

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Aleksandry Waszczuk-Młyńskiej
pt. „Diagnostyka uszkodzeń układów płytowych i membranowych”

1. Ogólna charakterystyka pracy

Metody diagnostyki, w tym metody wczesnej detekcji, lokalizacji i identyfikacji uszkodzeń w strukturach, są obecnie niezwykle istotne w świetle stosowanych metodyk projektowania i eksploatacji środków technicznych, takich jak filozofia tolerowanego uszkodzenia lub filozofia monitorowania na podstawie stanu. Rozwój takich metod, jak słusznie zauważa Autorka pracy, jest skupiony głównie na zwiększeniu możliwości detekcji, lokalizacji i identyfikacji uszkodzeń w możliwie wczesnym stadium ich rozwoju, począwszy od etapu nukleacji. Istotną grupą metod diagnostycznych w zagadnieniach diagnostyki strukturalnej jest grupa metod wspartych modelowo, do których należy zaliczyć metodę opracowaną przez Autorkę rozprawy. W swojej rozprawie Autorka skutecznie łączy narzędzia matematyczne, m.in. zagadnienia mechaniki ośrodków ciągłych, różne rodzaje transformat Hilberta, z zagadnieniem wczesnej detekcji i lokalizacji uszkodzeń w oparciu o parametry modalne struktury.

Uważam zatem, że wybór tematu rozprawy jest w pełni uzasadniony, biorąc pod uwagę obecne trendy badawcze w rozwoju metod diagnostycznych, a także zapotrzebowanie na takie metody ze strony przemysłu.

Rozprawa zawiera 106 stron maszynopisu oraz składa się ze spisu treści, streszczeń w języku polskim i angielskim, ośmiu rozdziałów, bibliografii oraz załącznika.

Rozdział 1. ma charakter wprowadzenia, w którym Autorka wyjaśnia potrzeby rozwoju metod diagnostyki strukturalnej, oraz bardzo krótkiego przeglądu literatury, w którym omówione są podstawowe metody detekcji i lokalizacji uszkodzeń na podstawie parametrów modalnych struktury.

Rozdział 2. przedstawia model analityczny membrany kołowej oraz drugi model, uwzględniający uszkodzenie w środku membrany, zaproponowany przez Autorkę. Rozwiązanie analityczne zostało zaprezentowane w postaci rekurencyjnej, a rozdział został zakończony przykładem jego zastosowania do obliczenia pierwszej częstotliwości drgań membrany bez uszkodzenia oraz z dwoma wariantami uszkodzenia.

Rozdział 3. przedstawia krótki wstęp do metody elementów skończonych, zasady prowadzenia symulacji w środowisku ANSYS oraz wyniki obliczeń numerycznych pierwszej częstotliwości drgań własnych membrany we wspomnianych trzech wariantach z wykorzystaniem metody elementów skończonych.

W rozdziale 4. Autorka charakteryzuje urządzenia pomiarowe do pomiaru drgań, opisuje przebieg eksperymentów oraz analizuje i podsumowuje wyniki badań eksperymentalnych w zakresie wykrywania uszkodzeń w membranie.

S.M.R./...
09.08.2018.

Rozdział 5. poświęcony jest przekształceniu Hilberta, w którym Autorka definiuje przekształcenie, a następnie jego odmiany: ułamkową i uogólnioną. W dalszej części pracy, w oparciu o przedstawione transformaty Autorka przedstawia wyniki analizy danych eksperymentalnych w zakresie wykrywalności uszkodzeń w membranie kołowej. Na podstawie zaobserwowanych w widmach składowych częstotliwościowych Autorka postuluje możliwość wykrywania uszkodzeń w membranach.

W rozdziale 6. Autorka przedstawia krótki przegląd w zakresie rozkładów prawdopodobieństwa oraz momentów widmowych, a także ich zastosowania do wykrywania uszkodzeń w membranie. Na podstawie przebiegów wartości momentów, a zwłaszcza ich kierunków, Autorka postuluje możliwość wykrywania uszkodzeń w membranach.

Rozdział 7. dotyczy problematyki lokalizacji uszkodzeń, gdzie Autorka przedstawia wyniki własnych rozważań w zakresie możliwości określenia lokalizacji potencjalnego uszkodzenia na podstawie przebiegów momentów widmowych.

