

Prof. dr hab. inż. Witold Byrski,

Kraków, 10.10.2023

Katedra Automatyki i Robotyki,  
Wydział Elektrotechniki, Automatyki,  
Informatyki i Inżynierii Biomedycznej,  
AGH, Kraków.  
wby@agh.edu.pl

## **RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

**mgr inż. Oliwii Krauze**

**pt. Measurements, modelling and control of flow in grinding installation  
with electromagnetic mill**

opracowana dla Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i  
Technologie Kosmiczne, Politechniki Śląskiej (PŚ)

Niniejsza Recenzja została wykonana na zlecenie Przewodniczącej Rady Dyscypliny AEEiTK, PŚ. Recenzję wykonano w oparciu o **Ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce**, z dnia 20 lipca 2018 roku, art.186, 187, 190.

W wyżej wymienionej Ustawie w Rozdziale 2 (Stopień doktora), umieszczony jest: Art. 187, który precyzuje wymagania dotyczące rozprawy doktorskiej

- 1. Rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej.*
- 2. Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonanie artystyczne.*
- 3. Rozprawę doktorską może stanowić praca pisemna, w tym monografia naukowa, zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych, praca projektowa, konstrukcyjna, technologiczna, wdrożeniowa lub artystyczna, a także samodzielna i wyodrębniona część pracy zbiorowej.*
- 4. Do rozprawy doktorskiej dołącza się streszczenie w języku angielskim, a do rozprawy doktorskiej przygotowanej w języku obcym również streszczenie w języku polskim. W przypadku gdy rozprawa doktorska nie jest pracą pisemną, dołącza się opis w językach polskim i angielskim.*

### **1. Cel, zakres i teza recenzowanej rozprawy**

Praca pt.: *Measurements, modelling and control of flow in grinding installation with electromagnetic mill* (Pomiary, modelowanie i sterowanie przepływem w instalacji mielącej z młynem elektromagnetycznym) poświęcona jest algorytmom pomiarowym i algorytmom sterowania zastosowanych w ramach badań i eksperymentów na stanowisku jakim był młyn elektromagnetyczny zbudowany w Katedrze Pomiarów i Systemów Sterowania, Wydziału Automatyki, Elektroniki i Informatyki, Politechniki Śląskiej w ramach projektu SYSMEL. Konstrukcja tego młyna bez części ruchomych charakteryzuje się tym, że w odróżnieniu do typowych młynów (np. kulowych) obudowa młyna pozostaje w bezruchu, a mielenie odbywa się w komorze roboczej, wewnątrz której wraz z materiałem mielonym poruszają się

chaotycznie ferromagnetyczne pręty (mielniki) o niewielkich rozmiarach (np. 1.5 cm i 2 mm średnicy) zgodnie z ruchem wirowego pola elektromagnetycznego, wytworzonego przez wzbudnik składający się z sześciu promieniowo rozmieszczonych elektromagnesów. Komora może mieć postać zbiornika lub pionowej rury przepływowej, a mieszanka utrzymywana jest poprzez kontrolowany strumień powietrza dostarczany od dołu. Oprócz lidera projektu (PŚ) w wykonaniu małego prototypu takiego młyna wzięli udział również naukowcy z AGH (WGiG), Zakład Produkcyjny „ELTRAF” i firma „AMEplus” oraz NCBiR (współfinansowanie).

Ultra-drobne rozdrabnianie surowca ziarnistego (niemagnetycznego i już częściowo rozdrobionego) dla uzyskania cząstek o średnicy setnych części mm zależy od wartości indukcji magnetycznej wewnątrz komory, która utrzymuje mielniki wewnątrz komory i od wielkości przepływu powietrza.

Problemy naukowe związane z tym procesem wiążą się głównie ze zmniejszeniem jego energochłonności poprzez odpowiednie systemy sterowania ciągiem, w których wykorzystuje się metody analizy i syntezy układów sterowania. Sterowanie dozowaniem i recyklem ziaren oraz zmianami strumienia powietrza w transporcie pneumatycznym są istotą systemu. Problemem naukowo-inżynierskim jest też dobór pośrednich metod pomiarowych, gdy metody pomiaru bezpośredniego nie są możliwe.

