

dr hab. inż. Dariusz Obracaj, prof. uczelni
Akademia Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami
al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków

Kraków, 24.09.2025r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Aleksandry Banasiewicz pt.:

"Metoda identyfikacji i parametryzacji źródeł emisji tlenków azotu w wyrobiskach kopalń rud miedzi w aspekcie zapewnienia bezpieczeństwa pracy załogi dołowej"

1. Przedmiot i podstawa formalna opracowania recenzji

Przedmiotem recenzji jest praca doktorska mgr inż. Aleksandry Banasiewicz napisana pod kierunkiem Pani dr hab. inż. Anny Janickiej oraz promotora pomocniczego dr inż. Sebastiana Goli.

Recenzję pracy doktorskiej opracowano na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej nr 266/12/RDND08/2024-2028 z dnia 16 lipca 2025r. i w konsekwencji pismem nr RDND08/164/2025 z dnia 24.07.2025 roku skierowanym przez jej Przewodniczącą prof. dr hab. inż. Roberta Króla.

2. Dane bibliograficzne o pracy

Rozprawa zawiera stronę tytułową i 176 stron ponumerowanych stron tekstu, w tym: spis treści, streszczenia w języku polskim i angielskim, wykaz skrótów i oznaczeń oraz 39 stron załączników stanowiących szczegółowe wyniki pomiarów. Tekst rozprawy zawiera 51 rysunków oraz 31 tabel. Spisy rysunków i tabel w tekście oraz załącznikach zamieszczono na końcu tekstu rozprawy.

Treść rozprawy podzielona została na 14 głównych rozdziałów. Bibliografia zawiera 157 pozycji ułożonych według kolejności cytowania w treści rozprawy, w tym również 3 pozycje prac Doktorantki (autorskie i współautorskie).

3. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Aleksandry Banasiewicz dotyczy ważnych pod kątem bezpieczeństwa pracy zagadnień związanych z zanieczyszczeniem atmosfery kopalnianej tlenkami azotu. Problematyka badawcza wynikająca z tytułu pracy dotyczy identyfikacji i parametryzacji źródeł emisji tych tlenków w kopalniach rud miedzi, a konkretnie polskich kopalniach rud miedzi. Tematyka jest istotna zarówno z naukowego jak i praktycznego punktu widzenia. W kopalniach powszechnie kontroluje się stężenia tlenków azotu i podejmuje się działania zmierzające do ograniczenia ich emisji jak i ich rozrzedzenia do wartości akceptowanych stężeń. Badania nad dokładnością metod pomiarowych stężeń tlenków azotu w atmosferze kopalnianej w celu parametryzacji ich źródeł oraz kontroli stężeń w powietrzu kopalnianym nie były do tej pory podejmowane. Jak stwierdzono w rozdziale 6, brakuje metody pozwalającej mierzyć „niskie jak i wysokie stężenia” tlenków azotu w kopalni podziemnej (str. 26). Dlatego próba podjęcia przez Doktorantkę badań nad opracowaniem takiej metody jest cenna. Metoda taka pozwoliłaby na identyfikację jakościową i ilościową źródeł emisji NO_x w kopalniach rud miedzi. Praktyczne

znaczenie badań może przyczynić się do poprawy bezpieczeństwa w kopalniach podziemnych poprzez rozwój metod redukcji stężeń NO_x.

