



dr hab. inż. Jacek Ryl, prof. PG  
Instytut Nanotechnologii i Inżynierii Materiałowej  
Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej  
Politechniki Gdańskiej

19.09.2023 r.

## **Recenzja rozprawy doktorskiej**

mgr inż. Wojciecha Majstrzyka

pt. „Matryce dźwigni magnetoelektrycznych w metrologii oddziaływań molekularnych”

Podstawą do wykonania recenzji rozprawy doktorskiej jest pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Wrocławskiej, prof. dr hab. inż. Andrzeja Dziedzica z dnia 21 lipca 2023 r. (RPW/29615/2023 N). Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska została wykonana na Wydziale Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów Politechniki Wrocławskiej, w Katedrze Nanometrologii. Promotorem rozprawy doktorskiej jest prof. dr hab. inż. Teodor Gotszalk.

Tematyka rozprawy doktorskiej mgr inż. Wojciecha Majstrzyka poświęcona jest rozwinięciu narzędzi i metodologii obrazowania powierzchni w skali nanometrycznej. Praca w tym obszarze nauki może być niewdzięczna, gdyż wymaga pochylenia się nad złożonymi, interdyscyplinarnymi i często nie dość dobrze opisanymi zjawiskami i procesami. Wartość poznawcza, płynąca z uzyskanej wiedzy może jednak w pełni zrekompensować włożony wysiłek. Techniki mikroskopowe ze skanującą sondą, takie jak mikroskopia sił atomowych (AFM) czy mikroskopia tunelowa (STM), są nieodzownymi narzędziami w badaniach i rozwoju nanotechnologii. Po pierwsze, pozwalają one na wizualizację i analizę struktur w skali nanometrycznej, oferując rozdzielczość nieosiągalną dla tradycyjnych mikroskopów optycznych. Dzięki nim badacze mogą zrozumieć i manipulować materią na poziomie atomowym, co otwiera drzwi do tworzenia nowych, zaawansowanych materiałów i systemów. Po drugie, oferują one unikalną możliwość badania oddziaływań mechanicznych, elektrycznych czy magnetycznych, kluczowe dla projektowania systemów z zakresu nanotechnologii. Techniki STM przyczyniają się do rewolucjonizowania biotechnologii, umożliwiając dokładne analizowanie nanostruktur biologicznych i otwierając nowe horyzonty w badaniach nad strukturą i funkcją biomolekuł. Sprzyja to opracowywaniu projektowaniu nanocząstek do celów terapeutycznych, w precyzyjnym dostarczaniu leków, rozwoju celowanych i skutecznych terapii. Mikroskopie sił dostarczają możliwości badania interakcji makromolekularnych w czasie rzeczywistym, niemożliwe przy użyciu tradycyjnych metod. To właśnie rozwój jednego z ww. narzędzi, tj. mikroskopii sił chemicznych, postawił sobie za cel Autor dysertacji.

Rozprawa doktorska mgr inż. Wojciech Majstrzyka przygotowana została w postaci monografii naukowej, w skład której wchodzi 7 rozdziałów, przedstawionych łącznie na 126 stronach manuskryptu. Pierwsze trzy rozdziały opisują wybrane aspekty teoretyczne i istniejący stan wiedzy problematyki badawczej, po których dwa rozdziały Autor poświęca szczegółowemu omówieniu metrologii mikrodźwigni pomiarowych, będących przedmiotem powyższej rozprawy. Przedostatni rozdział omawia uzyskane wyniki eksperymentalne i podzielony został łącznie na 11 niezależnych, lecz powiązanych ze sobą tematycznie zagadnień. Najważniejsze wnioski i osiągnięcia pracy badawczej Autor podsumowuje w ostatnim rozdziale monografii. Rozprawa zawiera łącznie 156 niezależnych odniesień literaturowych, skrupulatnie dobranych przez Autora by zapoznać czytelnika z istniejącym stanem wiedzy oraz poprzeć postulowane wnioski badawcze.

