

Katowice, 29.09.2025r.

Dr hab. inż. Rafał Burdzik, prof. PŚ
Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej
Politechnika Śląska
40-019 Katowice
Ul. Krasińskiego 8

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr. inż. Bartłomieja Ziętka
pt.

„Metody analizy danych z systemów o architekturze Internetu Rzeczy i przetwarzania w chmurze na potrzeby monitorowania procesów technologicznych pozyskiwania rudy miedzi”

Podstawą opracowania niniejszej recenzji jest pismo nr RDND08/148/2025 z dnia 26.06.2025 r. Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej dr. hab. inż. Roberta Króla, prof. uczelni.

Recenzja została opracowana w odniesieniu do następujących aktów prawnych:

- Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2022 r. poz. 574 z późn. zm.).

1. Ocena aktualności tematu rozprawy oraz poprawności sformułowanych celu i hipotezy

Dynamiczny rozwój technologii informacyjnych, systemów pomiarowych, systemów przetwarzania danych na dużą skalę oraz powszechnego dostępu do znacznych mocy obliczeniowych uzasadniają konieczność pogłębionych analiz możliwości zastosowania nowych rozwiązań technologicznych w działalności górniczej, które mogą zostać poddane transformacji cyfrowej, aby wykorzystać nowe, dostępne szanse w tym zakresie. Niemniej jednak działalność górnicza cechuje się

znacznym stopniem złożoności. Powoduje to trudności we wdrażaniu tego typu rozwiązań, które są jednak należy uznać za konieczne i kluczowe dla dalszego rozwoju przemysłu wydobywczego oraz zwiększenia produktywności pracy. Ze względu na wielkość kopalni, różnorodność stosowanych technologii i maszyn, liczbę pracowników zatrudnionych pod ziemią, jakość generowanych danych typu Big Data oraz charakter ich zmienności, konieczne staje się stworzenie jednolitego schematu umożliwiającego wdrożenie wielu nowych źródeł pomiarowych do istniejących procesów.

Monitorowanie procesów technologicznych stanowi kluczowy element zapewnienia ciągłości pracy kopalń. Obecny, znaczący rozwój technologii pomiarowych, możliwości akwizycji sygnałów oraz eksploracji procesów stanowi podstawę dla wielu nowych inicjatyw związanych z dogłębnym zrozumieniem procesów wydobywania rudy miedzi. Główne wyzwania współczesnego przemysłu surowcowego obejmują identyfikację, optymalizację efektywności procesów oraz poprawę bezpieczeństwa pracowników zatrudnionych pod ziemią.

W ramach zrealizowanych badań Autor opracował propozycję zastosowania metod analizy danych z systemów z architekturą Internetu Rzeczy (IoT) i Cloud Computing (CC) do monitorowania procesów technologicznych wydobywania rudy miedzi oraz koncepcję integracji systemów pomiarowych umieszczonych na platformie kołowego robota inspekcyjnego, służących do badania warunków środowiskowych wyposażonego w system Lidar, umożliwiającego budowę precyzyjnej mapy wyrobisk i integrację z systemem operacyjnym robota. Dodatkowo zaproponowano nowe procedury monitorowania parametrów środowiskowych (pomiarów gazów niebezpiecznych), a także wdrożenie systemów mechatronicznych do modelowania 3D wyrobisk podziemnych.

Taki zakres badań oraz adaptacja technologii robotycznych do wymagań górnictwa podziemnego oraz analiza długookresowych danych procesów wydobywania rudy miedzi z wykorzystaniem Cloud Computing może istotnie przyczynić się do zwiększenia bezpieczeństwa pracowników dołowych oraz efektywności produkcji i stanowi bardzo innowacyjne podejście.