Uzasadnienie tematu zawarto w sześciu głównych rozdziałach zajmujących 14 stron tekstu. Dopiero w rozdziale 7 zdefiniowano cel główny, którym jest: cyt.; „*identyfikacja i parametryzacja stężenia tlenków azotu w podziemnej kopalni rud miedzi przy wykorzystaniu opracowanej, autorskiej metody oznaczania.*” Biorąc pod uwagę tytuł pracy należy domniemywać, że identyfikacja i parametryzacja stężeń NO_x pozwala sparametryzować źródła ich emisji. W rozdziale 7 wyszczególniono również cztery cele szczegółowe: 1. *Opracowanie uniwersalnej metody oznaczania stężeń tlenków azotu dla wysokich i niskich stężeń w kopalni podziemnej.* (a) *Wybór najbardziej uniwersalnej i adekwatnej metody pomiaru tlenków azotu, przystosowanej do trudnych warunków środowiskowych kopalni podziemnej - metoda analizy SWOT.* (b) *Dostosowanie wybranej metody do przewidywanych parametrów stężeń w kopalniach podziemnych.* 2. *Modelowanie zmienności stężenia szkodliwych gazów - tlenki azotu w wybranej głębokiej kopalni rud miedzi:* (a) *Wytypowanie parametrów pracy maszyny górniczej mających wpływ na wielkość emisji stężeń tlenków azotu.* (b) *Opracowanie modeli zmienności i predykcji emisji tlenków azotu z maszyn górniczych.* 3. *Identyfikacja jakościowa i ilościowa źródeł pochodzenia tlenku azotu w warunkach kopalni podziemnej rud miedzi.* 4. *Ocena zidentyfikowanych źródeł w aspekcie bezpieczeństwa pracy wraz z opracowaniem wytycznych w kierunku poprawy jakości powietrza w mikrośrodowisku kopalni podziemnej rud miedzi.*

Na podstawie sprecyzowanych luk badawczych w zakresie pomiarów stężeń NO_x w kopalniach, sformułowano „hipotezę”: „*Istnieje jedna metoda pozwalająca na oznaczenie stężeń NO_x oraz identyfikację jakościową i ilościową źródeł emisji w warunkach kopalni podziemnej oraz ocenę ich wpływu na bezpieczeństwo pracy w kopalni*”. Tak postawioną tezę Doktorantka łączy cel z tytułem pracy doktorskiej.

Dla osiągnięcia celu pracy Doktorantka opracowała metodę oznaczania „niskich i wysokich stężeń” NO_x w kopalni podziemnej. Metodę nazwaną MONOKS walidowano w warunkach laboratoryjnych, stanowiskowych (na hamowni silnikowej) i warunkach kopalni podziemnej rud miedzi. Pomiary kopalniane tlenków azotu przy wykorzystaniu skonstruowanej aparatury pomiarowej dla oznaczeń stężeń metodą spektrofotometrii UV-VIS stanowią pionierskie badania w górnictwie podziemnym.

Wykazując dominujące źródło emisji NO_x jakim są samojezdne maszyny górnicze (SMG) stworzono model predykcji emisji, który pozwala na przewidywanie stężeń tlenków azotu dla wielu SMG w oddziale eksploatacyjnym. W tym celu opracowano wielomianowy model statystyczny i wykorzystano sieć neuronową ANN – MLP.

Dla poprawy warunków pracy załogi poprzez zmniejszenie stężeń ditlenku azotu pochodzącego z silników spalinowych zaproponowano wykorzystywanie fotokatalitycznej metody redukcji NO₂ z powłoką katalityczną na bazie TiO₂. Badania skuteczności redukcji NO i NO₂ przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych wykorzystując hermetyczną komorę z ustalonymi parametrami fizycznymi atmosfery, odpowiadającymi warunkom kopalnianym. Wskazano na możliwość testowania fotokatalizy w rzeczywistych warunkach kopalnianych.

4. Układ i treść rozprawy

W celu realizacji celów szczegółowych Doktorantka w pierwszych sześciu rozdziałach wprowadza czytelnika w zagadnienie wpływu tlenków azotu na bezpieczeństwo pracowników kopalni. Przedstawia analizę historyczną norm dotyczących emisji tych związków na świecie i w Polsce oraz dokonuje przeglądu dostępnych metod pomiarowych, w tym chemicznych, elektrochemicznych, chemiluminescencyjnych i instrumentalnych. Na podstawie przeglądu

literatury identyfikuje trzy zasadnicze źródła emisji tlenków azotu w kopalniach rud miedzi. W rozdziale 6 wskazuje lukę badawczą, podkreślając brak uniwersalnej metody pomiaru stężeń tlenków azotu w zakresie zarówno „niskich”, jak i „wysokich” wartości.

W rozdziale 7 Doktorantka określa cel pracy oraz przyjmuje hipotezę o istnieniu jednej metody pomiarowej pozwalającej na oznaczanie stężeń NO_x w warunkach kopalnianych, umożliwiającej jednocześnie identyfikację jakościową i ilościową źródeł emisji tych związków. Parametryzacja emisji pozwala na ocenę ich wpływu na bezpieczeństwo pracy w kopalni. Rozdział zawiera także cele szczegółowe oraz przedstawia zakres pracy, pełniący funkcję streszczenia rozprawy.