W rozdziale 8. Autorka podsumowuje rozprawę oraz przytacza dowody w celu obrony postawionych tez naukowych.

Bibliografia zawiera 70 pozycji, z czego 2 pozycje są współautorstwa Autorki oraz 1 pozycja jest Jej pracą inżynierską. Pracę kończy załącznik, zawierający wyniki analiz z rozdziału 7.

2. Cel pracy i tezy naukowe

W podrozdziale 1.3 (str. 19) Autorka zdefiniowała cel pracy, w ramach którego stawia sobie za zadanie opracowanie modelu membrany z uszkodzeniem oraz jego walidację eksperymentalną. Zgodnie z celem pracy zarówno model, jak i wyniki walidacji powinny być wykorzystane do diagnostyki uszkodzeń. Analizując całość rozprawy, tak sformułowany cel budzi wątpliwości. Zdaniem recenzenta akcent powinien być położony przede wszystkim na aspekt diagnostyczny pracy, gdyż opracowany model analityczny, po jego weryfikacji w eksperymentach: numerycznym (rozdział 3) i fizycznym (rozdział 4), nie jest wykorzystywany w dalszej części pracy do osiągnięcia postawionego celu; w dalszych rozdziałach badania są prowadzone na wynikach badań eksperymentalnych.

Autorka formułuje także dwie tezy. W pierwszej z nich Autorka postuluje, że uszkodzenie w środku membrany może być analizowane z wykorzystaniem opracowanego modelu analitycznego. Uważam, że teza ta została spełniona poprzez przedstawienie przykładu w podrozdziale 2.3, w którym wykazuje różnice w pierwszej częstotliwości drgań własnych membrany bez uszkodzeń oraz z dwoma wariantami uszkodzenia.

W drugiej tezie Autorka postuluje, że „efekty modulacyjne w postaci drgań własnych płaskich układów ciągłych związane z powstawaniem i rozwojem uszkodzeń tych struktur, mogą być diagnozowane za pomocą metody momentów widmowych pasm widma obwiedni sygnału analitycznego uogólnionej transformaty Hilberta”. W tej tezie Autorka przyrównuje pojęcie „płaskiego układu ciągłego” do pojęcia „struktury”, co jest zasadniczym błędem w świetle powszechnie stosowanej nomenklatury w naukach technicznych. Ponadto, w rozprawie rozważana jest jedynie membrana kołowa, a „płaskie układy ciągłe” obejmują znacznie szerszą grupę układów. W pracy brak jest uogólnień na inne płaskie układy ciągłe, w związku z tym tezę uważam za nieudowodnioną. Ostatecznie, w przypadku pominięcia powyższego faktu, dowód tezy opiera się na wybranych wynikach, które dodatkowo są niejednoznaczne, zwłaszcza w kwestii lokalizacji uszkodzeń. Tezę tę można podważyć na podstawie kontrprzykładów w postaci wyników zamieszczonych w załączniku.

3. Ocena merytoryczna pracy

W literaturze przedmiotu istnieje wiele metod wczesnego wykrywania uszkodzeń w strukturach, a metody oparte na analizie modalnej stanowią istotną grupę metod, pozwalających na precyzyjną detekcję, a niekiedy lokalizację i identyfikację uszkodzeń. Jednak, prace w zakresie poszukiwania

metod coraz bardziej wrażliwych na różne rodzaje uszkodzeń i wad strukturalnych ciągle trwają, dlatego podjętą tematykę badań uważam za w pełni uzasadnioną.

W ramach prowadzonych przez Autorkę badań zaproponowane zostało podejście oparte na modelu analitycznym membrany z uszkodzeniem. W kolejnych rozdziałach podjęta została próba weryfikacji modelu analitycznego w eksperymentach numerycznym i laboratoryjnym. Podejście to ma potencjał w zakresie rozwoju metody diagnostycznej wspartej modelowo, gdzie model analityczny, odpowiednio dostrojony, mógłby być wykorzystany do celów porównawczych z danymi eksperymentalnymi. W dalszej części pracy Autorka zaniechała wykorzystanie opracowanego modelu i podjęła prace w zakresie ulepszenia detekcji uszkodzeń, wykorzystując w tym celu różne rodzaje transformaty Hilberta, rozkłady prawdopodobieństwa oraz momenty widmowe. Opracowana metoda sprawdziła się w zakresie wykrywania uszkodzeń, zagadnienie lokalizacji uszkodzeń wymaga dalszych prac. Trudno jednak doszukać się spójności pomiędzy opracowanym modelem analitycznym a procedurami przekształcania i przetwarzania sygnałów pomiarowych w kontekście diagnostyki uszkodzeń w strukturach.