Problematyka pracy nawiązuje także do rosnących zagrożeń cyberbezpieczeństwa, które wzrastają wraz z ogromnym rozwojem informatyki i jej zastosowaniem w coraz nowszych obszarach. Obecnie zabezpieczenie infrastruktury cyfrowej jest często traktowane na równi z zabezpieczeniem infrastruktury fizycznej przedsiębiorstwa. Zmiany te dotyczą także branży górniczej. Systemy informatyczne nigdy nie będą w pełni odporne na zagrożenia cybernetyczne. Jednak najbardziej racjonalnym podejściem jest ograniczanie ryzyka i zapewnianie bezpieczeństwa kluczowych komponentów za pomocą odpowiednich technik. W tym celu należy zastosować podejście umożliwiające ocenę ryzyka.

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska poświęcona jest problematyce analizy danych z systemów o architekturze Internetu Rzeczy i przetwarzania w chmurze na potrzeby monitorowania procesów technologicznych pozyskiwania rudy miedzi. Wpisuje się to w aktualne wyzwania naukowe i techniczne dotyczące doskonalenia systemów monitorowania procesów technologicznych oraz czynników zagrożeń w przemyśle górniczym.

Tematyka rozprawy doktorskiej obejmuje zagadnienia związane z prototypowaniem układów pomiarowych na potrzeby wykorzystania w środowisku górniczym oraz przetwarzaniu i analizie zebranych sygnałów w celu monitorowania stanu środowiska, maszyn i parametrów pracy wybranych procesów technologicznych. Co warto podkreślić Autor przedstawił także koncepcję implementacji opracowanych rozwiązań. **Biorąc pod uwagę aktualne tendencje związane z informatyzacją i cyfryzacją procesów oraz zarządzania zintegrowanego w oparciu o rzeczywiste dane, zakres i problematykę rozprawy doktorskiej należy uznać za aktualne.** Warto podkreślić, że tematyka podjęta w rozprawie jest bardzo przydatna i uwzględnia tendencję cyfryzacji kopalni. Przedmioty i obiekty badań są bezpośrednio powiązane z procesami wydobywczymi w kopalni podziemnej. Wybrane maszyny (wiertnice, kotwiarki), procesy technologiczne (transport urobku, wiercenie/kotwienie skał) oraz środowisko podziemne (z obecnością gazów niebezpiecznych) stanowią kluczowe obszary badawcze w przemyśle wydobywczym. Biorąc pod uwagę poruszaną w rozprawie problematykę oraz obiekty i przedmioty

badan, a takze obszar implementacji opracowanych rozwiazan jednoznacznie nalezy stwierdzic, ze **tematyka oraz zakres rozprawy pozwala zakwalifikowac ja do dyscypliny naukowej Inzynieria Srodowiska, Gornictwo i Energetyka.**

Pan mgr inż. Bartłomiej Ziętek zaproponował nowe urządzenia pomiarowo-kontrolne lub metody bądź procedury pomiarowe oraz dedykowane metody przetwarzania danych. **W tym kontekście temat rozprawy należy uznać za aktualny, interesujący poznawczo i o dużym znaczeniu uytlitarnym.**

W dysertacji sformulowano następujące hipotezy badawcze, które przedstawiono w rozdziale drugim. Autor sformulował następujące hipotezy badawcze:

- 1) Dzięki wykorzystaniu zaawansowanych systemów pomiarowych i transmisji danych (opartych na Internecie Rzeczy) oraz zaawansowanego przetwarzania i analizy danych (opartych na technologii Cloud Computing) możliwe jest opracowanie systemu wspomagania decyzji w celu optymalizacji pracy maszyn górniczych oraz poprawy bezpieczeństwa górników;*
- 2) W celu określenia potencjału podejścia z wykorzystaniem technologii IoT w przemyśle wydobywczym zidentyfikowano szereg procesów technologicznych oraz rutynowych procedur realizowanych w kopalni podziemnej;*
- 3) Uwzględniając wielkość kopalni podziemnej, stosowaną technologię wydobywania, liczbę wykorzystywanych maszyn, liczbę górników pracujących pod ziemią, jakość danych oraz charakter ich zmienności, zasadne jest zastosowanie nowoczesnych, skalowalnych i efektywnych procedur analitycznych;*
- 4) Hybrydowa architektura danych w chmurze może pomóc w przewyżczeniu ograniczeń środowiska górniczego, biorąc pod uwagę potrzebę niezawodnych przepływów danych oraz efektywnego wykorzystania zagregowanych zasobów big data.*

Hipotezy 1, 3 i 4 mają charakter tez naukowych. Zaś hipoteza 2 ma raczej charakter ogóły i informacyjny.

