a niektóre akapity wymagają lepszego uporządkowania logicznego,
- w wybranych fragmentach pracy (np. opisy modeli biznesowych i ich ocena) można zauważyć zbyt powierzchowne powiązanie pomiędzy opisem zastosowanej metodyki, a przedstawionymi wynikami. W kilku miejscach wskazano zastosowanie określonych narzędzi badawczych (np. Delphi), jednak zabrakło pełnej dokumentacji ich przebiegu (np. liczby ekspertów, uzasadnienia doboru próby). Przykładowo w Rozdziale 5.1 pt. „*Badania eksperckie metodą Delphi*” (strony 41–43), autor opisuje zastosowanie tej metody, jednak nie podaje kluczowych szczegółów dotyczących: liczby zaproszonych oraz faktycznie uczestniczących ekspertów, uzasadnienia doboru próby eksperckiej, struktury ankiety, sposobu analizy wyników poszczególnych rund. Poza tym brakuje również informacji o poziomie konsensusu oraz o tym, czy i ile rund przeprowadzono. To ogranicza transparentność procesu badawczego.
- praca zawiera szeroką analizę modeli opartych na OZE i GOZ, warto byłoby pogłębić wątek innych możliwych kierunków przekształcania infrastruktury (np. funkcje społeczne, logistyczne, edukacyjne) lub rozwinąć analizę ryzyka implementacji,
- chociaż całościowe wnioski są sformułowane poprawnie, to rozdziały (np. 7 i 8) mogłyby kończyć się jednozdaniowym podsumowaniem kluczowych obserwacji.

Uwagi szczegółowe:

- Strona 46, 53, 54, 55, w analizie kryteriów oceny (rozdziały dotyczące analizy strukturalnej i morfologicznej) pojawiają się sformułowania typu „brak zależności”, „brak relacji”, „brak różnicowania relacji pozytywnych i negatywnych”. Termin „brak” jest tu stosowany technicznie, brakuje głębszego uzasadnienia metodologicznego dla pominięcia rozróżnienia wpływów pozytywnych i negatywnych w analizie wielokryterialnej.
- Strona 54, w analizie wielokryterialnej brak rozróżnienia relacji pozytywnych i negatywnych. Stąd pojawia się pytanie czy takie uproszczenie nie wpływa na dokładność modelu decyzyjnego?
- Strona 55, 105, Autor wspomina o dodatkowych kryteriach nieuwzględnionych w politykach UE, ale nie wyjaśnia, dlaczego zostały dodane i na jakiej podstawie.
- Strona 60, 62, w opisie propozycji modeli biznesowych dla zamykanych kopalń (rozdz. 6) wskazano tylko ogólne kierunki działań jednak brakuje skonkretyzowania niektórych założeń modelu biznesowego w kontekście lokalnym.
- strony 69–74, w części dotyczącej „części powierzchniowej kopalni”, opisywane są różnorodne kryteria (techniczne, przestrzenne, środowiskowe) bez wyraźnej struktury lub hierarchii – brakuje wprowadzenia, które porządkowałoby kolejność omawianych aspektów.
- Strona 89, 92, w analizie alternatyw (morfologicznej), zdefiniowano kilka wariantów jednak nie podano ich źródła lub przesłanek doboru co wymaga uzupełnienia o metodologiczne uzasadnienie przyjętych opcji decyzyjnych.
- strony 93–97, przedstawione scenariusze nie są konsekwentnie opisane, gdyż część z nich zawiera analizę ryzyka, inne jedynie ogólne charakterystyki.
- strony 145–149, fragment dotyczący „poziomu skomplikowania dostępu do zasobów” zawiera mieszankę analiz ilościowych i jakościowych, ale bez jasnego podziału i podsumowania, gdzie akapity „mieszają” styl narracji z oceną techniczną.

9. Ocena czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego

Rozprawa doktorska mgr. inż. Aleksandra Frejowskiego przedstawia oryginalne i kompleksowe podejście do problemu zagospodarowania infrastruktury pokopalnianej w kontekście transformacji energetycznej, z uwzględnieniem założeń Europejskiego Zielonego Ładu, gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ) oraz odnawialnych źródeł energii (OZE).

Na tle dostępnej literatury oraz dotychczasowych badań prowadzonych w Europie i Polsce, autor prezentuje własną koncepcję metodyczną opartą na zestawie zintegrowanych narzędzi badawczych, takich jak analiza morfologiczna, metoda Delphi, analiza wielokryterialna i wskaźnikowa, służących do oceny potencjału transformacyjnego terenów pogórnich. Kluczowym elementem oryginalności rozprawy jest propozycja autorskiego podejścia do budowy i oceny modeli biznesowych dla likwidowanych kopalń, z uwzględnieniem aspektów technologicznych, środowiskowych, ekonomicznych i społecznych.