Dobór i analiza piśmiennictwa w rozprawie wymaga odrębnego komentarza. Przegląd literatury zamieszczony w podrozdziale 1.2 rozprawy (str. 14-18) uważam za zbyt ubogi w świetle wymogów stawianych pracom doktorskim na uczelniach technicznych w kraju. Przegląd opiera się na koncepcjach i miarach uszkodzeń głównie z lat 80. i 90. XX wieku, zaś współcześnie stosowane podejścia w zakresie detekcji i lokalizacji uszkodzeń potraktowano pobieżnie i omówiono na ostatniej stronie tego podrozdziału (str. 18).

Niezrozumiałe jest ograniczenie przeglądu jedynie do zagadnień diagnostyki strukturalnej, biorąc pod uwagę, że praca opiera się na modelu analitycznym drgań membrany z uszkodzeniem. Brakuje przeglądu w zakresie modelowania układów płytowych i membranowych, w tym z uszkodzeniami oraz w zakresie metod rozwiązywania takich zagadnień. De facto, rozpatrywany problem sprowadza się do problemu drgań pierścienia. W tym zakresie bogata literatura, zwłaszcza z okresu XX wieku pozwoliłaby na szczegółową analizę opracowanych rozwiązań (m.in. prace Timoshenko, Ambartsumiana, Leissy) oraz podkreślenia oryginalności przedstawionego problemu i jego rozwiązania.

Ponadto, zbędnym wydaje się przegląd dot. metody elementów skończonych i zasad użytkowania oprogramowania ANSYS, który został przedstawiony w podrozdziałach 3.1 oraz 3.2 (str. 36-39). Zarówno metoda elementów skończonych jak i podstawy obsługi oprogramowania ANSYS są dobrze znane w środowisku inżynierów mechaników, co pozwala ograniczyć się jedynie do najważniejszych informacji, mających związek z wykonywanymi symulacjami. Poza dużą liczbą błędów gramatycznych, niektóre sformułowania są trywialne i napisane językiem potocznym.

4. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Lektura rozprawy doktorskiej nasuwa pewne komentarze, uwagi krytyczne i dyskusyjne.

- 1) We wstępie na str. 13 Autorka definiuje różnicę pomiędzy membraną a płytą następująco: „membrana ma zerową sztywność na zginanie, a płyta ma skończoną niezerową sztywność na zginanie”. Należy zauważyć, że powyższe stwierdzenie zawiera pewien skrót myślowy, który nie został wyjaśniony. Otóż, membrany również posiadają niezerową skończoną sztywność na zginanie, jednak do celów modelowania w sensie mechaniki ośrodków ciągłych oraz wykonywania obliczeń inżynierskich przyjmuje się uproszczenie, o którym wspomina Autorka.
- 2) Analizując model matematyczny membrany kołowej, przedstawiony w podrozdziale 2.1, należy stwierdzić podstawowe braki w sformułowaniu zagadnienia drgań membrany, m. in. brak opisu założeń i uproszczeń. Przyjęte założenia wymagają głębszego komentarza, m. in. dot. odkształceń membrany, jej tłumienia, gęstości oraz warunków początkowych z uwagi na występowanie w równaniu (2.1) czasu jako argumentu funkcji odkształceń oraz obciążeń. Po przedstawieniu ogólnego rozwiązania w postaci zmiennych rozdzielonych (2.9), Autorka przedstawia trzy równania, odpowiadające poszczególnym zmiennym, z których pierwsze

równanie (2.10) dotyczy składowej czasowej. Następnie Autorka przechodzi do rozwiązania zagadnienia drgań membrany już stacjonarnego. Przejście takie wymaga dodatkowych komentarzy.