Rozdział 8 poświęcono wyborowi metody o określonej precyzji i niezawodności, a zarazem umożliwiającej stosowanie w warunkach kopalni podziemnej. Na podstawie analizy SWOT i oceny punktowej wybrano metodę spektrofotometrii UV-VIS, którą następnie dostosowano do warunków kopalnianych. Opracowany sposób poboru próbek i oznaczania stężeń umożliwił sformułowanie autorskiej metody, nazwanej Metodą Oznaczania Tlenków Azotu w Kopalni Podziemnej – Spektrofotometria (MONOKS).

Rozdział 9 opisuje walidację metody MONOKS w oparciu o badania laboratoryjne oraz pomiary na hamowni silnikowej. Określono rodzaj i ilość absorbentu dla spodziewanych strumieni spalin z samojedźnych maszyn górniczych (SMG) oraz oczekiwanych stężeń NO₂. Walidację przeprowadzono poprzez porównanie wyników uzyskanych metodą MONOKS z pomiarami analizatora PEMS, wykorzystującego metodę niedyspersyjnej spektroskopii ultrafioletowej (NDUV). Badania prowadzono dla silnika o pojemności 1248 cm³ i mocy 51 kW, w warunkach zmiennego obciążenia, przy prędkościach obrotowych 850, 1500 i 1850 obr/min oraz momentach 0, 50, 100 i 160 Nm. Przepływ spalin przez układ płuczek utrzymywano na poziomie 0,15 dm³/min. Wyniki porównano z pomiarami analizatora PEMS, przeprowadzając następnie analizę statystyczną, obejmującą podstawowe statystyki opisowe, korelację parametrów obciążenia silnika ze zmiennością stężeń NO_x w spalinach oraz opracowanie modelu regresji liniowej dla metody MONOKS względem danych referencyjnych.

Rozdział 10 zawiera analizę pomiarów stężeń tlenu azotu w powietrzu kopalnianym z wykorzystaniem metody MONOKS. Badania przeprowadzono na wlocie i wylocie wybranego oddziału wydobywczego jednej z kopalń KGHM, zarówno podczas zmian wydobywczych, jak i niewydobywczych. Pozwoliło to określić udział poszczególnych źródeł emisji NO: atmosfery kopalnianej i górotworu (tło) – ok. 12%, robót strzałowych (MW) – ok. 14% oraz silników spalinowych SMG – ok. 74%.

Rozdział 11 poświęcono metodom prognozowania stężeń NO_x, motywowanym koniecznością ilościowego określania emisji z maszyn spalinowych, których bezpośrednia parametryzacja metodą MONOKS była utrudniona ze względu na zmienny charakter pracy w kopalni. Wykorzystując dane z kopalnianego systemu SYNAPSA, zastosowano metody uczenia maszynowego (modele wielomianowe) oraz sztuczne sieci neuronowe (ANN). Analiza 11 kluczowych parametrów monitorowanych w systemie SYNAPSA pozwoliła stwierdzić, że najlepszą dokładność predykcji zapewnia model wielomianowy czwartego rzędu. Potwierdzono także możliwość stosowania sieci neuronowych do prognozowania stężeń NO_x w spalinach pojedynczych maszyn górniczych.

Rozdział 12 dotyczy poprawy bezpieczeństwa pracy poprzez obniżanie stężeń NO_x w powietrzu kopalnianym. Wskazano trzy rozwiązania: zwiększenie intensywności przewietrzania wyrobisk, wydłużenie czasu przewietrzania po cyklach technologicznych generujących wysokie emisje NO_x oraz redukcję katalityczną z wykorzystaniem modułów fotokatalitycznych na bazie ditlenku tytanu. Zaproponowano algorytm postępowania w sytuacji zagrożenia NO_x, w zależności

od charakteru emisji. Dwa pierwsze sposoby określono jako metody pierwotne, a oczyszczanie katalityczne – jako metodę wtórną.