Temat ten jest główną treścią przedstawionej pracy doktorskiej, a jego rozwiązanie ma na celu usprawnienie pracy układu mielenia na sucho w młynie elektromagnetycznym, przez zastosowanie pośrednich metod pomiarowych natężenia i jakości przepływu materiału. Przedstawiono modelowanie wybranych elementów systemu i opracowywanie algorytmów sterowania przepływem powietrza transportowego. Sformułowana w pracy naukowa teza, która powinna być udowodniona przyjęła postać:

**Algorytmy przetwarzania danych, w szczególności pomiary pośrednie i modelowanie w oparciu o eksperyment, pozwalają na monitorowanie i kontrolę pracy instalacji mielenia na sucho w młynie elektromagnetycznym.**

## **2. Układ pracy i jej zawartość**

Recenzowana praca liczy 208 stron i jest napisana w języku angielskim. Jej treść jest ujęta w 6 rozdziałach. Poniżej recenzent przedstawi skrótowo ich zawartość.

W Rozdziale 1, „Wstęp” opisano konstrukcję i zasadę działania młyna oraz przedstawiono tezę naukową pracy. W Rozdziale 2 „Pośrednie pomiary cech surowców” przedstawiono własności mielonego produktu oraz problemy i metody pomiarowe natężenia przepływu materiału, pomiaru wielkości cząstek i zawartości wilgoci. Przedstawiono wykorzystanie w tym celu metod wibracyjnych i akustycznych. Prace badawcze doprowadziły do niestandardowych rozwiązań np. czujników mierzących stopień wypełnienia komory w oparciu o dźwięk wydobywający się w trakcie pracy. Analiza w dziedzinie częstotliwości pozwoliła na zidentyfikowanie zależności charakterystyk częstotliwościowych i stopnia wypełnienia. Dla danego młyna potrzebna była kalibracja czujnika w zależności od rodzaju materiału i stopnia jego suchości. W Rozdziale 3 „Modele przepływu czystego powietrza” opisano statyczne i dynamiczne modelowanie przepływu powietrza wlotowego w procesie mielenia. Na efektywność procesu mielenia na sucho ma duży wpływ prędkość powietrza

transportowego i powietrza separacji. Od tych prędkości jak również od przepływów nadawy i powietrza dodatkowego zależy poziom wypełnienia komory roboczej. Opisano sposób pomiaru przepływu tego powietrza w różnych miejscach instalacji (tor mielenia i klasyfikacji), eksperymenty identyfikacyjne i sprzęt w nich zastosowany oraz modele straty ciśnienia. W rozdziale 4 „Symulacja przepływów powietrza” przedstawiono modelowanie i budowę symulatora przepływu powietrza nawiewanego, opartego na powyższych modelach wraz z procedurami jego projektowania i testowania. W rozdziale 5 „Sterowanie przepływem powietrza” przedstawiono hierarchiczny, warstwowy system sterowania instalacją rozdrabniającą wraz z układami regulatorów PI i problemami ich strojenia dla modeli MIMO i SISO w układzie otwartym i zamkniętym. W komputerowym systemie sterowania warstwa sterowania operatywnego, ma za zadanie optymalizację zużycia energii. W jedno-stronicowym Rozdziale 6 „Podsumowanie” krótko zebrano przegląd różnych zagadnień poruszanych w pracy, zwracając uwagę na wagę metodologii pomiarów pośrednich. Na koniec przedstawiono Bibliografię (118 pozycji).

Praca napisana jest starannie, oprócz powyżej opisanej struktury rozdziałów, zawiera Streszczenie, Spis treści, Listę rysunków, Listę tabel, Listę skrótów literowych, i Listę symboli. W osobnym rozdziale autorka przedstawiła swój wkład do badań nad tym procesem podczas pracy w zespole oraz listę autorskich i współautorskich publikacji. Lista zawiera artykuł samodzielny w czasopiśmie *Scientific Reports* 2023, 140 pkt MEiN i dwa artykuły współautorskie w *Sensors* 2021/2023 po 100 pkt MEiN. Prócz tego w skład listy wchodzi 6 referatów współautorskich na konferencjach międzynarodowych (ICCC-2016, MMAR-2016,2017, MEC-2019).

### **3. Dokładna analiza zawartości pracy - uwagi ogólne i szczegółowe**

Rozprawa ma charakter dokładnego projektu techniczno-naukowego opisującego konstrukcję i działanie młyna elektromagnetycznego oraz szczegółowe eksperymenty naukowe dotyczące pomiarów zmiennych procesowych i budowy charakterystyk statycznych i modeli dynamicznych wybranych podsystemów. Praca świadczy o szerokiej wiedzy praktycznej i teoretycznej doktorantki.