Podstawowym celem naukowym, postawionym przez mgr inż. Wojciecha Majstrzyka, było opracowanie metodologii oraz narzędzi służących do pomiaru oddziaływań molekularnych, czyli matryc mikrodźwigni aktuowanych niezależnie, magnetoelektrycznie. Cele te Autor stawia w rozdziale 1 dysertacji, w której argumentuje konieczność rozwoju narzędzi pomiarowych, w tym w szczególności narzędzi obrazowania nanostruktur w obszarze nauk biotechnologicznych. Zaproponowana problematyka badań jest świadomą próbą znalezienia rozwiązań dla ograniczeń w rozwoju technik mikroskopowych ze skanującą sondą, SPM. Mimo iż techniki SPM, a wśród nich mikroskopia sił atomowych AFM, należą do najpopularniejszych narzędzi analitycznych wykorzystywanych w nanoskali, to realnym wyzwaniem jest brak jednolitych i spójnych procedur skalowania i kalibracji, czy nawet opisu obserwowanych zjawisk. W ramach realizacji rozprawy doktorskiej Autor podjął się też konstrukcji mikroskopu dedykowanego do pracy z matrycami dźwigni aktuowanych magnetoelektrycznie. Mikroskop ten operować ma w układzie odwróconej spektroskopii sił atomowych, autorskiej koncepcji pomiarowej mgr Majstrzyka, wyróżniającej się aktywną reakcją mikrodźwigni na zadaną siłę. Na szczególną uwagę zasługują postawione cele szczegółowe, m.in. opracowanie koncepcji oraz konstrukcja struktur mikromechanicznych, koncepcji ich wzorcowania i metrologii. Zważywszy na światową renomę grupy, w której realizowano ww. badania, należy wysoko ocenić możliwość praktycznego zastosowania potencjalnych efektów pracy Autora w środowisku naukowym. Ostatnim z celów szczegółowych, postawionym przez Autora, było wdrożenie zaproponowanej metodologii pomiarowej i pomiar oddziaływań makromolekularnych układów o różnej terminacji grupami funkcyjnymi na powierzchni próbki oraz sondy pomiarowej. Pomimo jasnego zdefiniowania celów pracy badawczej, Autor nie definiuje żadnych hipotez naukowych. Nie pozostawia jednak wątpliwości, że prowadzone przez niego badania znacznie wykraczają poza obecny stan wiedzy w zakresie technik mikroskopowych ze skanującą sondą.

Rozdział drugi rozprawy Autor poświęca mikromechanicznym dźwigniom krzemowym, skupiając się na przybliżeniu czytelnikowi mechanizmów różnych typów aktuacji oraz detekcji ugięcia mikrodźwigni. Rozdział ten stanowi bardzo wnikliwą analizę właściwości mechanicznych, elektrycznych, fizycznych i innych, definiujących zachowanie mikrodźwigni. Autor opisuje w nim najważniejsze, z jego punktu widzenia, aktulatory magnetoelektryczne na tle innych metod aktuacji, jednocześnie zapoznając czytelnika z licznymi niuansami, takimi jak wpływ temperatury na stałą sprężystości, zmian temperatury wynikającej z ciepła Joule'a w wyniku istnienia zbyt dużej rezystancji pętli Lorentza itd. Zarys teoretyczny problematyki badawczej Autor rozwija w rozdziale trzecim, skupionym na opisie oddziaływań międzycząsteczkowych. Bardzo ciekawym, a jednocześnie istotnym z punktu widzenia nowatorskiego charakteru prowadzonych prac badawczych, jest opis odwróconej spektroskopii sił, RFS, autorskiej metodologii pomiarowej, na tle komercyjnie dostępnej



spektroskopii sił z ruchomym skanerem. Ideą postulowanego podejścia jest wykorzystanie mikrodźwigni jako aktywnego elementu pomiarowego, wychylającego się bezpośrednio w wyniku aktuacji magnetoelektrycznej.