W rozdziale 13 udowodniono możliwość wykorzystania fotokatalitycznego oczyszczania powietrza kopalnianego. Przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych badania z użyciem gazów syntetycznych wykazały, że moduł z powłoką katalityczną na bazie TiO_2 skutecznie redukuje stężenie NO_2 , nie powodując jednak redukcji tlenu azotu. Mimo to stwierdzono spadek sumarycznego stężenia NO_x , co potwierdza przydatność tej metody w redukcji emisji z silników spalinowych. Metoda wymaga jednak dalszych badań w rzeczywistych warunkach kopalnianych.

Rozdział 14 zawiera cztery końcowe wnioski. Podkreślono w nich przydatność metody MONOKS do oznaczania niskich i wysokich stężeń NO_x w kopalni podziemnej oraz możliwość jakościowej i ilościowej identyfikacji źródeł emisji, tj. tła atmosferycznego (12%), materiałów wybuchowych (14%) i maszyn spalinowych (74%). Opracowane modele predykcji emisji NO_x mogą stanowić narzędzie do prognozowania ich stężeń w kopalniach. Wskazano również na konieczność dalszych badań nad katalitycznymi metodami redukcji NO_2 opartymi na powłokach TiO_2 , w celu praktycznego zastosowania ich w górnictwie podziemnym.

5. Ocena merytoryczna

Należy stwierdzić, że treść rozprawy i jej problematyka jednoznacznie mieszczą się w dziedzinie nauk inżynierijsko-technicznych, w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Problematyka ilościowej identyfikacji źródeł emisji tlenków azotu w kopalni podziemnej jest niezwykle istotna zarówno z punktu widzenia bezpieczeństwa pracy, jak i doboru środków redukcji stężeń tych związków w atmosferze kopalnianej. Podjęcie tej tematyki należy uznać za celowe i potrzebne.

Tytuł rozprawy jest precyzyjny i wskazuje na opracowanie metody identyfikacji i parametryzacji źródeł emisji tlenków azotu dla poprawy bezpieczeństwa pracy w kopalni rud miedzi. Hipoteza, choć sformułowana i dowodzona jako teza, stanowi konsekwencję tytułu rozprawy. Uszczegółowia ona metodę identyfikacji i parametryzacji źródeł emisji NO_x poprzez pomiary stężeń tych związków. Problem badawczy związany jest z jednoczesnym pomiarem szerokiego zakresu stężeń tlenu i ditlenku azotu w warunkach kopalni podziemnej, czyli tzw. „niskich i wysokich stężeń” NO_x . Cele szczegółowe, dotyczące m.in. modelowania i prognozowania stężeń NO_x w spalinach emitowanych z samojedźnych maszyn górniczych oraz opracowania wytycznych w zakresie redukcji stężeń tlenków azotu w powietrzu kopalnianym (zarówno za pomocą metod organizacyjnych, jak i zaproponowanego wykorzystania metody fotokatalitycznej), uzupełniają zakres rozprawy w aspekcie poprawy bezpieczeństwa pracy załogi dołowej.

Głównym osiągnięciem Doktorantki jest opracowanie metody MONOKS do pomiaru stężeń NO_x zarówno w powietrzu kopalnianym jak i w spalinach emitowanych przez silniki maszyn spalinowych. Oparta na spektrofotometrii metoda wykorzystuje zestaw odpowiednio połączonych płuczek, wypełnionych specjalnie opracowanymi reagentami, przez które przepływa stały strumień objętości mieszaniny gazowej zawierającej tlenki azotu. Istotne znaczenie ma trójstopniowy sposób walidacji metody, poczynsz od badań porównawczych w warunkach laboratoryjnych, następnie na hamowni silnikowej z wykorzystaniem rzeczywistego silnika o zapłonie samoczynnym w różnych warunkach obciążenia, aż po badania w kopalni podziemnej. Zaplanowanie i przeprowadzenie badań porównawczych z użyciem analizatora gazów spalinowych typu PEMS, sposób interpretacji wyników oraz wyznaczenie współczynnika zmienności stężeń NO i NO_2 w zakresie zmienności obciążenia silnika stanowią oryginalne osiągnięcie własne Doktorantki.