Co prawda Autor nie sformulował jednoznacznie celu rozprawy doktorskiej jednak określił (str. 11), że „w celu potwierdzenia powyższych założeń zaproponowano

zastosowanie architektury systemu opartej na chmurze. Dzięki wykorzystaniu najnowszych technologii analitycznych w ramach jednej wspólnej architektury możliwe jest zarządzanie kluczowymi elementami dostarczania oprogramowania dla rozproszonego systemu przetwarzania danych zarówno na poziomie brzegowym, jak i w sposób scentralizowany z użyciem zasobów chmurowych (CR).”. Można to zinterpretować jako właściwy cel pracy.

Biorąc pod uwagę dużą złożoność procesów technologicznych w górnictwie podziemnym rud miedzi oraz wielowymiarowość i różnorodność danych pomiarowych, opracowanie nowych metod analizy danych z systemów o architekturze Internetu Rzeczy i przetwarzania w chmurze na potrzeby monitorowania procesów technologicznych pozyskiwania rudy miedzi jest wysoce uzasadnione. **Dlatego uważam, że hipotezy badawcze są poprawnie sformułowane i mają charakter twórczy.**

2. Struktura i charakterystyka rozprawy

Treść opiniowanej rozprawy doktorskiej mgr. inż. Bartłomieja Ziętka zawiera się na 190 stronach, podzielonych na 9 rozdziałów zasadniczych. Ponadto zamieszczono wykaz, rysunków, tabel i ważniejszych oznaczeń oraz skrótów, a także bibliografię. Autor przedstawił także listę 7 publikacji współautorskich oraz 4 publikacji w materiałach konferencyjnych. Spis literatury składa się aż z 247 pozycji, niestety nieposortowanych alfabetycznie. W rozprawie zamieszczono streszczenia w języku polskim i angielskim.

Kolejne rozdziały odzwierciedlają logiczne powiązanie całości rozprawy. Struktura rozprawy jest przejrzysta i spójna.

W rozdziale pierwszym Autor wprowadza czytelnika w tematykę rozprawy doktorskiej, charakteryzuje przebieg procesów produkcyjnych wydobywania rudy miedzi oraz wskazując na problemy oraz możliwości związane z rozbudową systemów pomiarowo-kontrolnych. Jako rozwiązanie wskazuje metody analizy danych z systemów z architekturą Internetu Rzeczy (IoT) i Cloud Computing (CC), które zostały wykorzystane w rozprawie doktorskiej. Rozdział kończy się na 8 stronie.

W rozdziale drugim przedstawiono hipotezy badawcze. Wskazano także procesy górnicze, które stanowią przedmiot badań. Do wybranych procesów górniczych zaliczono wiercenie pod roboty strzałowe oraz zabezpieczanie wyrobisk korytarzowych przy użyciu kotew stalowych. Ponadto uwzględniono niektóre procedury rutynowe, takie jak monitorowanie parametrów środowiskowych w wyrobiskach górniczych czy inspekcja systemów transportowych z wykorzystaniem platformy robotycznej. Reprezentacja powyższych procesów technicznych została wstępnie określona jako potencjał podejścia z zastosowaniem technologii IoT. Rozdział kończy się na 11 stronie.

W trzecim rozdziale przedstawiono aktualny stan wiedzy w zakresie szeroko pojętej cyfryzacji i cyberbezpieczeństwa sektora górniczego. Na zakończenie rozdziału Autor przedstawia swój wkład w rozwój dziedziny. Rozdział kończy się na 22 stronie.