Kolejne dwa rozdziały mają charakter omówienia narzędzi eksperymentalnych, lecz w tym szczególnym przypadku pełnią jednocześnie rolę omówienia części wyników zrealizowanych prac badawczych. Dzieje się tak ponieważ, jednym z istotnych zadań postawionych w rozprawie doktorskiej był rozwój metodologii pomiarowej. I tak w rozdziale przedstawionym pod nazwą „Metrologia mikrodźwigni – techniki i narzędzia” Autor omawia modyfikację wykorzystywanego systemu pomiarowego do współpracy z aktuacją magnetoelektryczną i trybem odwróconej spektroskopii sił, przedstawia autorską konstrukcję cewek Helmholtza czy cylindrycznej macierzy Halbacha. Autor ostatecznie decyduje się na użycie drugiego z rozwiązań, ze względu na wysokie temperatury przy przepływie przez cewki prądu rzędu 3 A oraz znacznie wyższe wartości indukcji pola magnetycznego w macierzy Halbacha. Obserwuje on również, że w przypadku zastosowania metody rozszerzonej wiązki laserowej do detekcji ugięcia mikrodźwigni, odbicia wiązki laserowej jest poprawnie mierzalne wyłącznie dla mikrodźwigni EmagTOOL, lecz nie dla MetMolMEMS. Przedstawia wreszcie podstawowe założenia autorskiego oprogramowania kontrolno-pomiarowego MTSA.

Rozdział piąty stanowi bardzo cenne studium dla kolejnych generacji rozwiązań konstrukcyjnych mikrodźwigni, będące nie tylko opisem prac własnych Autora, ale także przeglądem innych rozwiązań rozwijanych przez pracowników i studentów Katedry Nanometrologii Politechniki Wrocławskiej. Zawarte w nim opisy, mimo iż niezwykle specjalistyczne, pozwalają nadać głębszy sens badaniom Autora i zlokalizować rozprawę jako element większej całości długoletniej polityki rozwojowej Zespołu. Na podkreślenie zasługuje fakt, że Autor rozprawy wielokrotnie w manuskrypcie odnosi się do osiągnięć swoich kolegów i koleżanek, rozwijających narzędzia pod dedykowane cele praktyczne. W omawianym rozdziale przedstawiono i scharakteryzowano matryce dźwigni ze zintegrowanymi magnetoelektrycznymi detektorami ugięcia EmagTOOL oraz MetMolMEMS. Za bardzo cenne w lekturze powyższego rozdziału uznaję uwagi Autora dotyczące ograniczeń dotyczących metod optymalizacji kształtu mikrodźwigni. Postawiony tu wniosek dotyczy konieczności realizacji poniższych funkcji celu: zminimalizowania stałej sprężystości dźwigni oraz rezystancji struktury przewodzącej w pętli Lorentza, zmaksymalizowania częstotliwości rezonansowej drgań oraz siły działającej na końcu dźwigni. Autor przygotował, a następnie zweryfikował skuteczność osiągnięcia zadanej funkcji celu przygotowując mikrodźwignie o wybranych strukturach.

Wyniki eksperymentalne zostały przedstawione w rozdziale szóstym, łącznie w jedenastu niezależnych podrozdziałach, które można zgrubnie zróżnicować na te poświęcone metrologii wytworzonych dźwigni oraz metrologii z wykorzystaniem wytworzonych dźwigni. W pierwszej z nich Autor przedstawia aktuację magnetoelektryczną oraz termomechaniczną dźwigni MetMolMEMS oraz EmagTOOL-v2, opisuje wychylenie quasi-statyczne oraz czułości ugięciowe. Ten fragment manuskryptu przedstawia rozwiązania konstrukcyjne zaproponowane przez mgr inż. Wojciecha Majstrzyka, metrologię wychyleń statycznych czy szumu termomechanicznego badanych dźwigni, ale również zarejestrowane obrazy AFM, tym samym łącząc w sobie aspekty naukowe oraz inżynierskie. Obrazowanie jest realizowane w pierwszej kolejności w trybie około rezonansowym, w celu oceny wpływu metody aktuacji na skanowany obraz, a następnie w celu porównania efektu skanu topografii próbek kalibracyjnych dla różnych sił nacisku ostrza na próbkę. Uzyskane wyniki badań dowodzą możliwości otrzymania informacji o siłach adhezji czy kapilarnych, co stanowi istotną wartość dodaną w metrologii AFM. Eksperyment ten następnie powielono na próbce z wysoce zorientowanego grafitu



pirolitycznego, HOPG, gdzie jednak zaobserwowano brak stabilnych krawędzi grafitu. Zdaniem Autora, wynika to z interakcji wiązań na krawędzi warstwy grafenu z ostrzem mikrodźwigni. Nie podważając samej obserwacji, nie jestem przekonany co do jej wyjaśnienia, zważywszy, że HOPG powinien terminowany być atomami wodoru, a nie polarnymi grupami funkcyjnymi. Finalnie Autor definiuje też wpływ szybkości narostu siły w RFS i jego związek z sztywnością i częstotliwością rezonansową badanych mikrodźwigni MetMolMEMS.