Zmienne procesowe występujące w badanym procesie mikromielenia materiału sypkiego w przeciwprądzie strugi powietrza, są trudne do pomiarów, a sam proces trudny do dokładnego modelowania matematycznego. Doktorantka pracująca w zespole podjęła się wykonania specjalizowanych torów pomiarowych oraz na tej podstawie opracowania charakterystyk statycznych i dynamicznych zachodzących zjawisk. Te charakterystyki były potrzebne do syntezy układów sterowania pracą tego procesu.

Jednym z ważniejszych podsystemów był tor pneumatyczny, W tym procesie oprócz pomiarów bezpośrednich takich jak prędkość powietrza, temperatura, wilgotność i ciśnienie dokonano szeregu pomiarów metodami pośrednimi, wykorzystując do tego pomiar innych wielkości fizycznych skorelowanych z wybraną wielkością badaną. Np. do oceny wielkości cząstek w materiale znajdującym się w komorze młyna lub ilości materiału oraz jego prędkości przepływu zaproponowano pomiar wibracji jakie wywołuje ten przepływ oraz pomiar efektów akustycznych jakie wtedy występują. Do pomiaru wilgotności materiału i produktu przetestowano pomiar absorpcji w podczerwieni oraz analizy wizyjnej.

Metody wibracyjne pomiaru pozwoliły pośrednio na estymację wielkości cząstek i wielkości przepływu i były one samodzielnie opracowywane i stosowane przez autorkę dysertacji. Ta metodyka pomiarowa była tematem pracy magisterskiej doktorantki (w 2015 r) i przez następne lata była z dobrym efektem modyfikowana i ulepszana umożliwiając publikację kolejnych rezultatów. Polegała ona na wykorzystaniu czułych akcelerometrów i pomiarów w dwóch osiach, a procedury obliczeniowe w domenie częstotliwości (jednostronna PSD) wykonano w środowisku LabVIEW. Wieloetapowe procedury umożliwiły usunięcie szumów pomiarowych, a w sygnale pomiarowym wyodrębniane były setki segmentów sygnału użytecznego i osobno zakłóceń, dla których zastosowano procedury PSD i FFT (w oknie Hanninga). Na rysunku 2.5 widać wyraźnie zależność odchylenia standardowego w dwóch osiach, tak w funkcji wielkości cząsteczki jak i w funkcji szybkości przepływu materiału. Tą zależność obserwuje się też dla indeksu mocy liczonego wzorem (2.1) względem czterech wybranych wielkości cząsteczek jak i względem wielkości masowego przepływu, jakkolwiek dla poprawnej estymacji tego ostatniego najpierw trzeba wyliczyć wielkość cząsteczek.

Dla estymacji rozmiarów cząsteczek jak i wielkości przepływu materiału te same eksperymenty zostały powtórzone, ale zamiast pomiarów wibracji przetestowano również metodę pomiarów dźwiękowych, zastępując czujnik akcelerometryczny mikrofonem pojemnościowym. Przebiegi częstotliwościowe PSD w funkcji różnych przepływów i różnych wielkości cząsteczek okazały się też rozróżnialne. Policzenie dla nich odchyleń standardowych okazało się też użyteczne. Również wykresy indeksu mocy dla metody akustycznej pozwalają rozróżnić wielkość cząsteczek jak i wielkość przepływu.

Tak więc wykazano możliwość użycia tylko pojedynczego czujnika dla estymacji dwóch niezależnych wielkości (rozmiar cząsteczek i przepływu materiału), choć potrzebna jest jego każdorazowa kalibracja dla różnych materiałów. Dla lepszej eliminacji zakłóceń autorka sugeruje użycie wielu takich czujników ulokowanych w różnych miejscach instalacji.