Drugim istotnym osiągnięciem jest określenie jakościowej i ilościowej identyfikacji źródeł emisji tlenu azotu w badanym oddziale wydobywczym dzięki pomiarom przeprowadzonym metodą MONOKS. Pomimo że źródła te były znane, sposób zaplanowania i realizacji pomiarów pozwolił określić poziom tzw. tła stężeń NO, którego udział wyniósł aż 12%. Zasadnie zauważono, że oprócz źródeł technologicznych, takich jak materiały wybuchowe stosowane podczas robót strzałowych (14%) czy samojezdne maszyny górnicze z napędem spalinowym (74%), musi istnieć dodatkowe źródło emisji. Określono je jako naturalną emisję z górotworu oraz wynikającą z utleniania się azotu.

Dodatkowo opracowane modele prognostyczne stężeń NO_x w spalinach emitowanych przez silniki mogą mieć praktyczne znaczenie przy wyznaczaniu zapotrzebowania na strumień powietrza wentylacyjnego w rejonach eksploatacyjnych.

Reasumując, recenzowana rozprawa doktorska, a w szczególności jej część badawcza dotycząca planowania, doboru metod, interpretacji wyników i wnioskowania, wskazuje jednoznacznie na bardzo dobrze opanowany warsztat naukowy Doktorantki. Szczególnie istotne jest, że przeprowadzone badania mają charakter interdyscyplinarny i obejmują m.in. analizę chemiczną, metrologię, statystykę, uczenie maszynowe, sieci neuronowe, aerologię górnictwa oraz górnictwo rud miedzi.

Cel rozprawy, jakim było zidentyfikowanie i parametryzacja źródeł emisji tlenków azotu w podziemnej kopalni rud miedzi przy wykorzystaniu autorskiej metody, **został osiągnięty**. Postawiona teza, zakładająca możliwość oznaczania stężeń tlenków azotu w celu identyfikacji jakościowej i ilościowej źródeł emisji oraz oceny ich wpływu na bezpieczeństwo pracy w kopalni, została udowodniona.

6. Uwagi krytyczne o charakterze dyskusyjnym

- 1) Tytuł pracy nawiązuje do emisji tlenków azotu, podczas gdy cel i zakres badań koncentrują się na oznaczaniu ich stężeń. Przy założeniu reprezentatywności poboru próbek gazów w metodzie MONOKS można byłoby wprost wyznaczyć wielkość przepływu gazu, a więc i emisję. Przykładowo, monitorując strumień objętości powietrza na stacjach wlotowej i wylotowej oddziału eksploatacyjnego, można oszacować emisję tlenu azotu na podstawie uśrednionych wartości jego stężeń w tych punktach pomiarowych. Uwarunkowania, które doprowadziły do rezygnacji z ilościowego wyznaczenia emisji NO w badanym oddziale, wymagają szerszego komentarza.
- 2) Z uwagi na fakt, że rozprawa skupia się na badaniach spalin silników o zapłonie samoczynnym, wskazany byłby krótki przegląd dopuszczalnych wartości stężeń tlenków azotu w spalinach samojezdnych maszyn górniczych stosowanych w kopalniach KGHM, zgodnie z obowiązującymi normami emisji spalin. Pozwoliłoby to na lepsze określenie zakresu spodziewanych stężeń NO_x, co mogłoby być pomocne przy opracowywaniu metody pomiarowej.
- 3) W pracy doktorskiej skupiono się głównie na źródle emisji tlenków azotu z maszyn spalinowych jako źródle emisji o „wysokim” ich stężeniu i znaczącym udziale w strumieniu powietrza wentylacyjnego, co wykazano w rozdziale 10. Pomimo, że w badanym oddziale wykazano marginalny wpływ robót strzałowych na średnie stężenie NO, to w pracy odczuwalny jest brak przeglądu metod oznaczania jakościowego i ilościowego składu gazów postrzałowych z materiałów wybuchowych, w tym ustosunkowanie się do obowiązujących norm dla gazów postrzałowych z materiałów wybuchowych przeznaczonych dla górnictwa podziemnego (np. wg PN-C-86067:1997 + Az1:2000, PN-

EN+13631-1) i wskaźnika maksymalnego udziału NO_x w gazach postrzałowych, który jest podstawowym parametrem dla prognozowania dyspersji gazów w wyrobiskach górniczych po robotach strzałowych.