- 3) W podrozdziale 3.3 Autorka omawia wyniki symulacji numerycznej z wykorzystaniem metody elementów skończonych. Poza niekonsekwencją w oznaczeniach (w Tab. 2.2 rozmiar uszkodzenia jest opisany promieniem, a w Tab. 3.1 średnicą uszkodzenia), niezbędne są szczegółowe informacje dot. przygotowanego modelu, takie jak właściwości materiałowe i geometryczne membrany (lub odniesienie do nich), a także parametry siatki elementów skończonych (m. in. rodzaj i wielkość elementów, algorytmy podziału membrany na elementy skończone) oraz algorytm numeryczny, który został użyty do uzyskania wyników przedstawionych w podrozdziale 3.3. W obecnym stanie rzeczy wyniki nie powinny być między sobą porównywane, gdyż nie jest znana niepewność (błąd), która wynika z zastosowania metody przybliżonej do rozwiązania problemu.
- 4) W podrozdziale 4.2 Autorka opisuje wykonane badania, natomiast poza obiektem badań (muzyczny instrument perkusyjny), schematem i interfejsem aplikacji wykonanej w środowisku LabView oraz zdjęć pojedynczych urządzeń wykorzystanych do badań nie jest znana postać toru pomiarowego. Nie zamieszczono fotografii ani schematów torów pomiarowych w konfiguracjach z czujnikiem piezoelektrycznym oraz z wibrometrem laserowym. Wątpliwości budzi także odsyłacz do pozycji [57] przy opisie urządzeń pomiarowych, który odsyła do pracy magisterskiej osoby trzeciej. Sposób przeprowadzenia pomiarów wymaga szczegółowych komentarzy.
- 5) W podrozdziale 4.1.2 Autorka opisuje zjawisko piezoelektryczności oraz zasadę działania elementów piezoelektrycznych, a następnie w podrozdziale 4.2 opisuje wykorzystanie elementu piezoelektrycznego w układzie pomiarowym. Jednak wyniki z pomiarów w tak zestawionym torze pomiarowym nie zostały w pracy omówione i jawnie przedstawione. Wyników tych można dopatrzeć się na Rys. 4.6, gdzie pierwsza częstotliwość drgań własnych wynosi ok. 125 Hz. Wyjaśnienia wymaga tak duża różnica pomiędzy wynikami teoretycznymi a eksperymentalnymi. Komentarz w drugim akapicie na str. 52 nie wyczerpuje problemu.
- 6) Wyjaśnienia wymaga zastosowany układ punktów pomiarowych w nałożonej siatce (przedstawiony na Rys. 4.8): nie jest zrozumiałe, dlaczego w przypadku membrany osiowoosymetrycznej nie została zastosowana siatka w układzie współrzędnych biegunowych do wykonania tych pomiarów (umożliwia to zastosowane oprogramowanie). Właściwa siatka została natomiast zobrazowana na Rys. 4.11, jednak tylko do prezentacji pierwszych dwóch postaci giętnych drgań membrany. Nieznana jest przedstawiona postać drgań zobrazowana na Rys. 4.9. Postać siatki, mimo, że możliwe jest określenie częstotliwości drgań własnych membrany na podstawie nawet jednego punktu pomiarowego, wprowadza dodatkowe błędy przy wyznaczaniu tych częstotliwości i amplitud. Wyniki przedstawione na Rys. 4.10 oraz w Tab. 4.1 również nie powinny być użyte do porównania, gdyż nieznane są parametry naciągu membrany, które, jak słusznie zauważa Autorka rozprawy na str. 46, mają decydujący wpływ na częstotliwości drgań własnych. Brakuje również informacji o częstotliwości próbkowania w wykonywanych pomiarach. Istotnym parametrem przy badaniach z wykorzystaniem wibrometru laserowego jest zdolność badanej powierzchni do odbijania wiązki lasera. Dodatkowych komentarzy wymaga testowanie tego parametru oraz podjęte środki zaradcze w przypadku niedostatecznej jakości pozyskiwanego sygnału prędkości drgań.
- 7) Postacie drgań przedstawione na Rys. 4.11 wymagają dyskusji. Stwierdzenie, że „interesujące są przede wszystkim pierwsza i druga postać drgań [własnych]” jest częściowo nieprawdziwe pod względem ich przydatności do detekcji uszkodzeń. Mając na uwadze fakt, że uszkodzenie jest wprowadzone w środku geometrycznym membrany, pierwsza postać drgań będzie szczególnie wrażliwa na obecność uszkodzenia, gdyż ekstremum krzywizny postaci własnej pokrywa się z położeniem uszkodzenia. Inaczej jest w przypadku drugiej postaci własnej, gdyż uszkodzenie znajduje się na linii węzłowej i tym samym jego wpływ na zmiany częstotliwości

jest ograniczony. Nie wiadomo również co jest przyczyną zaburzeń w obu postaciach własnych widocznych w ich górnych częściach.

