

Radom, 2 stycznia 2018

dr hab. Tadeusz Szumiata, prof. nadzw. UTH Radom  
Katedra Fizyki, Wydział Mechaniczny  
Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny  
im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu

### Recenzja pracy doktorskiej

Lokalizacja obiektów ferromagnetycznych na podstawie analizy  
trójwymiarowych pomiarów magnetowizyjnych

Autor: mgr inż. Michał Nowicki

Promotor: dr hab. inż. Roman Szewczyk, prof. PW

Promotor pomocniczy: dr hab. inż. Jacek Salach

prowadzonej na Wydziale Mechatroniki Politechniki Warszawskiej

#### 1. Wstęp

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Michała Nowickiego została wykonana na zlecenie Dziekana Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej z dnia 01.12.2017.

#### 2. Ogólna charakterystyka rozprawy, ocena tematu i celu pracy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska ma charakter interdyscyplinarny. Obejmuje ona zarówno zagadnienia z zakresu budowy maszyn, automatyki i elektroniki, magnetostatycznych symulacji komputerowych, jak również miernictwa magnetycznego.

Zasadniczy rys tematyczny pracy mieści się jednoznacznie w dyscyplinie naukowej "Budowa i eksploatacja maszyn", uprzednio wskazanej przy otwarciu przewodu doktorskiego.

Tematem niniejszej rozprawy była kwestia lokalizacji obiektów ferromagnetycznych na podstawie analizy trójwymiarowych pomiarów magnetowizyjnych uzyskiwanych techniką pasywną. Dzięki bogatemu zestawowi wyników pomiarów magnetowizyjnych oraz badań symulacyjnych, Doktorant opracował metodę ilościowej oceny położenia obiektów w przestrzeni oraz wyznaczania wartości i orientacji przestrzennej ich wypadkowych momentów magnetycznych.

Najbardziej innowacyjnym efektem pracy jest zaproponowany, nowy sposób skanowania magnetowizyjnego uwzględniającego wszystkie trzy składowe indukcji pola magnetycznego, a następnie trójwymiarowa analiza uzyskanych wyników prowadząca do wyznaczenia wartości wszystkich współrzędnych położenia, orientacji kątowej i wartości wektora efektywnego momentu magnetycznego, który można przypisać rzeczywistym obiektom ferromagnetycznym.

Doktorant nie tylko przeprowadził badania naukowe i zinterpretował ich wyniki, ale w znacznym stopniu samodzielnie przygotował sobie warsztat pracy doświadczalnej i symulacyjnej. Na każdym etapie pracy Autor dbał o aplikacyjny potencjał badań.

Zatem temat pracy należy uznać za aktualny i ważny, zarówno z punktu widzenia badań podstawowych jak i stosowanych. Ambitny zakres rozprawy doktorskiej świadczy o rozległym spektrum zainteresowań naukowych i umiejętności Doktoranta.

### 3. Merytoryczna ocena pracy

We Wstępie Doktorant przedstawił przekonujące motywacje do badań nad zastosowaniami pasywnych metod magnetowizyjnych. Motywacje te miały głównie charakter militarny (lokalizacja min oraz ładunków improwizowanych z zapalnikami reagującymi na pola elektromagnetyczne konwencjonalnych wykrywaczy metali). Zabrakło potencjalnych przykładów zastosowań cywilnych

