

dr hab. inż. Justyna Woźniak, prof. PWR

Wrocław, 24.10.2023 r.

Katedra Górnictwa

Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii

Politechnika Wrocławska

justyna.wozniak@pwr.edu.pl

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Jadwigi Proksy

pt. „Efektywność środowiskowa i ekonomiczna zastosowania przetworzonego lotnego popiołu fluidalnego w podziemnych technologiach górniczych”.

Promotor dr hab. inż. Aneta Michalak, prof. Pol. Śl.

Promotor pomocniczy: dr inż. Robert Hildebrandt

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzję sporządzono na podstawie pisma Rady Naukowej Głównego Instytutu Górnictwa z dn. 21.08.2023 r. podpisanego przez Dyrektora GIG prof. dr hab. inż. Stanisław Prusek (NOP/101/2023/R). Recenzja dotyczy spełnienia przez ww. rozprawę doktorską warunków określonych w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (t.j. Dz. U. z 2017 r. poz. 1789) w związku z art. 179 ust. 2 i 3 ustawy z dnia 3 lipca 2018 roku Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1669 z późn. zm).

2. Ocena układu rozprawy doktorskiej

Recenzowana rozprawa doktorska składa się z 9 głównych rozdziałów ujętych na 106 stronach zredagowanego tekstu. Całość uzupełnia dodatkowe 17 stron, które stanowią wymienione źródła finansowania badań (3 prace statutowe), spis literatury (150) i innych źródeł (30), spis rysunków (22) i tabel (19). Rozprawa ma właściwą konstrukcję, podstawy teoretyczne w tematyce badawczej ujęto na ok. 30 stronach (18-49), natomiast metodologię badań własnych oraz zestawienie wyników wraz z podsumowaniem stanowią ok 57 strony. Czyni to wartościowe dzieło w zakresie tematyki efektywności środowiskowej i ekonomicznej wykorzystania przetworzonego lotnego popiołu fluidalnego w podziemnych technologiach górniczych (PTG).

Rozdział pierwszy rozprawy doktorskiej tworzy warsztatowe wprowadzenie w obszar tematyczny. Doktorantka wskazuje na zasadność podjęcia problemu badawczego w kwestii możliwości zastosowania przetworzonego lotnego popiołu fluidalnego. Podkreśla, że obecne kierunki nie wyczerpują możliwości ich wykorzystania, jednocześnie sugerując kierunek zagospodarowania tych popiołów w podziemnych technologiach górniczych (PTG). Wskazano potrzebę opracowania nowej technologii przetwarzania popiołów lotnych z kotłów fluidalnych w procesie karbonatyzacji ditlenkiem węgla z równoczesnym granulowaniem. Założono, że