W kolejnym rozdziale opisano wszystkie obiekty i procesy będące przedmiotami badań. Autor podkreśla, że zostały one wybrane w efekcie dyskusji z inżynierami górniczymi oraz oceny ich znaczenia dla działalności górniczej. Analizowane obiekty są bezpośrednio powiązane z procesami wydobywczymi w kopalni podziemnej. Wybrane maszyny (wiertnice, kotwiarki), procesy technologiczne (transport urobku, wiercenie/kotwienie skał) oraz środowisko podziemne (z obecnością gazów niebezpiecznych) stanowią kluczowe obszary badawcze w przemyśle wydobywczym. Ponadto, aby umożliwić praktyczne wykorzystanie proponowanych rozwiązań IoT opisano również podejście związane z odpornością systemów na zagrożenia cyberbezpieczeństwa. Rozdział kończy się na 40 stronie.

W rozdziale piątym szczegółowo opisano metody oraz urządzenia pomiarowe. Z uwagi na aplikacyjny i utylitarny charakter badań należy uznać ten rozdział za jeden z najbardziej istotnych w rozprawie doktorskiej. Dla każdego obiektu technicznego zaprezentowano kompleksowy opis techniczny, obejmujący zarówno specyfikację sprzętową, jak i dedykowane oprogramowanie opracowane na potrzeby realizacji zadań związanych z akwizycją danych. Dodatkowo zaproponowano usprawnienia umożliwiające skalowalne wdrażanie rozwiązań sprzętowych i programowych

w architekturach rozproszonych z wykorzystaniem usług chmurowych oraz dedykowanej aplikacji w systemie Android. Na zakończenie przedstawiono metodykę pomiarową, uwzględniającą ograniczenia środowiskowe, technologiczne oraz sprzętowe. Rozdział kończy się na 74 stronie.

Rozdział szósty stanowi kolejną istotną część opiniowanej rozprawy, ponieważ zawiera pełen opis opracowanych metod przetwarzania sygnałów i danych pomiarowych oraz wyniki ich zastosowania dla przeprowadzonych eksperymentów. Pan mgr inż. Bartłomiej Ziętek kolejno opisał:

- metodę przetwarzania danych dotyczących zużycia prądu elektrycznego przez wiertnicę,
- procedurę analizy danych dotyczących kotwienia stropu z wykorzystaniem technologii laserowej,
- metodę przetwarzania danych dotyczących pomiaru zużycia prądu elektrycznego w oddziale górniczym,
- metodykę przetwarzania danych dotyczących pomiaru gazów niebezpiecznych,
- metody przetwarzania danych z czujników zintegrowanych robota inspekcyjnego dla systemów transportu górniczego,
- metodykę oceny ryzyka i cyberbezpieczeństwa w przedsiębiorstwie górniczym.

Rozdział kończy się na 95 stronie.

W rozdziale siódmym Autor przedstawia kolejne wyniki zastosowania opracowanych metod pomiarowo-analitycznych dla przyjętych zgodnie z założeniami eksperymentów badawczych stanowiących reprezentatywne istotne procesy główne i towarzyszące w podczas wydobywania rudy miedzi. **Opracowany zbiór metod i procedur przetwarzania danych agregowanych podczas określonych istotnych eksperymentów pomiarowych w warunkach in situ oraz otrzymane wyniki pozwalają stwierdzić, że zaproponowane metody mają znaczny potencjał aplikacyjny.** Rozdział kończy się na 136 stronie.

W rozdziale ósmym przedstawiono koncepcję architektury przetwarzania danych dostosowanej do specyficznych potrzeb przemysłu górniczego. Główny nacisk położono na prezentację kluczowych funkcji systemu oraz umiejscowienie ich w kontekście wykorzystania zasobów i usług chmurowych. Proponowaną architekturę można uznać za wstępny zestaw wymagań do opracowania finalnych kompleksowych rozwiązań systemowych dla rozproszonych urządzeń IoT oraz do prowadzenie dalszych eksperymentów uczenia maszynowego do potencjalnych zastosowań. Rozdział kończy się na 148 stronie.