Autor rozprawy rozpoczął rozdział 3. (Stan wiedzy) od rysu historycznego odkryć praw elektromagnetyzmu powołując się na oryginalne prace Faradaya i Maxwella. Biorąc pod uwagę realia pasywnej metody magnetowizyjnej Doktorant redukuje zestaw równań Maxwella do postaci odpowiadającej przybliżeniu magnetostatycznemu. W opisie stosowalności tego podejścia pojawiło się jednak błędne odwołanie do równania 3.4a zamiast do 3.4d. W kolejnych podrozdziałach Autor porządkuje definicje różnych wielkości magnetycznych (m.in. „momentu magnetycznego” i „dipolowego momentu magnetycznego”), zawsze zaopatrując w jednostki. Szkoda, że wzór (3.9) nie przedstawia ogólnego, wektorowego wyrażenia na indukcję pola magnetycznego od dipola w dowolnym punkcie przestrzeni. Ponadto nie wyjaśniono sensu fizycznego „gęstości ładunków magnetycznych”. Szczegółowo opisano skalarne i wektorowe potencjały magnetyczne. Brakuje nieco końcowej postaci równań magnetostatyki z relacjami materiałowymi, które leżą u podstaw algorytmów symulacyjnych metodą elementów skończonych. Oprócz przeglądu fizycznych podstaw magnetyzmu Autor dokonał przeglądu metod lokalizacji obiektów ferromagnetycznych. W pierwszej części opisu nie został jednak wyraźnie podkreślony fakt, że wspomniane konwencjonalne wykrywacze metali są przydatne nie tylko do detekcji metali ferromagnetycznych, ale i niemagnetycznych, ponieważ wykorzystują zjawisko powstawania prądów wirowych w materiale przewodzącym. Słusznie jednak zwrócono uwagę, że zasięg głębiny detekcji tych urządzeń jest niewielki, a czułość detekcji spada wykładniczo wraz z głębokością. Pewną niejasność rodzi użyte sformułowanie o „gruntach o właściwościach magnetycznych i przewodzących”, więc podczas prezentacji pracy powinno zostać ono wyjaśnione i - w miarę możliwości - skwantyfikowane. Wspomniano o dotychczas stosowanych, zmodyfikowanych metodach konwencjonalnych (aktywnych) do wykrywania elementów o dużych rozmiarach na dużych głębokościach i o nieuniknionej w tym przypadku utracie rozdzielczości detekcji, jak również ryzyku uruchomienia pułapek antysaperskich. W dalszej kolejności Autor pracy przechodzi do opisu istniejących metod pasywnych opartych na technikach magnetometrii stałopolowej, skutecznej w przypadku obiektów ferromagnetycznych o dość znacznych rozmiarach, ale mogących znajdować się kilkukrotnie głębiej (ok. 5m), niż w przypadku metod aktywnych. Autor szczególnie podkreślił istotny fakt, że do detekcji niewielkich anomalii ziemskiego pola magnetycznego (z rozdzielczością lepszą niż 100 pT) stosuje się najczęściej gradiometrię transduktorową (wektorową), a niekiedy również spektroskopowe magnetometry cezowe i potasowe (skalarne) oraz czujniki NMR i kwantowe magnetometry typu SQUID osiągając czułości na poziomie femtotesli. Dużo uwagi i miejsca Doktorant poświęcił prezentacji dostępnych przykładów dotychczasowych zastosowań obrazowania anomalii magnetycznych do wykrywania obecności dużych obiektów ferromagnetycznych poprzez porównywanie z bibliotekami oczekiwanych sygnatur magnetycznych.

Rozdział czwarty pracy (Przedmiot badań) przekonuje o szerokim wachlarzu dobranych przez Doktoranta obiektów do badań (detekcji magnetowizyjnej). Należały do nich certyfikowane wzorce momentu magnetycznego, zwykłe magnesy stałe, przedmioty

użytkowe (o charakterze militarnym i cywilnym). Obiekty zróżnicowane były pod względem wielkości, złożoności kształtu oraz przenikalności magnetycznej i remanencji.