nastąpi to w urządzeniu pozwalającym na przeprowadzenie tych dwóch procesów, podczas jednej procedury technologicznej. Doktorantka uzasadnia, że takie rozwiązanie nie było dotychczas stosowane. Swoje badania naukowe w powyższym temacie Doktorantka realizuje od 2016 r. w Głównym Instytucie Górnictwa (4 prace statutowe), czego efektem są 4 współautorskie publikacje oraz 2 patenty. Określenie problematyki badawczej w pracy wyznacza kierunek, treść i zakres badań oraz umożliwia sformułowanie tezy i celu pracy. Autorka zamieszcza te informacje w rozdziale drugim dysertacji. Definiuje cel główny tj. ocena efektywności środowiskowej i ekonomicznej opracowanej nowej technologii przetwarzania popiołów lotnych z kotłów fluidalnych metodą karbonatyzacji ditlenkiem węgla w procesie granulowania do zastosowania w PTG. W ramach tego celu określa szczegółowe cele badawcze, teoriopoznawcze i użytkowe. Dwoma celami teoriopoznawczymi są: 1. Usystematyzowanie wiedzy w zakresie zastosowania popiołów lotnych z kotłów fluidalnych w PTG; 2. Zidentyfikowanie narzędzi pomiaru efektywności środowiskowej i ekonomicznej. Do celów użytkowych Doktorantka zalicza: 1. Opracowanie technologii przetwarzania metodą granulowania w atmosferze ditlenku węgla popiołów lotnych z kotłów fluidalnych; 2. Opracowanie technologii wytwarzania kruszywa granulowanego jako produktu rynkowego do zastosowania w PTG; 3. Ocena efektywności środowiskowej technologii wytwarzania kruszywa granulowanego w kontekście zastosowania w PTG; 4. Ocena efektywności ekonomicznej technologii wytwarzania kruszywa granulowanego w kontekście zastosowania w PTG. Tak zdefiniowane cele pracy wpisują się w koncepcję gospodarki obiegu zamkniętego, zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju i stanowią podstawę programu badawczego. W pracy postawiono tezę, że istnieje techniczna możliwość zastosowania przetworzonych popiołów lotnych z kotłów fluidalnych w podziemnych technologiach górniczych i jest to uzasadnione środowiskowo i ekonomicznie. Dla udowodnienia tezy sformułowano 6 pytań badawczych. Pytanie 1: czy teoretyczne rozwiązania wskazują na możliwość zastosowania ditlenku węgla w procesie przetwarzania popiołów lotnych z kotłów fluidalnych? Pytanie nr 2: czy literatura przedmiotu wskazuje możliwość przetwarzania popiołów lotnych z kotłów fluidalnych metodą karbonatyzacji w procesie granulacji? Pytanie nr 3: czy istnieje techniczna możliwość równoczesnej karbonatyzacji ditlenkiem węgla i granulacji w jednym urządzeniu? Pytanie nr 4: czy otrzymane kruszywo granulowane może zostać zastosowane w PTG? Pytanie badawcze nr 5: czy opracowana technologia wytwarzania kruszywa granulowanego w kontekście zastosowania w PTG jest efektywna środowiskowo? Pytanie badawcze nr 6: czy opracowana technologia wytwarzania kruszywa granulowanego w kontekście zastosowania w PTG jest efektywna ekonomicznie? W realizacji tematyki badawczej Doktorantka sięgnęła po następujące, odpowiednie metody badawcze tj. analiza i krytyka piśmiennictwa, badania eksperymentalne, ekologiczna ocena cyklu życia LCA, analiza ekonomiczna. Doktorantka wymienia stosowane narzędzia badawcze, do których należą: komputer z oprogramowaniem do zbierania i rejestrowania danych, urządzenie do przetwarzania popiołu lotnego z kotła fluidalnego oraz aparatura pomiarowa do realizacji badań wytworzonego kruszywa granulowanego.

Rozdział trzeci, czwarty i piąty stanowią gruntowny przegląd aktualnego stanu wiedzy w zakresie zastosowania lotnych popiołów fluidalnych w PTG, metod pomiaru efektywności środowiskowej i ekonomicznej. Kolejne rozdziały dysertacji (6, 7, 8) to szczegółowy,

usystematyzowany opis badań własnych w kontekście podjętej problematyki badawczej, stanowiące najważniejszą część dysertacji. Zasadnicza część rozprawy kończy się podsumowaniem i wnioskami końcowymi. Doktorantka wymienia 3 statutowe źródła finansowania swoich badań. Dysertację zamyka literatura wykorzystana podczas jej realizacji z wyodrębnionymi pozostałymi źródłami, które stanowią m.in. akty prawne, bazy danych, strony internetowe. Wśród wykazu publikacji znajdują się również artykuły autorstwa i współautorstwa Doktorantki. Końcową część pracy stanowią spisy rysunków i tabel.