Innym omówionym przykładem zastosowania metod pośrednich w pomiarze wybranej wielkości fizycznej był bezkontaktowy pomiar wilgotności (do 5.5%) podawanego zmielonego surowca (ruda miedzi) jak i końcowego produktu mielenia (Rozdział 2.2). Takie eksperymentalne prace pomiarowe w ramach projektu SYSMEL prowadził zespół badawczy, w którym doktorantka też brała udział. Wykorzystywano do tego celu analizę obrazów termowizyjnych w podczerwieni, ale rezultaty nie wypadły zadawalająco. Lepsze wyniki dała analiza zwykłych kolorowych obrazów. Zanotowano różnice w intensywności i nasyceniu pikseli obrazowych w zależności od wilgotności próbki, dla różnych frakcji wielkościowych rudy. Dla tych zależności dokonano prób ich aproksymacji metodą najmniejszych kwadratów funkcjami liniowymi, kwadratowymi i sklejanymi. Te ostatnie wypadły najlepiej. Ogólnie w Rozdziale 2 zostały opisane wyniki dziesiątek eksperymentów pomiarowych i aproksymacyjnych za pomocą wielomianów różnych stopni.

W Rozdziale 3 doktorantka opisała metody sterowania, modelowania i identyfikacji ciśnienia i prędkości przepływu czystego powietrza do młyna (bez fazy mielenia), co umożliwiło budowę symulatora procesu przepływu powietrza. Identyfikacja stałych procesu została przeprowadzona dla różnych pozycji 3 elektrozaworów (tłumików powietrznych - *dampers*) w torze przepływu powietrza. Mierzone były temperatury, ciśnienia i przepływy powietrza. Przedstawiono dokładne statyczne modele fizyczne własności przepływu w różnych

wersjach (przepływ laminarny, turbulentny) z uwzględnieniem stałych fizycznych. Pozwoliło to na uzyskanie charakterystyk statycznych przepływu masowego powietrza. W dalszych badaniach zamodelowano też dynamikę zmian powietrza za pomocą prostych modeli liniowych inercyjnych pierwszego rzędu z opóźnieniem, drugiego rzędu z opóźnieniem i bez opóźnienia tworząc na podstawie odpowiedzi skokowych 3 modele SISO przepływów masowych lub ciśnień. Ich wstępną identyfikację przeprowadzono w oparciu o proste reguły analizy kształtu odpowiedzi skokowej dla wersji inercyjnej i oscylacyjnej, a dokładniejsze wartości zostały znalezione poprzez nieliniową procedurę numeryczną najmniejszych kwadratów. Uwzględniono również modelowanie strat ciśnienia na oporach pneumatycznych. Modele fenomenologiczne okazały się bardzo trudne do identyfikacji i ostatecznie do syntezy sterowania posłużono się prostymi modelami wejścia/wyjścia typu *black-box*.

W pracy zaprezentowano też wyniki podobnych badań i pomiarów przepływów w torach powietrznych, ale dla przypadku pracującego młyna (faza mielenia), które zostały wcześniej przeprowadzone przez innych uczestników zespołu.

Powyższe prace modelowe umożliwiły zbudowanie w ramach prac zespołowych specjalnego symulatora przepływu powietrza. Rozdział 4 pracy został poświęcony właśnie konstrukcji takiego symulatora przepływu powietrza w torach dolotowych w oparciu o opisane modele statyczne i dynamiczne. Danymi wejściowymi do modelu instalacji były żądane położenia trzech zaworów powietrza, a odpowiedzią były masowe przepływy powietrza w trzech rurach wlotowych oraz (ewentualnie) ciśnienia w tych samych miejscach. Symulator został zbudowany w środowisku MATLAB Simulink. Pozytywne testy potwierdziły prawidłowość pracy symulatora.

W Rozdziale 5 opisany został hierarchiczny układ sterowania wielowymiarowym obiektem MIMO, jakim jest młyn elektromagnetyczny. Taki dedykowany wielopoziomowy system z poziomami zarządzania, optymalizacji energetycznej, nadzoru i sterowania bezpośredniego został stworzony w ramach prac zespołowych Katedry Pomiarów i Systemów Sterowania PŚ. W kolejnych podrozdziałach opisano różne testowane w tym systemie koncepcje struktur sterowania młynem. Pierwszą, była koncepcja trzech niezależnych systemów SISO sterowania przepływami powietrza, których statykę i dynamikę opisano w Rozdziale 4. Przedstawiono testy symulacyjne działania z regulatorami PI strojonymi w oparciu o te modele. Dla zbadania odporności systemów w modelach podprocesów przyjęto trochę odchyłone parametry. Przetestowano 14 różnych reguł strojenia regulatorów PI znanych w literaturze z teorii regulacji. W kolejnych podrozdziałach zamieszczono testy innych struktur systemu sterowania z odseparowanymi pętlami regulacji, ze strukturą otwartą i modelami odwróconymi MIMO oraz z hybrydową strukturą z modelem odwróconym MIMO dla odsprężania oddziaływań skrośnych.