W rozdziale piątym (Metodyka badań) doktorant szczegółowo opisał układ detektora pola magnetycznego. Wybór magnetooporowego sensora trójosiowego o dużej czułości (7 nT) i stosunkowo małym zakresie pomiarowym (0.1 mT) był całkowicie uzasadniony biorąc pod uwagę realia magnetowizji. Dużym wkładem Doktoranta było zaprojektowanie skanera mechanicznego, który mógł prowadzić jednocześnie dwa detektory pola (na dwóch różnych wysokościach) w płaszczyźnie poziomej. Obszar skanowania, podzielony na linie, był stosunkowo niewielki (20 cm x 20 cm), ale wystarczający do celów testowych. W przytoczonym opisie zabrakło fotografii z rzeczywistym wizerunkiem układu pomiarowego (a zwłaszcza skanera mechanicznego). Kolejną zasługą Doktoranta było opracowanie oprogramowania sterującego skanerem mechanicznym i rejestrującego dane pomiarowe. Niezmiernie ciekawym pomysłem było również zastosowanie układu trójosiowych cewek Helmholtza do kompensacji ziemskiego pola magnetycznego oraz do intencjonalnego zadawania zewnętrznego pola magnetycznego o określonej wartości i kierunku. Dzięki temu zwiększono precyzję badań sygnatur magnetycznych zarówno od obiektów twardych jak i miękkich magnetycznie. Ponadto, inny układ cewek Helmholtza (jednoosiowych) wraz ze strumieniomierzem został wykorzystany do wygodnego pomiaru momentu magnetycznego obiektów ferromagnetycznych. Metoda ta została zweryfikowana pomiarem bezpośrednim pola magnetycznego od obiektu w dużej odległości. Szkoda jednak, że wzór opisujący to pole (5.3) zawiera błąd (zamiast namagnesowania „M”, powinien w nim być moment magnetyczny „m”).

Kolejny rozdział (6. Wyniki własnych badań eksperymentalnych) prezentuje bogaty zestaw magnetowizyjnych danych eksperymentalnych dla wielu obiektów (próbek). Brakuje nieco bardziej szczegółowego wyjaśnienia, jak z czasowych przebiegów sygnałów ze skanera rekonstruuje się obrazy wektorowe i bitmapy. Powstaje pytanie, na ile wiarygodna jest procedura interpolowanego zwiększenia rozdzielczości aż 10 razy. Nie do końca jasne wydaje się też wytłumaczenie, czym w praktyce różnił się pomiar „dwupłaszczyznowy” od „gradientowego” i gradient której składowej pola Doktorant prezentował na rysunkach. Osobną kwestią jest czas pomiaru. Z rys. 6.1 wynika, że przeskanowanie całego obszaru trwa 1500 s, czyli 25 minut. Brakuje informacji, czy ten bardzo długi czas (z praktycznego punktu widzenia) wynika z mechanicznych ograniczeń skanera, czy też z przepustowości cyfrowego interfejsu trójosiowego sensora pola magnetycznego. W podrozdziale dotyczącym wpływu ziemskiego pola magnetycznego na obrazy magnetowizyjne wartościowy byłby komentarz, czy intencjonalne przykładanie słabych pól magnetycznych byłoby pomocne w identyfikacji i bardziej precyzyjnej lokalizacji i kształtu obiektu. Bardzo ciekawym pomysłem Autora było wykorzystanie skanera do trójwymiarowego, wielopłaszczyznowego analizowania rozkładu indukcji pola magnetycznego wokół obiektu (w funkcji wysokości). Wykonano również skany w płaszczyźnie pionowej, uzyskując dodatkowe informacje przydatne m.in. do wyznaczenia wartości momentu magnetycznego obiektów. Szkoda, że pod rysunkami 6.15 i 6.16 nie wyjaśniono, która składowa pola została faktycznie zaprezentowana. Cykl zadań eksperymentalnych przewidzianych w pracy doktorskiej zakończyła procedura precyzyjnego pomiaru momentów magnetycznych obiektów (próbek) przy użyciu strumieniomierza z jednoosiowymi cewkami Helmholtza. Uzyskane wyniki posłużyły Doktorantowi w dalszej części pracy do weryfikacji możliwości szacowania wartości momentu magnetycznego obiektów na podstawie obrazów magnetowizyjnych.