- 8) Stwierdzenie, że eksperymentalne postacie drgań pokrywają się z postaciami uzyskanymi z eksperymentu numerycznego (str. 52) zostało podparte dowodem tylko częściowo, gdyż druga postać drgań membrany w eksperymencie numerycznym nie została przedstawiona.
- 9) Na postawie argumentów zawartych w uwadze 5. można poddać w wątpliwość wnioski o tym, że wyniki uzyskane z pomiarów z wykorzystaniem elementu piezoelektrycznego oraz wibrometru laserowego są zbieżne. Konieczny jest obszerniejszy komentarz Autorki oraz wyniki badań, które potwierdzają ten wniosek.
- 10) W rozdziale 5. zostały zastosowane różne wersje transformaty Hilberta w celu zwiększenia wiarygodności przy detekcji uszkodzeń. Na podstawie przedstawionych wyników można wnioskować jedynie o zmianie w widmie sygnału, na podstawie którego prowadzona jest analiza. Konieczne jest dodatkowe wyjaśnienie, jakie prawidłowości w obserwowanych widmach świadczą o występowaniu uszkodzenia. Nie jest także zrozumiałe jaki związek funkcyjny mają składowe, do których odnosi się Autorka na str. 62 oraz 67 z częstotliwościami drgań własnych badanej membrany. Brakuje również komentarza, dlaczego widma przedstawione na Rys. 5.9-5.11 zostały ograniczone do 70 Hz na osi częstotliwości.
- 11) W rozdziale 6. do wykrywania uszkodzenia zostały wykorzystane cechy statystyczne. Komentarza wymaga kryterium wyboru tych cech (oczywistym kryterium jest wrażliwość na zmiany spowodowane obecnością uszkodzenia). Ponadto, jak wytłumaczyć spadek wartości entropii wraz z pojawieniem się i wzrostem wielkości uszkodzenia?
- 12) W preambule podrozdziału 6.2 jest mowa o ograniczeniu rozpatrywanych unormowanych momentów widmowych do trzeciego rzędu ze względu na brak dodatkowych informacji w przypadku momentów wyższych rzędów. Nie jest zrozumiałe, na jakich wynikach opiera się Autorka, wysnuwając dany wniosek. O jakim obiekcie badań jest mowa w preambule do podrozdziału 6.2?
- 13) Wnioski przedstawione w podrozdziale 7.2 budzą wątpliwości, gdyż zaproponowany sposób lokalizacji uszkodzenia, opierający się na zmianach charakteru przebiegu krzywych opisujących momenty widmowe sprawdza się jedynie w kilku przypadkach, które zostały przedstawione na Rys. 7.3 i 7.4. Wyniki zamieszczone w załączniku w zdecydowanej większości przypadków nie wykazują takiej zależności. Czy istnieją dodatkowe wyniki, potwierdzające wnioski w podrozdziale 7.2?
- 14) We wstępie oraz w rozdziale 1. rozprawy jest mowa, obok układów membranowych, również o układach płytowych, dla których „przedstawiono metodę wykrywania uszkodzeń”, jak pisze Autorka w streszczeniu pracy (str. 7). Do diagnozowania układów płytowych nawiązuje również tytuł rozprawy. W części twórczej pracy natomiast nie udało się znaleźć żadnej wzmianki o diagnostyce układów płytowych, nawet w postaci uogólnienia układów membranowych na układy płytowe na którymkolwiek z etapów przeprowadzonych badań. Komentarz Autorki w tej kwestii jest pożądany.

Lektura pracy jest szczególnie utrudniona ze względu na niestosowanie przez Autorkę znaków interpunkcyjnych praktycznie w całej pracy, a także liczne błędy redakcyjne i techniczne, których szczegółowy wykaz zestawiono poniżej:

- 1) Str. 3, spis treści: błąd w nazwie podrozdziału 4.1.
- 2) Str. 7, pierwsze zdanie w ostatnim akapicie: użyto zwrotu „mówiono”, a powinno być „omówiono”.
- 3) Tamże, użyto zwrotu „ułamkowa transformata Hilberta”, a powinno być „ułamkową transformatę Hilberta”.
- 4) Tamże: zdanie niepoprawne gramatycznie: „Ostatnią metodą omówioną w pracy i która dała najlepsze wyniki wykorzystywała analizę momentów widmowych”.