Ostatni 9 rozdział rozprawy to podsumowanie określenie kierunku przyszłych badań. Doktorant podkreśla, że dane wykorzystane w pracy pochodzą w większości z autorskich urządzeń pomiarowych opracowanych dla wybranych procesów górniczych. Uzyskane wyniki badań potwierdzają możliwość wykorzystania zaproponowanych systemów pomiarowych opartych na IoT do oceny procesów górniczych. Rozdział kończy się na 152 stronie.

W celu przygotowania rozprawy doktorskiej Autor wykorzystał 247 pozycje literatury, które zostały prawidłowo dobrane i umożliwiły holistyczny przegląd zagadnień. Biorąc pod uwagę konkretny problem naukowy należy stwierdzić, że dobór literatury jest właściwy. Potwierdza to dojrzałość i świadomość naukową Pana mgr. inż. Bartłomieja Ziętka.

Najważniejszymi rozdziałami recenzowanej rozprawy doktorskiej są rozdziały od 5 do 8, w których Autor opisał badania, przedstawił opracowane metody analizy danych oraz przykłady implementacji. Pozwala to na pozytywną ocenę części badawczej i analitycznej dysertacji doktorskiej.

Reasumując należy stwierdzić, że Autor przeprowadził cykl badań i poprawnego wnioskowania, co umożliwiło zweryfikowanie sformułowanych hipotez badawczych i w rezultacie osiągnięcie celu pracy. Dzięki opracowaniu dedykowanych metod analitycznych oraz przeprowadzeniu eksperymentów w warunkach in situ udowodniono duży potencjał aplikacyjny i przydatności w wielu obszarach wspomagania procesów technologicznych i bezpieczeństwa

w kopalni oraz dodatkowo oszacowano ryzyka związane z cyberbezpieczeństwem systemów bazujących na architekturze Internetu Rzeczy i przetwarzania w chmurze.

3. Ocena wartości naukowej i wdrożeniowej rozprawy doktorskiej

Merytoryczna ocena opiniowanej rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Bartłomieja Ziętka jest jednoznacznie pozytywna. Podjęta tematyka jest ważna i ma charakter interdyscyplinarny oraz aplikacyjny. Pod względem rozważań teoretycznych i zastosowań praktycznych wnosi wkład w dyscyplinę naukową inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka, zaś jej użyteczny charakter może znaleźć zainteresowanie w obszarach inżynierii mechanicznej, eksploatacji i diagnostyki technicznej. Tak szeroki obszar oddziaływań wynika z aktualności poruszanej tematyki oraz znaczenia użytecznego, które generuje zainteresowanie w wielu obszarach w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych. Opiniowana rozprawa ma silnie badawczy charakter, co podnosi jej potencjał aplikacyjny.

Doktorant przedstawia opis problemu badawczego oraz dedykowane rozwiązanie, wykorzystujące proste metody matematyczne. Obszary te charakteryzują się inną specyfiką, co wymagało od Doktoranta indywidualnego podejścia i dogłębnej analizy oraz zrozumienia podstaw pracy w kopalni oraz obszernego przeglądu literaturowego.

Jako główne problemy badawcze a zarazem osiągnięcia należy wskazać:

- Opracowanie urządzenia pomiarowego i algorytmów przetwarzania danych w celu określenia fazy wiercenia odpowiadającej pracy wiertnicy. Zamiast wykorzystania danych ciśnieniowych, przedstawiono nieinwazyjną metodę pomiaru chwilowego prądu elektrycznego za pomocą zacisków prądowych. W porównaniu z metodą obecnie stosowaną, opartą na analizie zmian ciśnienia w podsystemach hydraulicznych wiertnicy, nowa metoda jest łatwiejsza w interpretacji i dokładnie odzwierciedla rzeczywistą zmienność procesu.
- Wykorzystanie danych z dalmierza laserowego umożliwia analizę procesu kotwienia (bolting). Dzięki pośredniemu pomiarowi odległości od stropu

(pośrednia metoda określania głębokości otworu stropowego) możliwe jest identyfikowanie cykli kotwienia. Z wykorzystaniem algorytmów uczenia maszynowego bez nadzoru można automatycznie rozróżniać podcykle kotwienia z użyciem kotew skalnych, co umożliwia automatyczne wykrywanie przeprowadzonych cykli kotwienia.