Jak wynika z rozdziału 7. (Modelowanie rozkładu indukcji pola magnetycznego wokół obiektów magnetycznych) Doktorant zdecydował się na użycie programu symulacyjnego Elmer FEM, który jest oprogramowaniem typu „open-source” wykorzystującym metodę elementów skończonych. Oferuje w pełni profesjonalne symulacje trójwymiarowych rozkładów pól magnetycznych. Nie posiada jednak wygodnego interfejsu użytkownika, zatem opanowanie tego narzędzia wymagało od Doktoranta dużo pracy oraz zaangażowania – i samo w sobie stanowi wielką wartość. Nieco zaskakująca wydaje się jednak informacja, że Doktorant użył wspomnianego programu do symulacji rozkładów wyłącznie wokół ferrytowych magnesów stałych (jako wzorców). Skoro tak, wystarczyło zrealizować procedurę całkowania 3D (sumowania) wkładów pól dipolowych od poszczególnych fragmentów magnesu o znanym, stałym namagnesowaniu – zamiast rozwiązywać numerycznie równania różniczkowe elektromagnetyzmu. Do tego celu wystarczy znacznie prostsze oprogramowanie typu Matlab, Mathcad (lub ich różne, niekomercyjne odpowiedniki), a nawet MS Excel z dodatkiem Visual Basic. Przejawem dużej staranności metodycznej Doktoranta było przeprowadzenie eksperymentalnej walidacji wyników symulacyjnych – jeszcze przed ich wykorzystaniem do interpretacji obrazów magnetowizyjnych. Pomiarów weryfikacyjnych wykonano przy użyciu sond hallotronowych na precyzyjnych statywach z ruchomymi uchwytami. Symulowane i zmierzone rozkłady indukcji pola magnetycznego na osi symetrii magnesów zgadzały się ze sobą bardzo dobrze dopiero po skorygowaniu nominalnej wartości namagnesowania. Doktorant wiąże ten fakt z polem odmagnesowania wynikającym z określonego kształtu magnesu. Wydaje się jednak, że ten efekt powinien być zostać automatycznie uwzględniony przez procedurę symulacyjną. Bardziej prawdopodobną przyczyną jest niekonsekwencja metodologiczna producenta magnesów odnosząca się do pomiarów rzeczywistej wartości polaryzacji magnetycznej ferrytów podawanej w katalogach.

Rozdział 8 (Nowa metoda lokalizacji obiektów z wykorzystaniem pomiarów magnetowizyjnych) to najważniejsza i najbardziej wartościowa część rozprawy, uwypuklająca nowatorski wkład Doktoranta w rozwój magnetowizji i jej praktycznych zastosowań. Autor porównuje symulowane i pomiarowe obrazy magnetowizyjne w celu zlokalizowania obiektu w płaszczyźnie XY. Analizę rozpoczyna od najprostszego przypadku pojedynczego dipola o różnej orientacji momentu magnetycznego wskazując też metody lokalizacji środka dipola. Rys. 8.3 i 8.4 wraz opisami pozostawiają jednak wątpliwość czy chodziło o orientację momentu magnetycznego prostopadłą, czy równoległą do płaszczyzny. Z całą pewnością też Rys. 8.3 nie przedstawia wartości bezwzględnej indukcji magnetycznej, skoro przybiera ona wartości ujemne. Nie zostało też wyjaśnione, skąd biorą się dwa ekstrema w obrazie magnetowizyjnym (maksimum i minimum). Bardzo istotną kwestią była weryfikacja powtarzalności i precyzji lokalizacji dipolowego wzorca w płaszczyźnie XY. Uzyskane przez Doktoranta wyniki okazały się bardzo satysfakcjonujące. Kolejnym krokiem było zastosowanie fenomenologicznego, zmodyfikowanego modelu dipolowego do określenia odległości („głębokości”) obiektu od płaszczyzny pomiarowej. W tym przypadku niezbędne było przeprowadzenie dodatkowego skanu magnetowizyjnego w płaszczyźnie pionowej, bezpośrednio nad zlokalizowanym uprzednio obiektem (na podstawie analizy standardowego, „poziomego” obrazu magnetowizyjnego). Potwierdzona została zadowalająca precyzja lokalizacji pionowej w przypadku prostego wzorca jedno-dipolowego. Doktorant w ramach rozprawy opracował i zrealizował metodę precyzyjnego wyznaczania wartości momentu magnetycznego pojedynczego dipola bez potrzeby uciekania się do pełnej procedury magnetowizyjnej, a opartej jedynie na pomiarze zależności indukcji pola magnetycznego, gdy zmieniana jest odległość sensora od obiektu (ale nie musi być ona precyzyjnie znana). Wykonany układ w konfiguracji ruchoma próbka – nieruchomy magnetometr może znaleźć