3. Problematyka badawcza, zawartość merytoryczna

Rozprawa doktorska jest wielowątkowa w tematyce zagospodarowania odpadu powstałego w wyniku spalania węgla. Doktorantka realizuje przegląd literatury o charakterystyce popiołów lotnych z kotłów fluidalnych, wskazując, że duża zmienność właściwości fizyko-chemicznych i składu mineralnego tych popiołów (w relacji do popiołu lotnego z tradycyjnego spalania), stanowi wyzwanie przy próbie ich zagospodarowania. Doktorantka przywołuje Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) Nr 1272/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. oraz powołuje się na krajowe regulacje Ministerstwa Klimatu i Środowiska w celu klasyfikacji statusu odpadów w zależności od ilości wolnego tlenu wapnia w lotnych popiołach fluidalnych. W tab. 1 zestawia wymagania minimalnych kryteriów jakościowych wykorzystania materiałów lub produktów powstałych w wyniku procesu odzysku odpadów, powstających w procesie energetycznego spalania paliw (kod odpadów 10 01 82). Autorka przywołuje krajowe wymagania dotyczące stosowania popiołów lotnych z kotłów fluidalnych w technologiach górniczych. Wymienia parametry chemiczne dla tych popiołów oraz wskazuje duże ograniczenie ich wykorzystania tj. obecność w nich wolnego tlenu wapnia. Przywołuje przegląd literaturowy, gdzie opisano możliwości wykorzystania karbonatyzowanych popiołów lotnych w PTG, w kierunku zagospodarowania odpadu ze spalania węgla i zmniejszenie emisji CO₂. Możliwe jest nasycenie tych popiołów ditlenkiem węgla i składowanie w kopalniach podziemnych, zgodnie z ideą gospodarki obiegu zamkniętego. Otrzymany produkt - mikrokruszywo, może być wykorzystany jako aktywny składnik zapraw cementowych. Autorka opisuje te procesy jako element nowości podjętej tematyki badawczej.

W rozdziale czwartym przedstawiono pojęcie efektywności środowiskowej wraz z opisanymi w literaturze przedmiotu sposobami jej pomiaru. Doktorantka wskazuje podejście holistyczne oraz nawiązuje do globalnych zjawisk odpowiedzialnych za zmianę systemów ekologicznych. Opisuje najczęściej stosowane metody identyfikacji wpływu danego produktu na środowisko tj. ocena oddziaływania na środowisko, ślad ekologiczny i węglowy, rachunek kosztów i analiza przepływów materiałowych, szczegółowo opisując środowiskową ocenę cyklu życia (LCA). Powołuje się na normy m.in. PN-EN ISO 14044:2009 oraz etapowość analizy LCA, składającej się ze zdefiniowania celu i zakresu oceny, analizy zbioru wejść i wyjść, oceny wpływu w cyklu życia oraz interpretację wyników oceny. Wskazuje charakterystykę kategorii wpływu na środowisko zgodnie z metodą ReCiPe 2016 wraz z opisem i kategoriami szkody (zdrowie ludzkie, jakość ekosystemu i zmniejszenie zasobów).

Rozdział piąty zawiera efektywność ekonomiczną oraz sposoby jej pomiaru. Doktorantka starannie opisuje dwie grupy metod tj. metody proste (okres zwrotu i księgową stopa zwrotu) i złożone - dyskontowe (NPV, IRR, MIRR, DPP, NPVR).

Kolejne rozdziały stanowią część empiryczną i ściśle korespondują z rozdziałami teoretycznymi. Część praktyczna obejmuje własne, eksperymentalne badania nad przetwarzaniem popiołów lotnych z kotłów fluidalnych w kontekście technicznych możliwości zastosowania powstałego produktu. Doktorantka opisuje źródło pochodzenia materiału badawczego tj. popiołu lotnego - blok energetyczny Elektrowni "Łagisza" należącej do TAURON Wytwarzanie S.A. Autorka wymienia inne składniki procesu tj. ditlenek węgla oraz woda wodociągowa. Ponadto rozdział ten zawiera m.in. opis stanowisk badawczych, urządzeń oraz metod badań. Badania procesu karbonatyzacji i granulowania lotnych popiołów z kotłów fluidalnych prowadzone były w urządzeniu typu intensywny mieszalnik przeciwbieżny z możliwością doprowadzenia wody i gazowego ditlenku węgla, zapewniający hermetyzację procesu. Proces granulowania nadał masie postać zwartych granul, w wyniku czego, otrzymano zagęszczony i jednocześnie zbrylony materiał o pożądanym kształcie i wymiarach. Wytworzone kruszywo granulowane poddano sezonowaniu w warunkach pokojowych przez 28 dni (G-28d), a następnie podzielono na próbki i poddano dalszemu procesowi sezonowania w celach badawczych:

próbka I: sezonowanie przez 7 dni w wodzie wodociągowej (G-7d-w),

próbka II: sezonowanie przez 7 dni w wodach dołowych z KWK „Piast” (G-7d-P),

próbka III: sezonowanie 3 lata w warunkach pokojowych (G-3I),

próbka IV: sezonowanie 3 lata w warunkach atmosfery wyrobiska kopalnianego (GB-3I).