- 5) Str. 8, pierwsze zdanie od dołu: użyto zwrotu „Dodatkowa zaleta”, a powinno być „Dodatkową zaletą”.
- 6) W anglojęzycznej wersji streszczenia na str. 9, 4. zdanie w ostatnim akapicie użyto zwrotu „The paper”, powinno być „The thesis”, „The dissertation” lub zwrot pokrewny. Podobnie w kolejnym zdaniu.
- 7) Str. 13, pierwsze zdanie od dołu: użyto zwrotu „obserwowanie”, a powinno być „obserwowane”.
- 8) Str. 14, pierwsze zdanie w podrozdziale 1.2, literówka w słowie „konstrukcyjnych”.
- 9) Str. 14, drugie zdanie w drugim akapicie podrozdziału 1.2: użyto zwrotu „Duża zaleta”, a powinno być „Dużą zaletą”.
- 10) Tamże: Autorka posługuje się zwrotem „moduły elastosprężyste”, co z zasady jest zwrotem niepoprawnym i który może być uznany za pleonazm. Jest to połączenie anglojęzycznego zwrotu „elastic modulus” oraz polskojęzycznego „moduł sprężysty”. Należy używać zwrotu „moduł sprężysty”.
- 11) Str. 15, pierwsze zdanie od góry: użyto zwrotu „musiałyby”, a powinno być „musiałyby”.
- 12) Str. 15, pierwsze zdanie od dołu: użyto zwrotu „opisaną”, a powinno być „opisana”.
- 13) Str. 18: pierwsze zdanie w 4. akapicie: użyto zwrotu „jest duże lepszych”, a powinno być „jest dużo lepszych”.
- 14) Rozdział 2.: w całym rozdziale niekonsekwentnie stosuje się oznaczenie funkcji, które przyjęto oznaczać czcionką zwykłą, a nie kursywą. Z tego względu czytelność wzorów jest utrudniona, zwłaszcza w podrozdziale 2.2. Natomiast zmienne skalarne oznaczamy kursywą, co nie zawsze ma odzwierciedlenie w tekście rozprawy.
- 15) Tamże: w rozdziale jednocześnie i zamiennie używa się trzech różnych notacji oznaczania pochodnych, co również utrudnia odbiór pracy.
- 16) Brak odniesień w tekście do Rys. 2.1.
- 17) Str. 24: „nieuszkodzonej” pisze się razem.
- 18) Str. 30: użyto zwrotu „wartość operator Laplace’a”, a powinno być „wartość operatora Laplace’a”.
- 19) Str. 34: pierwsze zdanie podrozdziału 2.3 – użyto zwrotu „w który zostaną zaprezentowane”, a powinno być „w którym zostaną zaprezentowane”.
- 20) Str. 35, trzecie zdanie od góry: użyto zwrotów „jest zmiany napięcia” oraz „wzoru”, a powinno być odpowiednio „jest zmiana napięcia” oraz „wzoru”.
- 21) Str. 37, pierwsze zdanie od góry: użyto zwrotu „przyjmowana jest funkcja aproksymującą, jednoznacznie określającą”, a powinno być „przyjmowana jest funkcja aproksymująca, jednoznacznie określająca”.
- 22) Tamże, trzecie zdanie od góry: użyto zwrotu „zebranie w jedną całość”, który dodatkowo jest pleonazmem, powinno być „zebranie w całość”.
- 23) Tamże, pierwsze zdanie w ostatnim akapicie: jest „Zastosowanie metody elementów skończonych do różnych dziedzin nauki i inżynierii do jest bardzo szerokie.”, powinno być „Zastosowanie metody elementów skończonych do różnych dziedzin nauki i inżynierii jest bardzo szerokie.”.
- 24) Str. 38, pierwsze zdanie w podrozdziale 3.2: użyto zwrotu „jest jednym z programów wykorzystujących”, a powinno być „jest jednym z programów wykorzystujących”.
- 25) Tamże, wypunktowanie: użyto zwrotu „etap przygotowania do obliczeń w skład której wchodzi”, a powinno być „etap przygotowania do obliczeń w skład którego wchodzi”.
- 26) Tamże, trzecie zdanie od dołu: użyto zwrotu „nazwę określającą kategorie elementu”, a powinno być „nazwę określającą kategorię elementu”.
- 27) Str. 41, drugie zdanie od góry: „zorientowaniana” osobno.
- 28) Tamże, wypunktowanie, pkt. 4: użyto zwrotu „koinjencji”, które nie jest obecne w nomenklaturze nauk technicznych, a jego znaczenie nie zostało wyjaśnione w rozprawie.