praktyczne zastosowanie w kontroli jakości parametrów magnesów stałych przemieszczanych na taśmociągu. Jednak najbardziej istotnym elementem przeprowadzonych przez Doktoranta badań okazała się nowatorska procedura, która odchodzi od klasycznego podejścia polegającego na niezależnej lokalizacji obiektu najpierw w płaszczyźnie poziomej a później w pionie i następnie określaniu jego momentu magnetycznego. Istotą innowacyjnej metody jest jednocześnie uwzględnienie całej informacji ze skanu magnetowizyjnego i poprzez dopasowanie odpowiedniego modelu wyznaczenie od razu wszystkich niezbędnych parametrów (współrzędnych  $x, y, z$  dipola, wartości momentu dipolowego, kątów opisujących orientację przestrzenną wektora momentu magnetycznego dipola). Zaprezentowany bogaty materiał eksperymentalny sugeruje, że w tej metodzie kluczowa jest dostępność rozkładów wszystkich trzech składowych indukcji pola przeskanowanych na jednej wysokości, natomiast skan pionowy jest zbędny. Niestety opis wyników nie przekonuje czytelnika, czy faktycznie tak jest. Godny podkreślenia jest jednak fakt, że Doktorant zrealizował niezmiernie staranny program testów opracowanej metody dla różnych położzeń obiektów, różnych wartości i orientacji kątowych momentów magnetycznych i różnych rodzajów próbek. Wyniki tych testów pozwalają optymistycznie patrzeć na perspektywy wdrożeniowe projektu.

W rozdziale 9 (Wytyczne do wykrywania i lokalizacji obiektów ferromagnetycznych) Doktorant podał praktyczne oszacowanie zasięgu (głębokości) magnetowizyjnej lokalizacji obiektów, którego wartość zależy od pierwiastka trzeciego stopnia z wypadkowego momentu magnetycznego obiektu. Wspomniana zależność jest słuszna przy założeniu, że interesuje nas względna dokładność lokalizacji (i wyznaczenia parametrów magnetycznych) na poziomie lepszym niż 10%. Doktorant podaje również tabelę typowych wartości wypadkowych momentów magnetycznych dla różnych rodzajów obiektów ferromagnetycznych. Wspecyfikowane zostały też wymagania odnośnie poziomu szumu, rozdzielczości i obszaru skanowania magnetowizyjnego.