Zasadne sezonowanie w wodach dołowych realizowane było w warunkach atmosfery wyrobiska kopalnianego Kopalni Doświadczalnej „Barbara”. Związane było z prognozowaną możliwością wykorzystania granulatu w PTG. Celem badań było sprawdzenie jak środowisko chodnika kopalnianego wpływa na wytrzymałość granulatu (odporność na miażdżenie) oraz jakie zmiany zachodzą w składzie mineralnym w typowej dla chodnika kopalnianego wilgotności powietrza. W dalszej części pracy Autorka skrupulatnie opisuje przebieg procesu karbonatyzacji w granulometrze, wg PN-S-96035:1997 wraz z opisem podstawowych parametrów technologicznych (Tab. 3). Pozyskuje informacje, że najkorzystniej jest rozpocząć proces granulacji po upływie ok. 2 godz., natomiast popiół lotny z kotła fluidalnego o zadowalającej zawartości wolnego tlenu wapnia (poniżej 1%), można poddać granulacji już po pół godzinie prowadzenia procesu karbonatyzacji.

Kolejny etap części praktycznej dotyczył badania odporności na miażdżenie wytworzonego kruszywa granulowanego, badania mineralogicznego i analizy uziarnienia. Badania wytrzymałościowe wykonano wg PN-EN 13055-1:2016-07. Wyniki badań wskazują wyraźny wpływ wilgotności na wzrost odporności granulatu na miażdżenie. Dla próbki sezonowanej przez 28 dni w warunkach pokojowych (G-28d), odporność kruszywa granulowanego na miażdżenie wynosi 5,0 MPa i obniża się do 4,6 MPa dla próbki sezonowanej 3 lata w tych samych warunkach (G-3I). W warunkach atmosfery kopalnianej po trzech latach sezonowania

wartość parametru wzrasta odpowiednio do 6,4 MPa (GB-3I-1) i 7,4 MPa (GB-3I-2), co wskazuje na istotny wzrost na korzyść próbki położonej w warunkach kopalnianych. Wyniki badań mineralogicznych popiołu lotnego z kotła fluidalnego oraz wytworzonego kruszywa granulowanego wykazały, że w składzie mineralnym dominuje substancja amorficzna, wśród faz krystalicznych anhydryt i kwarc. W czasie sezonowania następuje wzrost zawartości gipsu, co jako spoiwo mineralne korzystnie wpływa na wytrzymałość materiału w warunkach kopalnianych. Badania mineralogiczne wykazały, że kontakt wód kopalniach o charakterze chlorkowo-siarczanowym nie ma znaczącego wpływu na korozję granulatów wytworzonych z popiołów lotnych z kotłów fluidalnych. Z kolei analiza uziarnienia karbonatyzowanego popiołu fluidalnego pozwoliła stwierdzić, że uzyskany materiał jest w miarę jednorodny, ok. 80% populacji stanowią granule o średnicy pomiędzy 2 do 6 mm z przewagą pomiędzy 2 do 4 mm. Uzyskane wyniki badań eksperymentalnych wskazały na możliwość potencjalnego zastosowania uzyskanego granulatu jako aktywnego dodatku w przemyśle materiałów wiążących.