Ostatnie dwa podrozdziały stanowią zwieńczenie pracy badawczej Autora, w których realizuje on eksperyment mający na celu zróżnicowanie oddziaływań sił chemicznych pomiędzy próbką a odpowiednio zmodyfikowaną mikrodźwignią. Za cel badań mgr inż. Wojciech Majstrzyk obrał oddziaływanie pomiędzy podłożem złota sfunkcjonalizowanego cysteaminą (terminacja grupą aminową), a powierzchnią sfery ulokowanej na końcu mikrodźwigni i zmodyfikowanej grupami funkcyjnymi o różnej polarności (metylową, aminową i karboksylową). W rezultacie prowadzonych badań Autor był w stanie zróżnicować siłę oddziaływania mikrodźwigni z podłożem i uszeregować je w kolejności: grupy metylowe < aminowe < karboksylowe, za kluczowy czynnik różnicujący identyfikując obecność wiązań wodorowych. Bardzo ciekawym dodatkiem byłaby tu próba analizy zależności pomiędzy polarnością grup funkcyjnych a wielkością sił, przy których następuje zerwanie oddziaływania. Eksperymenty zostały następnie powtórzone, lokując sfunkcjonalizowane sfery na podłożu, uzyskując co do zasady zbieżne zależności, mimo różnic w bezwzględnych wartościach zarejestrowanych sił. W drugiej części eksperymentu Autorowi udało się również zaobserwować zbliżone efekty dla sfunkcjonalizowanych podłoży z ditlenku krzemu, dowodząc w mojej ocenie efektywności różnicowania oddziaływań fizykochemicznych na powierzchni badanych próbek.

Przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Wojciecha Majstrzyka napisana jest zgodnie ze sztuką przygotowywania tego rodzaju opracowań. Tym niemniej praca zawiera kilka elementów dyskusyjnych, o doprecyzowanie których chciałbym Autora poprosić. Jednocześnie, chciałbym poznać opinię Autora rozprawy nt. dalszych możliwości rozwoju technik mikroskopii sił.

1. W swojej pracy Autor zdecydował się na wykorzystanie aktuatorów magnetoelektrycznych, jak jednak opisuje w rozdziale 2.2. istnieje wiele różnych mechanizmów aktuacji wychylenia dźwigni krzemowej. Prosiłbym o doprecyzowanie jakie są główne zalety oraz ograniczenia, wynikające z przyjęcia aktuacji magnetoelektrycznej w dziedzinie badań oddziaływań chemicznych i biochemicznych. Zabrakło mi tej informacji bezpośrednio przedstawionej, szczególnie że w rozdziale 5.3. Autor opisuje procedurę optymalizacji dźwigni do zastosowań z aktuacją termomechaniczną, natomiast w rozdziale 6.7. Autor postuluje, że metoda aktuacji nie ma ostatecznie wpływu na rezultaty skanowania (str. 94). Jakiego rzeczywistego wzrostu temperatury dźwigni Autor spodziewa się w przypadku aktuacji termomechanicznej? Czy wszystkie typy aktuacji równie dobrze sprawowałyby się w przypadku prowadzenia pomiaru w środowisku wodnym?
2. Czy wg. wiedzy Autora egzotermiczny lub endotermiczny charakter obserwowanych procesów chemicznych może mieć mierzalny wpływ na poziom wychylenia dźwigni? Czy matryca mikrodźwigni MetMolMEMS, np. połączona w struktury w konfiguracji mostka Andersona (str. 67) pozwoliłaby na pomiar ww. procesów? Omawiając zasadę realizacji pomiaru krzywej odwróconej spektroskopii sił Autor wspomina o ostatnim etapie, nagłemu zerwaniu kontaktu, któremu towarzyszą drgania gasnące.

Czy drgania te mogą zostać wykorzystane w metrologii do opisu właściwości badanego materiału lub środowiska pomiarowego?