- 4) Identyfikacja tła stężeń NO w badanym oddziale oraz wskazanie na możliwy udział emisji naturalnej z górotworu wymagają szerszego komentarza dotyczącego przyczyn tego zjawiska. Ma to znaczenie również w kontekście ewentualnego uwzględnienia tego źródła emisji w algorytmach decyzyjnych dotyczących redukcji szkodliwego oddziaływania NO_x w oddziałach eksploatacyjnych.
- 5) Przedstawienie w rozdziale 9.5 modelu regresji liniowej, prognozującego stężenia na podstawie pomiarów metodą PEMS w odniesieniu do wyników uzyskanych metodą MONOKS, wymaga wyjaśnienia pod względem praktycznej przydatności. W szczególności należałoby wskazać, dlaczego istotny jest współczynnik przeliczeniowy między dwiema metodami pomiarowymi?

7. Uwagi szczegółowe

- Stwierdzenie na s. 26: „W literaturze nie znaleziono badań dotyczących oceny emisji NO_x z poszczególnych źródeł do atmosfery kopalnianej” nie wydaje się trafne, szczególnie w kontekście treści tabeli 6.1.
- Brak precyzji w opisie stężeń w różnych mieszaninach gazowych (gazach wzorcowych, spalinach, próbkach powietrza) utrudnia analizę. Problem potęguje niejednoznaczne użycie pojęcia „emisja stężeń”.
- W tabeli 6.1 zestawiono przegląd literatury dotyczącej problemów badawczych związanych z zakresem pracy. Część wymienionych publikacji, w tym autorstwa Doktorantki, nie została uwzględniona w spisie literatury. Dodatkowo sposób cytowania w tabeli różni się od tego w głównej części rozprawy.
- W rozprawie zidentyfikowano trzy źródła emisji NO_x w kopalniach rud miedzi. Dwa z nich (silniki spalinowe oraz materiały wybuchowe) są powszechnie znane. Zgodnie z drugim wnioskiem końcowym, trzecim źródłem jest górotwór, określony jako tło atmosfery kopalnianej. Jednak na s. 26 wskazano, że emisja ta związana jest z naturalnym utlenianiem azotu w atmosferze kopalnianej. Sprzeczność ta wymaga doprecyzowania.
- Skala punktowa do analizy SWOT w tabelach 8.1 i 8.2 wymaga komentarza – w szczególności uzasadnienia przyjęcia zasady, że mniejsza liczba punktów oznacza większą korzystność metody. Jak rozumieć stwierdzenie na s. 39” „Metoda ta (spektrofotometrii UV-VIS) jest dokładna, czuła i łatwa w użyciu, jeżeli liczba punktów wynosi odpowiednio: 5 dla dokładności i 4 dla czułości?
- Pobór próbek gazowych z zapewnieniem stałego przepływu jest w metodzie MONOKS kluczowy. Przedstawienie budowy aspiratora lub wykorzystanego przepływomierza uwiarygodniłoby stabilność strumienia gazu (0,15 dm³/min).

8. Uwagi redakcyjne

- Język rozprawy jest odpowiedni dla pracy naukowej, co świadczy o dobrym przygotowaniu Doktorantki do prowadzenia badań i publikowania ich wyników. Liczba błędów

redakcyjnych jest niewielka, jednak zdarzają się potknięcia, np.: *sprzęganie* (s. 52), stosowanie zamiennie akronimów SMG i LHD, a także niekonsekwentne używanie nazw typu *wozy kopalniane* i *wozy elektryczne*, brak pierwszej strony spisu treści.

- Układ i struktura pracy są poprawne, choć obecność sześciu głównych rozdziałów poprzedzających sformułowanie celu i tezy wydaje się zbędna.
- Rozdziały 12 i 13 są spójne. Biorąc pod uwagę objętość i niezbyt trafnie sformułowany tytuł rozdziału 12, można rozważyć jego połączenie z rozdziałem 13.
- Niezbyt fortunate jest również zapisywanie jednostek w nawiasach kwadratowych przy cytowaniu literatury w stylu Vancouver.
- Styl zestawienia bibliograficznego wymaga ujednolicenia.

Przedstawione uwagi mają charakter dyskusyjny i nie obniżają wartości naukowej rozprawy doktorskiej.