W rozdziale siódmym dokonano analizy efektywności środowiskowej zastosowania kruszywa granulowanego w PTG, za pomocą 4 etapowej techniki LCA. Analizę wykonano definiując granice systemu tj. od kotłowni do bramy, uwzględniając procesy przygotowania składników do produkcji granulatu, poprzez wytworzenie granulatu i zastąpienie nim kruszywa naturalnego w betonie. Zdefiniowano granice i model analizowanego systemu z uwzględnieniem danych wejściowych/wyjściowych i procesów przy założeniach, że zapotrzebowanie na energię elektryczną w procesie jest pokrywane z odnawialnych źródeł energii natomiast ditlenek węgla pochodzi z procesu CCU (ang. Carbon Capture and Utility). Następnie przedstawiono metodę oceny cyklu życia ReCiPe 2016 do oceny środowiskowej z uwzględnieniem możliwości oceny emisji gazów cieplarnianych. Sporządzono drzewa procesów dla śladu węglowego oraz dla kategorii toksyczność rakotwórcza dla ludzi, przedstawiające przepływy materiałów i energii w ramach cyklu życia. Popiół lotny z kotłów fluidalnych ma głównie wpływ na toksyczność rakotwórczą dla ludzi, ekotoksyczność wody słodkiej i ekotoksyczność wody morskiej. Zbiorcze wyniki tej analizy pokazują, że największy wpływ (na większość kategorii) w analizowanym procesie ma energia elektryczna i popiół lotny z kotłów fluidalnych. W pracy wykazano, że zastosowanie granulatu ma wpływ na ślad węglowy, natomiast zużycie wody na kategorię wyczerpanie zasobów wodnych.

Na podstawie analizy porównawczej zastosowania granulatu karbonatyzowanego jako składnika mieszanki betonowej z technologią odniesienia (produkcja betonu) stwierdzono, że analizowane procesy są porównywalne. Beton z dodatkiem granulatu karbonatyzowanego powoduje mniejsze obciążenie dla środowiska w kategorii zużycie zasobów, ze względu na wykorzystanie w produkcji granulatu karbonatyzowanego ditlenku węgla i popiołu lotnego z kotła fluidalnego.

Analiza cyklu życia LCA, umożliwiła określenie poziomu oddziaływań środowiskowych procesów wytwarzania granulatu oraz wytwarzania betonu z dodatkiem granulatu jako zamiennika kruszywa naturalnego w zaprawie betonowej stosowanej w PTG. Najważniejsze wyniki tego etapu pracy badawczej zawarte w pracy: beton z dodatkiem granulatu karbonatyzowanego ma mniejszy negatywny wpływ na środowisko naturalne niż beton

z dodatkiem kruszywa naturalnego; beton z granulatem powoduje mniejsze obciążenie dla środowiska w kategorii zużycie zasobów ze względu na wykorzystanie w produkcji granulatu ditlenku węgla i popiołu lotnego z kotła fluidalnego; przyjęty wariant analizy w oparciu o założenie, że do procesu wytwarzania granulatu, składnikami wejściowymi są: CO₂ pochodzące ze spalin i energia OZE, powoduje mniejsze potencjalne oddziaływanie na środowisko; integracja procesu wytwarzania granulatu z wychwytywaniem CO₂ ze spalin jako technologii CCU (Carbon Capture and Utilisation), przyniosłaby korzystny efekt środowiskowy.

Efektywność ekonomiczna zastosowania popiołów lotnych z kotłów fluidalnych w PTG została przedstawiona w rozdziale ósmym. Doktorantka zebrała niezbędne dane i przyjęła założenia do zbadania efektywności budowy i eksploatacji linii produkcyjnej kruszywa granulowanego w skali przemysłowej oraz określiła w jakim stopniu zastosowanie granulatu wpłynie na techniczny koszt wytworzenia betonu, porównując go z kosztem wytworzenia betonu z zastosowaniem tradycyjnej mieszanki tj. kruszywa naturalnego. W ramach analizy sięgnęła po opisane w części teoretycznej wskaźniki efektywności ekonomicznej (NPV, IRR, PP) w warunkach trzech scenariuszy: 1. Analiza opłacalności przedsięwzięcia w cenach stałych. 2. Analiza opłacalności przedsięwzięcia w cenach zmiennych, uwzględniająca inflację. 3. Analiza opłacalności przedsięwzięcia w cenach zmiennych, uwzględniająca dotację w ramach funduszu pomocowego w wysokości 65%, powołując się na internetową domenę organizacji rządowej www.parp.gov.pl. Analiza ekonomiczna produkcji granulatu w warunkach przemysłowych wskazała, że jest to nieopłacalne przedsięwzięcie przy braku finansowania pomocowego (ujemne NPV i bardzo niskie IRR dla 1 i 2 scenariusza). Udział kapitału zewnętrznego w formie funduszu pomocowego pozwala na dodatni wynik NPV i rentowność projektu. Oszacowany przez Doktorantkę jednostkowy techniczny koszt wytworzenia produktu gotowego w postaci betonu ze składnikami kruszywa granulowanego, jest niższy od kosztu produkcji betonu z kruszywem naturalnym. Wskazuje to na ekonomiczną zasadność tego praktycznego rozwiązania GOZ w PTG. Autorka nadmienia, że znaczącym czynnikiem wpływu są koszty energii, wskazując potencjał w ich ograniczaniu poprzez OZE.