Nowatorstwo pracy przejawia się również w interdyscyplinarnym charakterze badań, łączących inżynierię środowiska, geologię, energetykę oraz ekonomię. Autor nie tylko wskazuje potencjalne scenariusze zagospodarowania infrastruktury pokopalnianej, ale również dokonuje ich formalnej oceny przy zastosowaniu usystematyzowanych narzędzi decyzyjnych, co znacząco poszerza dotychczasowy dorobek naukowy w tej dziedzinie.

W świetle powyższego należy uznać, że rozprawa spełnia wymogi oryginalności stawiane pracom doktorskim i stanowi wartościowy wkład w rozwój wiedzy dotyczącej rewitalizacji obszarów pogórnich w kontekście zrównoważonej transformacji energetycznej.

10. Ocena czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia rozprawy naukowej

Rozprawa doktorska mgr. inż. Aleksandra Frejowskiego w sposób wyczerpujący prezentuje rozległą wiedzę teoretyczną kandydata w zakresie dyscypliny *Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka*, ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień związanych z transformacją terenów pogórnich, gospodarką o obiegu zamkniętym, energetyką odnawialną oraz analizą systemów. Kandydat wykazuje bardzo dobrą orientację w aktualnych uwarunkowaniach społeczno-gospodarczych oraz regulacjach

prawnych dotyczących sektora górniczego i energetycznego, zarówno w kontekście krajowym, jak i europejskim.

Bogaty przegląd literatury, uwzględniający źródła naukowe, akty prawne oraz raporty branżowe, świadczy o dogłębnym opanowaniu podstaw teoretycznych oraz aktualnych trendów badawczych. Jednocześnie sposób prowadzenia narracji w poszczególnych rozdziałach pracy – od wyznaczenia celu i zakresu badań, przez dobór i uzasadnienie metodyki, aż po analizę wyników i sformułowanie wniosków – potwierdza, że autor posiada umiejętność samodzielnego planowania, prowadzenia i dokumentowania badań naukowych.

Praca zawiera szereg autorskich elementów analitycznych, w tym opracowanie wariantów modeli biznesowych, ich ocena wskaźnikowa i zastosowanie złożonych narzędzi decyzyjnych, co dodatkowo potwierdza wysoki poziom kompetencji metodologicznych autora. Należy podkreślić również umiejętność integrowania wiedzy z różnych dziedzin – w tym geologii, inżynierii, ekonomii i polityki energetycznej – co stanowi istotny atut rozprawy.

Podsumowując, praca świadczy o dojrzałości naukowej doktoranta, zdolności do samodzielnego prowadzenia badań oraz szerokim opanowaniu wiedzy teoretycznej w zakresie interdyscyplinarnej problematyki transformacji pogórnicznej w dyscyplinie *Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka*.

Wniosek końcowy

Doktorant mgr inż. Aleksander Frejowski wykazał się wysokim poziomem kompetencji naukowych, umiejętnością samodzielnego formułowania i rozwiązywania złożonych problemów badawczych, a także świadomym i trafnym doбором zaawansowanych metod analitycznych i decyzyjnych. W rozprawie doktorskiej pt. *„Metoda oceny możliwości wykorzystania infrastruktury oraz zasobów kopalin węgla kamiennego po zakończeniu eksploatacji”* Doktorant przeprowadził szeroko zakrojoną analizę problematyki transformacji terenów pogórnicznych, wykorzystując interdyscyplinarne podejście badawcze łączące aspekty techniczne, środowiskowe, gospodarcze i społeczne.

Praca obejmuje zarówno studia przypadków europejskich, jak i analizę krajowego sektora górniczego, a jej wartość naukowa wzmacniana jest przez zastosowanie m.in. analizy morfologicznej, metody Delphi, analizy wskaźnikowej i wielokryterialnej. Doktorant wykazał się również zdolnością tworzenia autorskich narzędzi oceny modeli biznesowych opartych na OZE i GOZ, co stanowi istotny wkład w rozwój wiedzy z zakresu dyscypliny *Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka*.

Recenzowana rozprawa spełnia wymagania określone w art. 13 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, w związku z art. 179 ust. 2 ustawy z dnia 3 lipca 2018 roku – Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Autor pracy zaprezentował umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych oraz twórczego rozwiązywania istotnych problemów inżynierskich w obszarze transformacji energetycznej.

W związku z powyższym wnoszę do Rady Naukowej Głównego Instytutu Górnictwa – Państwowego Instytutu Badawczego o dopuszczenie Doktoranta mgr inż. Aleksandra Frejowskiego do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.



Marek Borowski