9. Podsumowanie

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska jest **oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego** identyfikacji źródeł emisji tlenków azotu w kopalni rud miedzi, w postaci opracowania oryginalnej, autorskiej metody pomiaru stężeń tlenków azotu. Stanowi również **oryginalny wkład w rozwój metod oceny środowiska atmosfery kopalnianej dla poprawy bezpieczeństwa pracy w zakresie czynników szkodliwych dla zdrowia załogi**. Opracowana metodyka badawcza obejmująca analizę i dobór metod chemicznych w określaniu szerokiego zakresu stężeń NOx w środowisku kopalnianym, opracowanie metodyki pomiarowej w celu weryfikacji opracowanej metody oraz szeroka analiza statystyczna wyników świadczą o umiejętności mgr inż. Aleksandry Banasiewicz w rozwiązywaniu problemu naukowego i potwierdzają możliwości samodzielnego prowadzenia prac naukowych. **Praca doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka**, szczególnie w obszarze emisji tlenków azotu w górnictwie podziemnym.

Na podstawie przeprowadzonej recenzji stwierdzam, że Doktorantka osiągnęła postawiony cel badawczy. Poziom merytoryczny rozprawy pomimo przedstawionych uwag krytycznych uważam, za bardzo dobry, a kompozycja treści rozprawy tworzy logicznie przemyślaną i spójną całość. **Oryginalność przeprowadzonych badań** jest wystarczającą podstawą do sformułowania wniosku końcowego.

10. Wniosek końcowy

Na podstawie przedstawionej przez mgr inż. Aleksandry Banasiewicz rozprawy doktorskiej pt.: *„Metoda identyfikacji i parametryzacji źródeł emisji tlenków azotu w wyrobiskach kopalń rud miedzi w aspekcie zapewnienia bezpieczeństwa pracy załogi dołowej”* stwierdzam, że **spełnia** ona warunki określone w art. 187 ust. 1 i 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz.U. z 2024 r., poz. 1571) i wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie Doktorantki do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktorskiego.

Jednocześnie wnoszę o wyróżnienie rozprawy doktorskiej.

Uzasadnienie:

1) Wysoki poziom merytoryczny pracy

O wartości naukowej rozprawy świadczy identyfikacja źródeł emisji NOx w badanym oddziale wydobywczym, obejmująca zarówno źródła technologiczne (74% – maszyny górnicze z napędem spalinowym, 14% – materiały wybuchowe), jak i źródło naturalne, związane z emisją z górotworu i procesami utleniania azotu (12%). Cennym uzupełnieniem są opracowane modele prognostyczne stężeń NOx w spalinach silników, które mogą mieć bezpośrednie zastosowanie praktyczne przy wyznaczaniu zapotrzebowania na strumienie powietrza wentylacyjnego w rejonach eksploatacyjnych.

2) Oryginalność pracy

O oryginalności pracy decyduje opracowana metoda identyfikacji jakościowej i ilościowej źródeł emisji tlenków azotu w podziemnych kopalniach rud miedzi. Autorska metoda MONOKS, oparta na spektrofotometrii, została zwalidowana w warunkach laboratoryjnych, na hamowni silnikowej oraz w rzeczywistych warunkach kopalni podziemnej. Na szczególne podkreślenie zasługuje zaplanowanie i realizacja badań porównawczych z wykorzystaniem analizatora gazów spalinowych typu PEMS oraz wprowadzenie współczynnika zmienności stężeń NO i NO₂ przy zmiennym obciążeniu silnika, co stanowi oryginalny wkład Doktorantki.

3) Wysoka wartość aplikacyjna i wdrożeniowa wyników

Rozprawa ma również wysoką wartość aplikacyjną i wdrożeniową, wynikającą z możliwości prognozowania emisji tlenków azotu oraz wskazania kierunków ich redukcji, w tym z wykorzystaniem metod fotokatalitycznych. Praca ma charakter interdyscyplinarny, łączy bowiem zagadnienia z zakresu analizy chemicznej, metrologii, statystyki, uczenia maszynowego, aerologii górniczej oraz górnictwa rud miedzi. Opracowane rozwiązania stanowią oryginalny i istotny wkład w rozwój metod oceny środowiska atmosfery kopalnianej i mogą w istotny sposób przyczynić się do poprawy bezpieczeństwa pracy w górnictwie podziemnym.