Rozdział 9 to podsumowanie i wnioski płynące z przeprowadzonej pracy badawczej. Doktorantka zestawia 6 pytań badawczych wraz ze sformułowanymi odpowiedziami w drodze efektów przeprowadzonych badań. Mimo ograniczeń w pozyskiwaniu danych (ilość wykorzystywanych popiołów lotnych oraz betonu w PTG) do pełnej analizy efektywności ekonomicznej projektu, postawiony cel pracy został zrealizowany a teza zweryfikowana.

Podsumowując merytoryczną ocenę pracy uważam, że zawartość dysertacji stanowi logiczny układ dobrze zaplanowanego procesu badań. Doktorantka wykazała się ogólną znajomością tematyki badawczej, ponadto sprawnością poruszania się w zakresie prawodawstwa krajowego czy przywołaniem wytycznych Unii Europejskiej.

4. Komentarze, uwagi ogólne i szczegółowe

W trakcie czytania dysertacji pojawiło się kilka wątpliwości, komentarzy i uwag.

Pytanie do części laboratoryjnej: ile przeprowadzono procesów karbontyzacji popiołu lotnego z kotła fluidalnego w atmosferze ditlenku węgla w procesie granulowania (czas trwania tego procesu 120 min)?

W analizie efektywności środowiskowej przyjęto 2 założenia: 1. zapotrzebowanie na energię elektryczną w procesie jest pokrywane z odnawialnych źródeł energii oraz 2. ditlenek węgla pochodzi z procesu CCU (ang. Carbon Capture and Utility). Jakże podłoże miały te założenia i czy są one realne do wdrożenia?

W odniesieniu do powyższego pytania, jakie inne scenariusze założeń byłyby możliwe do uwzględnienia w przyjętej metodyce?

W rozdziale 7 na str. 75 Doktorantka analizuje proces wytwarzania granulatu (G-CFFA) dla śladu węglowego, zgodnie z metodą ReCiPe Midpoint: cyt. „Największe potencjalne oddziaływanie wykazuje zastosowanie paneli fotowoltaicznych (186%) - skąd ta wartość? Niestety nie mam jej na drzewie procesu (Rys. 13), do którego jest odwołanie w pracy.

W przeprowadzonej analizie LCA pojawia się stwierdzenie cyt. „Zastosowanie granulatu karbonatyzowanego ma wpływ na toksyczność rakotwórczą dla ludzi”. Proszę wyjaśnić, jak Pani rozumie to stwierdzenie.

Mając na uwadze dalszy rozwój projektów gospodarki obiegu zamkniętego jak Pani zdaniem mógłby wyglądać dalszy przebieg prac badawczych w omawianym obszarze?

Bardzo wysoko należy ocenić poziom edytorski pracy. Na podkreślenie zasługuje staranność przygotowanej rozprawy, przejrzysty i komunikatywny język rozprawy. Mimo ogólnej poprawności redakcyjno – językowej Autorka nie ustrzegła się drobnych błędów interpunkcyjnych, literówek itp. Do recenzowanej rozprawy zgłaszam m.in. poniższe uwagi szczegółowe, wychwycone w trakcie czytania.