3. W rozdziale poświęconym generacji 1 dźwigni MNS-DIAG Autor odnosi się do możliwości zastosowania mikromechanicznej voltametrii cyklicznej. Będąc elektrochemikiem naturalnie nasuwa mi się pytanie – czy współpracowane przez Autora dźwignie oraz praca w trybie odwróconej spektroskopii sił umożliwiają na jednoczesne współprowadzenie procesu elektrochemicznego?
4. W opisie dźwigni MetMolMEMS Autor wspomina, że domieszkowanie ich fosforem nie sprawdziło się, a struktury te „nie przetrwały kolejnych procesów technologicznych”. Czy mógłbym prosić o doprecyzowanie obserwowanych problemów, szczególnie że Autor podkreśla znaczenie domieszkowania materiału dźwigni fosforem w celu osiągnięcia materiałów typu n+ w dźwigniach MetMolMEMS v2 czwartej generacji. Z czego wynikał zaproponowany poziom domieszkowania różnych struktur MetMolMEMS? Czy kierowano się tutaj wyłącznie minimalizacją rezystancji w pętli Lorentza?
5. W procesie optymalizacji geometrii dźwigni Autor nie użył (lub nie opisał) współczynników wagowych dla każdego z optymalizowanych parametrów, ani referencji do innych podobnych badań. Jakimi priorytetami kierował się Autor przy optymalizacji?
6. Prosiłbym o rozbudowę opisu cząstek diamentu, użytych jako ostrze dźwigni MetMolMEMS. Jakie było pochodzenie diamentu (HPHT, CVD, DND, inne?), czy był to produkt komercyjny? Jakie były rozmiary ostrza? Czy był to diament niedomieszkowany? Czy cięcie diamentu wzdłuż określonej płaszczyzny krystalograficznej stanowiło istotny element z punktu widzenia przygotowania ostrza?
7. Autor postuluje, że dla sił kapilarnych największy wpływ na interakcję sfunkcjonalizowana mikrodźwignia – próbka będą miała właściwości hydrofilowe. Czy zbadano kąty zwilżania dla każdej z powierzchni złota po funkcjonalizacji? Niestety nie znalazłem w rozprawie jasnej informacji czy eksperyment w rozdziale 6.10 i 6.11 prowadzone były w roztworze czy bez. Jeżeli w roztworze prosiłbym o sprecyzowanie wartości pH. Jest to szczególnie istotne z punktu widzenia analizy oczekiwanych oddziaływań międzycząsteczkowych. Autor zakłada, że pomiędzy terminującymi próbkę i mikroostrze grupami funkcyjnymi tworzą się wiązania wodorowe, jednak ten typ wiązań rzadko występuje w fazie gazowej. W tym samym aspekcie zastanawia mnie również wpływ wilgotności, czy Autor zakłada np. możliwość tworzenia się kondensatu wodnego na powierzchni badanych próbek?
8. Z jakimi dalszymi wyzwaniem natury technicznej, lub innej, musiałby się Autor zmierzyć w celu przedstawienia nie tylko wyników spektroskopowych dla eksperymentu z użyciem RFS, ale również obrazowania rozkładu różnych sił międzycząsteczkowych na powierzchni?
9. W jaki sposób funkcjonalizowano mikrodźwignie? Czy był to proces o charakterze lokalnym, dotyczącym wyłącznie sfery na końcówce mikrodźwigni, czy warstwa mogła samoorganizować się również na powierzchni mikrodźwigni? Czy tego rodzaju zjawisko może mieć wpływ na właściwości mikrodźwigni jak np. obserwowany na Rys 6-22 szum termomechaniczny?



Autora rozprawy cechuje również dbałość o warstwę edytorską rozprawy. prawnie posługuje się on terminologią z zakresu elektroniki, fizyki oraz nanotechnologii. Tekst zawiera bardzo nieliczne błędy gramatyczne, również grafiki obrazujące opisywane zjawiska i eksperymenty są przygotowane w czytelny sposób. Poniżej przedstawiam kilka uwag natury formalnej i edytorskiej, co do których nie oczekuję od Autora reakcji.