Kończąc rozprawę w rozdziale 11 (Kierunki dalszych prac) Doktorant zamieścił bardzo wartościowy opis perspektywy dalszych badań. Mimo imponującego zakresu działań Doktoranta, wiele elementów nie udało się zawrzeć w doktoracie. Należą do nich m.in. magnetowizyjne badania wielkogabarytowe na obszarach morskich oraz zwiększenie rozdzielczości i szybkości skanowania poprzez zastosowanie macierzy sensorów magnetycznych. Ostatni punkt wykazu działań poświadczonych nie jest dostatecznie jasno sprecyzowany, ale najprawdopodobniej dotyczy kwestii, której brak był bardzo widoczny w pracy. Otóż opracowane przez Doktoranta metody lokalizacji odniesione do obiektów rzeczywistych opierały się na założeniu, że rozkład pola od takich obiektów może być przybliżony rozkładem od „wypadkowego”, pojedynczego dipola magnetycznego. Nie zdefiniowano jednak położenia takiego dipola względem obrysu obiektu. Nie sprecyzowano, czy chodzi w tym przypadku o „środek ciężkości” bryły obiektu czy raczej o średnie położenie ciągłego rozkładu namagnesowania obiektu. Niewątpliwie idealnym rozwiązaniem byłoby opracowanie „dyskretnego przekształcenia odwrotnego”, które na podstawie trójwymiarowego skanu rozkładu trzech składowych indukcji pola magnetycznego byłoby w stanie odtworzyć przestrzenny rozkład namagnesowania  $M(x, y, z)$  lokalizowanego obiektu. Niestety zarówno matematyczne sformułowanie tego zagadnienia, jak i jego numeryczna implementacja może być bardzo poważnym wyzwaniem stanowiąc temat innej pracy doktorskiej.

#### 4. Ocena redakcyjnej strony rozprawy

Streszczenie w języku polskim w należyty sposób informuje czytelnika o podstawowych celach pracy, motywacji, metodach badawczych oraz zasadniczych wynikach (zarówno symulacyjnych, jak i eksperymentalnych). Pewien dysonans językowy budzi jednak użycie takich słów jak „koordynaty”, „fuzja”, które posiadają całkowicie polskojęzyczne odpowiedniki. Streszczenie angielskie jest wiernym tłumaczeniem wersji polskiej, a fakt jego obecności ułatwi propagowanie efektów pracy doktorskiej w szerszym kręgu odbiorców.

Zbyt duże fragmenty Wstępu są bezpośrednim powtórzeniem tekstu ze streszczenia.

Zasadniczy cel pracy został wyspecyfikowany w pierwszym akapicie rozdziału 2. („zbadanie możliwości wykorzystania pomiarów magnetowizyjnych do lokalizacji ukrytych obiektów ferromagnetycznych”). Z tego też względu powtórna definicja celu w tym samym rozdziale nie wydaje się właściwa. Podane w tym miejscu podpunkty można było nazwać zadaniami prowadzącymi do celu. Ze względu na klarowność wyników badań, które uzyskał Doktorant, można było pokusić się też o przeformułowanie pracy do postaci „rozprawy z tezą”, której prawdziwość wyniki końcowe potwierdzają.

W przeglądzie stanu wiedzy (rozdział 3) pojawiło się dość niezręczne sformułowanie „przyrządy te polegają na”. Na końcu tego rozdziału Autor przechodzi do wyjaśnienia idei metody magnetowizyjnej. Wydaje się, że omówienie tej – fundamentalnej z punktu widzenia doktoratu – techniki jest nieco zbyt pobieżne i mało wyraziste. Zbyt słabo podkreślono fakt, że podstawowa różnica magnetowizji w porównaniu do dotychczasowego obrazowania anomalii geomagnetycznych polega na znacznie większej rozdzielczości skanowania i obligatoryjnej rejestracji wszystkich składowych pola magnetycznego. Dopiero taki rygor metrologiczny pozwala wnioskować o dokładnym położeniu, kształcie i momencie magnetycznym wykrywanych obiektów. Ostatni akapit tego rozdziału powinien zawierać znacznie bardziej wyrazistą zapowiedź, jakie elementy innowacyjności niesie ze sobą praca doktorska w świetle przedstawionego, dotychczasowego stanu wiedzy – tak pod względem metod pomiarowych, symulacyjnych jak i idei badawczych. Warto podkreślić, że wybór cytowanych publikacji (krajowych i zagranicznych), ilustrujących dotychczasowy stan wiedzy, jest bardzo trafny i bogaty, a jego sporządzenie wymagało od Doktoranta interdyscyplinarnej inicjatywy.