- Dzięki pomiarom prądu na odcinku górniczym możliwe jest wykrywanie działających maszyn i urządzeń na podstawie analizy w dziedzinie czasu i częstotliwości. Wykorzystując zbiór danych z testu przełączania urządzeń elektrycznych, przygotowano zestaw uczący dla algorytmu klasyfikacyjnego, a momenty pracy poszczególnych maszyn i urządzeń zostały skutecznie wyodrębnione przy użyciu klasyfikatora Random Forest (RFC).
- Integracja czujnika gazu z aplikacją mobilną umożliwia pracownikom kopalni ocenę warunków środowiskowych w czasie rzeczywistym. Dzięki kalibracji programowej niskobudżetowych czujników gazu możliwe jest dobre przybliżenie tymczasowych zmian w środowisku i ostrzeganie użytkowników o potencjalnych zagrożeniach gazowych.
- Wdrożenie mechanizmu obrotowego na bazie radaru Lidar w systemie operacyjnym robota inspekcyjnego zwiększa gęstość obrazowania i jakość uzyskanych danych przestrzennych. Dzięki temu możliwe jest generowanie szczegółowej mapy wyrobiska górniczego w celu inspekcji jego stanu oraz infrastruktury (przenośniki, taśmy, kształt korytarzy itp.).
- Przeprowadzono analizę ryzyka cybernetycznego dedykowaną dla przemysłu górniczego, uwzględniając poziom integracji z systemami cyfrowymi. Zaproponowano metodę analizy ryzyka wykorzystującą wskaźniki pochodzące z wiedzy eksperckiej i logiki rozmytej, co pozwala na systematyzację potencjalnych zagrożeń cybernetycznych w kontekście rozwoju cyfrowej kopalni.
- Zebrano wszystkie wymagania oraz ograniczenia dotyczące rozwoju technologii IoT i wdrażania takich systemów w przemyśle górniczym oraz zaproponowano koncepcję przyjęcia architektury systemu chmurowego. Obejmuje ona kilka

wspólnych przepływów pracy, dostosowanych do potrzeb wynikających z rodzaju projektowanych urządzeń przedstawionych w pracy. Ze względu na ograniczenia lokalnej infrastruktury możliwe jest wdrożenie wspólnego zarysu do zarządzania danymi pochodzącymi z urządzeń IoT w sposób centralny.

Doktorant wskazał, że kierunki przyszłych badań powinny koncentrować się głównie na zwiększeniu poziomu dojrzałości technologicznej. Większość przedstawionych podejść działała na poziomie proof of concept. Dodanie nowych funkcjonalności, wdrożenie zautomatyzowanych przepływów pracy oraz zarządzanie przepływem danych będą głównym celem dalszych działań.

Praca otwiera nowe możliwości w obszarze badania procesów technologicznych maszyn i urządzeń górniczych oraz ich integracji z zasobami chmurowymi, takich jak:

- opracowanie nowych metod przetwarzania danych w celu oceny nieprawidłowego zachowania operatora maszyny lub urządzeń wiertniczych,
- optymalizacja metod akwizycji danych pomiarowych przy użyciu czujników laserowych wspomagających procesy kotwienia w celu identyfikacji cykli kotwienia,
- rozszerzenie funkcjonalności zestawu pomiarowego środowiska i automatyzacja kalibracji oprogramowania dla czujników,
- rozwój autonomicznych misji związanych z inspekcją robota górniczego,
- systematyzacja procesu zarządzania oprogramowaniem dla wdrożeń IoT na dużą skalę w kopalniach,
- pogłębienie badań nad ryzykiem cybernetycznym w kontekście adaptacji zasobów chmurowych i ciągłości działania zdigitalizowanej firmy górniczej.