Na str. 12 Doktorantka wymienia autorskie i współautorskie publikacje i 2 patenty. W rozprawie zawarto w treści: Wynikiem tych prac są następujące publikacje i patent.

Na str. 20 opis Tab. 1. Wymagania dla minimalnych kryteria jakościowe wykorzystania materiałów lub produktów powstałych w wyniku procesu odzysku odpadów powstających w procesie energetycznego spalania paliw dla odpadów o kodzie 10 01 82.

Na str. 22 Zgodnie tą normą odpady paleniskowe są dopuszczone jako materiał do podsadzki zestalanej lub doszczelniania zrobów zawałowych.

Na str. 23 W technologiach górnictwa podziemnym do najczęstszych zastosowań popiołów lotnych (...).

Na str. 35 Normy dotyczące ocena cyklu życia wskazują uniknie prezentacji wyników w postaci tylko jednej wartości (...).

Na str. 50 Zawartość wolnego tlenu wapnia w popiele lotnym wynosi 3,8% wag.

Na str. 64 Ponadto badania mineralogiczne wykazały, że kontakt wód kopalniach o charakterze chlorkowo-siarczanowym nie ma znaczącego wpływu na korozję granulatów wytworzonych z popiołów lotnych z kotłów fluidalnych.

Na str. 64 Norma została wycofana, jednak ze względu na bark nowej (...).

Na str. 68 W związku z powyższym rozważania, na tym etapie wiedzy o procesie karbonatyzacji oraz dotychczas przebadanych właściwościach produktu otrzymanego z procesu równoczesnej karbonatyzacji i granulacji ograniczono do zastosowania w jako składnik mieszanki betonowej wykorzystywanej do podziemnych prac budowlanych (...).

Na rys. 16 i 17 pominięty indeks dolny w zapisie CO₂.

Brak jednostki na osi pionowej na rys. 16 i 21.

Podsumowując wyżej wymienione uwagi, komentarze nie pomniejszają wysokiej wartości merytorycznej rozprawy. Mogą pomóc podczas przygotowania redakcji pracy do jej publikacji. Rolą Recenzenta jest ocena zastosowanego piśmiennictwa w ramach rozprawy doktorskiej, ze wskazaniem wszystkich zauważonych przez Recenzenta błędów oraz użycia niesłusznych lub niedokładnych sformułowań. Mimo wskazanych nieścisłości praca jest bardzo starannie przygotowana, napisana jest jasnym, zrozumiałym językiem.

5. Ogólna ocena rozprawy

Tematyka rozprawy wpisuje się w innowacyjne kierunki współczesnej nauki, stanowi cenne, oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Dysertacja prezentuje ciekawy obszar badań w zakresie m.in. praktycznego projektu cyrkularnego w technologii górniczej, poprzez zagospodarowanie ubocznych produktów spalania. Praca zawiera wartościowe wyniki w zakresie efektywności środowiskowej i ekonomicznej zastosowania przetworzonego lotnego popiołu fluidalnego w PTG. Zdefiniowane cele w pracy zostały zrealizowane i stanowią cenny dorobek Autorki dysertacji. Mając na uwadze zakres przeprowadzonych badań, staranne ich opracowanie oraz znaczenie uzyskanych wyników w teorii i praktyce, pracę oceniam pozytywnie.

6. Wnioski końcowe recenzji

Przedłożona rozprawa doktorska spełnia wymogi formalne stawiane pracom doktorskim zawarte w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (t.j. Dz. U. z 2017 r. poz. 1789) w związku z art. 179 ust. 2 i 3 ustawy z dnia 3 lipca 2018 roku Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1669 z późn. zm). Po przeprowadzeniu merytorycznej analizy i oceny rozprawy stwierdzam, że praca mimo wykazanych drobnych uwag, stanowi oryginalne, twórcze rozwiązanie naukowe, świadczące o ogólnej wiedzy Doktorantki w omawianym obszarze badawczym. Pani mgr inż. Jadwiga Proksa wykazała się umiejętnością prowadzenia badań naukowych w dyscyplinie naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Wnioskuje o przyjęcie przedłożonej rozprawy i dopuszczenie Doktorantki do dalszych etapów postępowania.