1. Autor poczynając od str. 39 i dalej w manuskrypcie wielokrotnie opisuje negatywne wartości siły, co domyślnie kojarzy się z wartościami niższymi niż zero. Siła jest wartością wektorową, jej zdefiniowanie wymaga podania kierunku, zwrotu i wartości. Autor w mojej ocenie powinien doprecyzować w rozprawie, że ujemna siła oznacza wyłącznie skierowanie wektora przeciwnie niż wcześniej zadany zwrot. W przeciwnym wypadku niejednoznaczne jest np. stwierdzenie „dalsze zwiększanie siły do -6 nN”.
2. Określenie „materiał molekularny” na str. 42 jest wyjątkowo nieprecyzyjne. Nie jest jasne czy chodzi o układy makromolekularne czy bardziej generalnie – związki chemiczne. Podobnie tłumaczenie z ang. *sacrificial layer* jako „warstwa poświęcana” na str. 66 wydaje się być nietrafione. Poprawne określenie to cząstki, nie cząsteczki diamentu (str. 78, 79).
3. Legenda na rysunkach 5.16, 6.11, 6.12 czy 6.22 nie jest tożsama z opisami, które zostały przedstawione w rozdziale 5.5.
4. Autor powinien był zastosować polskie nazwy odczynników chemicznych, wykorzystanych w rozdziałach 6.10 i 6.11.

Całokształt zaprezentowanych prac o charakterze techniczno-inżynierskim jak również naukowym, (szczególnie z zakresu elektroniki, fizyki i nanotechnologii) stanowi kompleksowe podejście do problemu badawczego, którym było zaprojektowanie oraz wdrożenie nowych narzędzi (matryc mikrodźwigni aktuowanych magnetoelektrycznie) oraz nowej metodologii pomiarowej (odwróconej spektroskopii sił) w badaniach fizykochemicznych oddziaływań makromolekularnych. Autor efektywnie zrealizował wszystkie, stawiane przed sobą cele badawcze. Słuszność założeń proponowanej metodologii RFS Autor udowodnił eksperymentalnie na wybranym przykładzie oddziaływań międzycząsteczkowych związków chemicznych zawierających grupy funkcyjne: aminową, karboksylową lub metylową. Głębia rozpatrywanego przez mgr inż. Wojciecha Majstrzyka problemu, jak również jego znaczenie dla rozwoju metrologii w nanotechnologii, zasługują w mojej ocenie na szczególne wyróżnienie. Bardzo wysoko cenię również zaangażowanie Autora w opracowanie nowych metod wzorcowania i skalowania przetworników ugięcia, które, jeżeli zostaną wprowadzone w kanon metrologii sił, mogą przyczynić się do wzrostu odtwarzalności i ujednolicenia uzyskiwanych wyników. Wartość dodaną stanowi również budowa oprogramowania MTSA, opracowanego przez Autora rozprawy, rozwijanego i wykorzystywanego przez pracowników Katedry Nanometrologii w metrologii sił, w trybach, m.in. do pomiaru sił adhezji, szumu termomechanicznego, obliczania parametrów statystycznych i zniekształceń harmonicznnych etc. Budowa zarówno narzędzi pomiarowych, zaproponowane i wdrożone rozwiązania aktuacji dźwigni, metody pomiaru czy samo oprogramowanie świadczą o silnym, praktycznym znaczeniu rozprawy oraz wyjątkowej sprawności inżynierskiej mgr inż. Wojciecha Majstrzyka. W mojej ocenie rozwiązania te powinny (o ile jeszcze nie są) być komercjalizowane.

Podsumowując swoją recenzję stwierdzam, że oceniana rozprawa doktorska mgr inż. Wojciecha Majstrzyka, pt.: „Matryce dźwigni magnetoelektrycznych w metrologii oddziaływań molekularnych” znacząco

przekracza formalne wymogi stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z ustawą z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. poz. 1668 z późn. zm.). Wobec powyższego, wnoszę do Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Wrocławskiej o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie mgr inż. Wojciecha Majstrzyka do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Jednocześnie, zwracam się do wysokiej Rady Naukowej z wnioskiem o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr inż. Wojciecha Majstrzyka, kierując się bardzo wysokim poziomem prowadzonych badań, które znacząco wykraczają poza istniejący stan wiedzy. Proponowane rozwiązania i wdrożoną metodologię pomiarową cechuje wysoki stopień innowacyjności, przejawiająca się wysoką wartością w badaniach podstawowych oraz aplikacyjna.