Zdaniem autora, w kontekście obecnych trendów cyfryzacji przemysłu możliwe jest opracowanie jednej wspólnej architektury obejmującej specyficzne potrzeby przemysłu górniczego. W związku z dużą różnorodnością procesów technologicznych oraz typów agregowanych danych, modułarne podejście do utrzymania zasobów cyfrowych jest niezbędne. W świetle nadchodzącej cyfryzacji przemysłu górniczego

konieczne jest odpowiednie umiejscowienie zasobów chmurowych w krajobrazie architektury systemów IT. Pozwoli to na efektywne przetwarzanie dużych zbiorów danych oraz ujednolicenie zarządzania infrastrukturą i przepływami danych. Dzięki wykorzystaniu usług chmurowych w różnych modelach klient końcowy – kopalnia – może skupić się na zarządzaniu jedynie wybranymi aspektami infrastruktury, platformy i danych, co umożliwi koncentrację na celach biznesowych i tworzy nowe możliwości, niedostępne przy rozwiązaniach lokalnych.

Przedstawione w pracy osiągnięcia potwierdzają wartość naukową dysertacji doktorskiej i umożliwią jej pozytywną ocenę.

Pan mgr inż. Bartłomiej Ziętek udokumentował w rozprawie, że opracowane metody analiz (efekt naukowy) mogą być implementowane do procesów technologicznych i środowiskowych w kopalni.

Reasumując ocena merytoryczna całości rozprawy doktorskiej jest jednoznacznie pozytywna.

4. Uwagi i zapytania

Staranna lektura rozprawy prowadzi do następujących uwag i pytań:

1. Niektóre rysunki mają bardzo niską jakość (przykładowo rys. 1 i 2).
2. Czy przedstawiony zbiór rozwiązań dedykowanych wybranym procesom w górnictwie podziemnym rud miedzi można uogólnić do przypadku całego sektora wydobywczego?
3. Maszyny górnicze pracują w bardzo trudnych i zmiennych warunkach. Czy podczas eksperymentów badawczych uwzględniono wpływ tych czynników?
4. Czy weryfikowano zgodność informacji zawartych w sygnale prądowym wiercenia odpowiadającej pracy wiertnicy np. z przebiegiem zmian ciśnienia w układzie hydraulicznym?
5. Czy zaproponowana metoda z wykorzystaniem dalmierza laserowego do analizy procesu kotwienia (bolting) jest odporna na błędy i warunki pomiarowe często

występujące przy pomiarach pośrednich odległości na podstawie czasu odbicia wiązki laserowej?

6. Jaka jest fizyczna interpretacja i uzasadnienie zastosowania analizy STFT do przetwarzania danych dotyczących pomiaru prądu elektrycznego w wyrobisku górniczym (rozdział 6.3)?
7. Dlaczego w opracowanej metodyce oceny ryzyka cyberbezpieczeństwa zastosowano teorię logiki rozmytej oraz czy analizowano inne podejścia?
8. Na jakiej podstawie dobrano wartości prawdopodobieństwa wystąpienia zdefiniowanych scenariuszy oraz ich konsekwencje (Tabele 13 i 14)?
9. Jak wskazuje Autor wykorzystanie technologii IoT w rozwoju systemów pomiarowych stanowi kluczowy element pozyskania wszystkich zastosowanych źródeł danych. W oparciu o oryginalne metody przetwarzania danych możliwe jest przekształcenie tych nowych źródeł informacji w wiedzę. Tworzy to podstawowe warstwy nowoczesnej architektury przetwarzania Big Data w sposób powtarzalny, podatny na błędy, a jednocześnie efektywny kosztowo dzięki zaletom technologii Cloud Computing. Czy stwierdzenie „podatny na błędy” jest błędem edytorskim, czy uzasadnionym krytycznym stwierdzeniem?
10. Czy urządzenia pomiarowe opisane w rozdziale 5.3 są opracowaniem projektowym Doktoranta?
11. Czy przeprowadzono testy i walidacje zastosowanego systemu z wykorzystaniem radarów Lidar w warunkach podziemnej eksploatacji górniczej?