W Rozdziale 6 podsumowane zostały wszystkie wyniki jakie otrzymano w pracy, zwłaszcza te w których doktorantka miała główny udział. Należały do nich prace nad dobraniem zmiennych procesowych, które łatwo jest zmierzyć, a które są skorelowane ze zmiennymi procesowymi, których pomiar nie jest łatwy, a więc badania nad pośrednimi pomiarami ważnych wielkości opisujących surowiec – takich jak masowe natężenie przepływu, wielkość cząstek, wilgotność materiału. W oparciu o te pomiary przedstawiono uzyskane modele statyczne stanu ustalonego, umożliwiające estymację wybranych parametrów procesu

w miejscach, gdzie pomiary były trudne lub niemożliwe. Kolejny zestaw modeli dotyczył dynamicznych właściwości przepływu powietrza transportowego w układzie mielenia w wersji przepływu samego czystego powietrza i powietrza z materiałem mielonym. Te badania przeprowadzone przez doktorantkę były ważne dla opracowania symulatora do testowania algorytmów i struktur sterowania przepływem powietrza, wykonanego ostatecznie przez pozostałych członków zespołu. Najlepszymi okazały się struktury łączące regulatory PI i wielowymiarowy odwrotny model układu pneumatycznego.

Uwagi:

Podsumowując całą pracę należy stwierdzić, że zawiera ona bardzo dużo szczegółowych opisów i danych technicznych, tak pojedynczych elementów pomiarowych (producent czujników i przetworników, dokładność, montaż) jak i całych fragmentów instalacji pomiarowej oraz konstrukcji młyna. Opisano też szczegółowo metodologie zastosowane w przetwarzaniu sygnałów i zaprezentowano otrzymane wyniki, tak w postaci tabel jak i wykresów graficznych. Autorka w wielu miejscach pracy zwraca uwagę na dobrą jakość otrzymanych wyników modelowania, ale też wspomina o niezbyt udanych rezultatach poszukiwań najlepszych metod – jak np. niezbyt efektywne wyniki zastosowania kamer na podczerwień.

Analiza powyżej opisanej zawartości pracy pokazuje, że doktorantka w swojej pracy nie używała zaawansowanych metodologii matematycznej teorii sterowania, czy zaawansowanych metodologii modelowania procesu np. za pomocą równań różniczkowych o parametrach rozłożonych i żadnych zaawansowanych metod identyfikacji przedstawionych modeli. Zastosowano standardowe narzędzia matematyczne potrzebne do filtracji i przetwarzania danych pomiarowych (procedury PSD i FFT w oknie Hanninga). Zastosowano klasyczne i proste modelowanie dynamiki I i II rzędu za pomocą liniowych modeli SISO i klasyczne znane z podstaw regulacji metody strojenia regulatorów PID. Nie można więc wskazać na wybitnie oryginalne teoretyczne wyniki naukowe. Zauważyć można jednak ogrom żmudnej eksperymentalno-naukowo-badawczej pracy nad nowymi innowacyjnymi pomysłami pomiarowymi oraz ogrom prac analitycznych nad przetwarzaniem uzyskanych danych pomiarowych w celu odkrycia zależności pomiędzy różnymi zmiennymi procesowymi np. wielkością ziaren surowca, a dźwiękiem powstającym w trakcie jego przesypywania. Potwierdzeniem tego jest zamieszczenie w pracy wielu wykresów charakterystyk statycznych i odpowiedzi skokowych uzyskanych modeli. Wysiłek badawczy należy ocenić bardzo wysoko.

Recenzent nie znalazł żadnych błędów w rozważaniach teoretycznych i przytoczonych wzorach i nie ma uwag co do przedstawionych metod. Również nie ma uwag do strony edycyjnej pracy, która została napisana bardzo starannie.