Rozdział piąty o metodyce badań kończy się dość niespodziewanie – bez uwzględnienia metodyki badań symulacyjnych, którą opisano w dalszej części pracy. Wobec tego bardziej trafny tytułem rozdziału nr 5. byłaby „Metodyka badań eksperymentalnych”.

W rozdziale podsumowującym Doktorant wymienił wszystkie najbardziej istotne osiągnięcia pracy. Nie do końca zrozumiałe jest jednak uwypuklenie na pierwszym miejscu kwestii związanej z oprogramowaniem MES. Zdecydowanie zabrakło dobitnego stwierdzenia, że wszystkie założone we wstępie cele oraz wyznaczone zadania zostały zrealizowane i to ze sporym naddatkiem. Autor wskazał jednak wyraźnie przykłady potencjalnych wdrożeń swoich projektów zarówno w obszarze wojskowo-kryminalistycznym jak i cywilnym.

Krótki rozdział 9 (Wytyczne do wykrywania i lokalizacji obiektów ferromagnetycznych) mógłby być włączony do rozdziału poprzedzającego stanowiąc jego podsumowanie.

## 5. Wniosek końcowy

Podsumowując szczegółową część opinii o rozprawie pana mgr inż. Michała Nowickiego stwierdzam, że:

- Zagadnienie naukowe, którego rozwiązania podjął się Doktorant, zostało wybrane i sformułowane prawidłowo.
- Cel główny pracy został przez Doktoranta osiągnięty. Realizacja wszystkich, założonych celów szczegółowych pracy doktorskiej stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w zakresie dyscypliny naukowej „Budowa i Eksploatacja Maszyn”.
- Rozwiązując obrany problem Doktorant umiejętnie skorzystał ze współczesnego dorobku naukowo-technicznego w zakresie budowy maszyn, mechatroniki, symulacji komputerowych, a nawet fizyki materiałów magnetycznych i miernictwa magnetycznego.
- Realizując pracę Doktorant wykazał się samodzielnością oraz umiejętnością organizowania badań doświadczalnych oraz symulacyjnych, a także wiedzą o charakterze interdyscyplinarnym.
- Wyniki rozprawy poszerzają wiedzę dotyczącą możliwości wykorzystania technik magnetowizyjnych do precyzyjnej lokalizacji i identyfikacji obiektów ferromagnetycznych.

Stwierdzam, iż rozprawa mgr inż. Michała Nowickiego spełnia warunki Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki, oraz stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Podczas obrony oczekuję, że Doktorant odniesie się do zawartych w recenzji uwag krytycznych. Większość z nich nie umniejsza merytorycznej wartości pracy, ponieważ dotyczą one przede wszystkim niedoskonałości samego opisu metodyki oraz prezentacji wyników.

Ze względu na szerokie ujęcie zagadnienia, znacznie wykraczające poza typowy zakres pracy doktorskiej, oraz istotny potencjał aplikacyjny opracowanych w ramach rozprawy doktorskiej rozwiązań technicznych, wnoszę o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Michała Nowickiego. Dodatkowe uzasadnienie wniosku o wyróżnienie pracy stanowi fakt, że doktorant jest autorem lub współautorem 15 publikacji naukowych, których tematyka wiąże się ściśle z rozprawą doktorską. Trzy artykuły zostały opublikowane w czasopiśmie z listy JCR. Ponadto należy podkreślić, że część badań wykonanych zostało w ramach grantu NCBiR „Zaprojektowanie mobilnej platformy do wsparcia badań kryminalistycznych miejsc zdarzeń, w których może występować zagrożenie CBRN”. Wyróżniającym aspektem ocenianej rozprawy jest jej osadzenie w konkretnych realiach aplikacyjnych, czego przejawem była ścisła współpraca Doktoranta z takimi instytucjami jak: Ministerstwo Spraw Wewnętrznych, Centralne Laboratorium Kryminalistyczne Policji, Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów (PIAP) oraz CSC - IT Center For Science Ltd. w Espoo w Finlandii.

*T. Szumiata*