Pozostałe niewielkie i nieliczne uwagi językowe, gramatyczne i redakcyjne zaznaczyłem na otrzymanym egzemplarzu i nie mają one istotnego znaczenia dla wartości merytorycznej rozprawy doktorskiej.

5. Konkluzja

Opracowane metody i koncepcje zaprezentowane w recenzowanej rozprawie doktorskiej wskazują na duży potencjał w zakresie rozwoju nowoczesnych metod akwizycji i przetwarzania danych z maszyn górniczych oraz środowiska kopalni podziemnej. Odpowiednia analiza tego typu danych zapewni rozwój specjalistycznej

wiedzy dotyczącej m.in. procesów technologicznych (np. wiercenia, kotwienia, monitorowania zagrożeń naturalnych) w kopalniach rud miedzi. Ponadto, monitorowanie rozbudowanej infrastruktury podziemnej stanie się bardziej osiągalne dzięki danym ze skanowania laserowego, umożliwiającym tworzenie cyfrowych bliźniaków kopalni. Dzięki temu możliwa będzie lokalizacja górników (np. w akcjach ratowniczych) oraz monitorowanie zagrożeń gazowych w oparciu o przestrzenną mapę kopalni.

Opiniowana rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Bartłomieja Ziętka stanowi komplementarne ujęcie problematyki związanej z metodami analizy danych z systemów o architekturze Internetu Rzeczy i przetwarzania w chmurze na potrzeby monitorowania procesów technologicznych pozyskiwania rudy miedzi. Realizacja określonych etapów pracy oraz uzyskane wyniki potwierdzają poprawność przyjętej metodyki postępowania zmierzającej do udowodnienia sformułowanych hipotez i opracowania użytecznych algorytmów operacyjnych. Pozwala to na wnioskowanie o umiejętności i dojrzałości Pana mgr. inż. Bartłomieja Ziętka w prowadzeniu badań naukowych i prac rozwojowych.

Przedstawione uwagi nie mają większego wpływu na fakt zrealizowania przez Autora zadania naukowo-badawczego. Do rozwiązania zagadnienia Doktorant wykazał się niezbędną wiedzą oraz umiejętnościami.

Całość rozprawy pokazuje logiczny i prawidłowy proces postępowania, charakterystyczny do prowadzenia badań naukowych oraz zawiera dodatkowe elementy prac rozwojowych i wdrożeniowych. Pozwala to na wnioskowanie o umiejętności i dojrzałości Pan mgr. inż. Bartłomieja Ziętka w planowaniu i realizacji eksperymentów badawczych oraz koordynowaniu prac rozwojowych. **Należy stwierdzić, że opiniowana rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie przez Doktoranta problemu naukowego i świadczy o ogólnej wiedzy teoretycznej oraz umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej w dyscyplinie naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Dodatkowo udokumentowane w rozprawie wyniki badań w warunkach in situ wskazują na duży potencjał rozwojowy oraz potwierdzają zasadność zaproponowanej koncepcji wdrożenia architektury systemu chmurowego w przemyśle górnictwym.**

Opiniowana rozprawa doktorska prezentuje oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników badań we wskazanych obszarach działalności górniczej.

Przedstawione w opinii uwagi nie mają istotnego wpływu na fakt samodzielnego zrealizowania przez Doktoranta zadania naukowo-badawczego-rozwojowego.

Uważam, że opiniowana rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Bartłomieja Ziętka pt. „Metody analizy danych z systemów o architekturze Internetu Rzeczy i przetwarzania w chmurze na potrzeby monitorowania procesów technologicznych pozyskiwania rudy miedzi” spełnia wymogi określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2022 r. poz. 574 z późn. zm.). Może zatem służyć jako podstawa do rozpatrzenia wniosku o nadanie Kandydatowi stopnia doktora nauk technicznych. W związku z powyższym stawiam wniosek o dopuszczenie Pana mgr. inż. Bartłomieja Ziętka do publicznej obrony opiniowanej rozprawy, jako dzieła w zakresie dyscypliny naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.