#### **4. Oryginalny dorobek autora pracy**

Zgodnie z deklaracją autorki co do własnego wkładu naukowego w całokształcie osiągnięcia naukowego jakim jest prototyp młyna elektromagnetycznego, oraz w oparciu o zawartość poszczególnych rozdziałów pracy, jak również potwierdzone publikacje naukowe recenzent podsumuje oryginalny wkład doktorantki w całokształt tego projektu:

1. zaprojektowanie i wykonanie eksperymentów pomiarowych wielkości cząstek i natężenia przepływu materiału sypkiego (Rozdz. 2.1.3.1–2.1.3.3, p. 2.1.5) z użyciem czujników wibracyjnych i akustycznych;
2. zaprojektowanie i implementacja algorytmów przetwarzania sygnałów dla danych z powyższych eksperymentów (Rozdz. 2.1.3.4 i 2.1.5) oraz ich analiza (Rozdz. 2.1.4, 2.1.6, 2.1.7);
3. udział w zespole przy doświadczeniach dotyczących wizyjnego pomiaru wilgotności przygotowanych frakcji surowca (Rozdz. 2.2.1.1), wliczając w to wstępne przygotowywanie różnych wielkościowych frakcji surowca o różnej wilgotności (przesiewanie, suszenie);
4. udział w pracach zespołowych przy opracowywaniu algorytmów dla przetwarzania danych wizyjnych (Rozdz. 2.2.1.3) dla identyfikacji modeli intensywności obrazu w funkcji wilgotności próbki;
5. opracowywanie pomiarów wilgotności dla uzyskania prostych modeli liniowych (Rozdz. 2.2.2.5),
6. zaprojektowanie eksperymentu i kalibracji przetworników ciśnienia (Rozdz. pkt. 3.1.4–3.1.5) i przeprowadzenie identyfikacji przepływu czystego powietrza (Rozdz. 3.1);
7. opracowanie oprogramowania (MATLAB) do przetwarzania danych dla statycznych charakterystyk przepływu i ciśnienia powietrza oraz zestawów parametrów modeli dynamicznych odpowiadających wszystkim możliwym punktom pracy instalacji (Rozdz. 3.2.1–3.2.3);
8. prace naukowe przy opracowywaniu równań fenomenologicznego modelu strat ciśnienia i identyfikacja współczynników modelu (Rozdz. 3.2.4);
9. prace pomiarowe przy przepływie powietrza z mediami mielącymi i prace przy modelowaniu tego zjawiska (Rozdz. 3.3.2–3.3.3);
10. testy symulatora przepływów powietrza w pętli otwartej (Rozdz. 4);
11. projektowanie algorytmów sterowania przepływem powietrza (Rozdz. 5.4), ich implementacja symulacyjna i testy (Rozdz. 5.3–5.4)

Widać, że przedstawiony powyżej wkład organizacyjny i naukowy doktorantki w całość badań jest duży i reprezentuje jego istotną część, a wykonana praca badawcza i wykorzystane wyniki świadczą o szerokiej wiedzy praktycznej i teoretycznej doktorantki.

Biorąc pod uwagę, że zgodnie z przytoczonym na pierwszej stronie recenzji fragmentem Ustawy: *„Rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej”*

oraz, że *„Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej”*

**należy stwierdzić, że recenzowana dysertacja spełnia powyższe wymagania.**

W tym kontekście należy również stwierdzić, że przyjęta na początku rozprawy teza naukowa:

„Algorytmy przetwarzania danych, w szczególności pomiary pośrednie i modelowanie w oparciu o eksperyment, pozwalają na monitorowanie i kontrolę pracy instalacji mielenia na sucho w młynie elektromagnetycznym”

**też została potwierdzona.**

## **5. Podsumowanie i wniosek końcowy**

Przedstawiona rozprawa doktorska stanowi podsumowanie wieloletnich prac naukowych doktorantki, stąd większość wyników cząstkowych prezentowanych w pracy była już publikowana w latach 2015-2023 w 9 pracach, w których doktorantka była autorem lub współautorem. Publikacje te były w czasopiśmie i w materiałach konferencyjnych. Tematyka pracy dotyczy ważnego praktycznego zagadnienia, które znalazło odbicie w konstrukcji młyna. Z tą konstrukcją związane są patenty, a jest nadzieja że w przyszłości prototyp zostanie dostosowany do wersji produkcyjnej przez współpracującą przy projekcie firmę przemysłową.

Recenzent uważa, że przedstawiona rozprawa doktorska mgr inż. Oliwii Krauze spełnia merytoryczne kryteria stawiane w Ustawie - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

Recenzent wnosi o dopuszczenie mgr inż. Oliwii Krauze do obrony jej pracy doktorskiej w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.



Witold Byrski