- 29) Str. 42, pierwsze zdanie po wypunktowaniu: użyto zwrotu „Pomiar w dużej mierze zależny od przyrządu”, a powinno być „Pomiar w dużej mierze zależy od przyrządu” lub „Pomiar w dużej mierze jest zależny od przyrządu”.
- 30) Tamże, drugie zdanie od dołu oraz opisy na Rys. 4.2: użyto zwrotu „cela Bragga”, który jest anglicyzmem, w kraju przyjęła się nazwa „komórka Bragga”.
- 31) Str. 44, pierwsze zdanie w drugim akapicie: Autorka stwierdza, że „Dzięki wibrometrowi laserowemu można dokonać analizy drgań konstrukcji zarówno w dziedzinie czasu, jak i częstotliwości.”, co nie jest zgodne z prawdą. Wibrometr laserowy może być wykorzystany jedynie do akwizycji sygnału pomiarowego, natomiast analizy dokonuje się zazwyczaj w oprogramowaniu komputerowym, w danym przypadku – oprogramowaniu dedykowanemu do wibrometru PSV-400.
- 32) Tamże, drugie zdanie w przedostatnim akapicie: użycie wyrazu „ceramiki” należy zastąpić zwrotem „materiały ceramiczne”, a „kwas DNA” po prostu „DNA”, gdyż powstaje w tym przypadku pleonazm, DNA bowiem oznacza (z ang. *deoxyribonucleic acid*) kwas deoksyrybonukleinowy.
- 33) Str. 46: błąd w tytule podrozdziału 4.2: jest „Przebieg badanie”, a powinno być „Przebieg badania”.
- 34) Tamże, pierwsze zdanie w drugim akapicie: jest „z piezoelektrykim”, powinno być „z piezoelektrykiem”, biorąc pod uwagę tylko stronę gramatyczną. Ponadto, w rozprawie używa się jednocześnie i zamiennie pojęć „element piezoelektryczny”, „element piezo” oraz „piezoelektryk”, co wymagałoby ujednolicenia.
- 35) Str. 48: „W pracy wyniki głównie są z pomiarów wibrometrem, ponieważ daje on większe możliwości pomiaru, to znaczy, a szczególnie ważną zaletą jest możliwość wykonywania pomiaru w wielu punktach jednocześnie.” jest gramatycznie niepoprawne.
- 36) Str. 49, drugie zdanie od góry: użyto zwrotu „poddana wymuszeniem w postaci”, a powinno być „poddano wymuszeniu w postaci”.
- 37) Tamże, kolejne zdanie: użyto zwrotu „Uzyskano widmo amplitudowe, która obliczona jako średnią”, a powinno być „Uzyskano widmo amplitudowe, które obliczono jako średnią”.
- 38) Str. 52, drugi akapit: zdanie jest niepoprawne gramatycznie.
- 39) Tamże, trzecie zdanie od dołu: użyto zwrotu „mogą wystąpić nie tylko w wyniku uszkodzenie”, a powinno być „mogą wystąpić nie tylko w wyniku uszkodzenia”.
- 40) Str. 55, ostatnie zdanie w podrozdziale 5.1: użyto zwrotu „przez identyfikacje różnych zjawisk”, a powinno być „przez identyfikację różnych zjawisk”.
- 41) Tamże, pierwsze zdanie w podrozdziale 5.2: powinno być „odpowieź” zamiast „odpowiedz”.
- 42) Str. 56 i dalej: niepoprawny skrót – jest „FrTH”, a powinno być „FrHT” na podstawie nazwy anglojęzycznej na str. 56. Jeżeli Autorka przyjmuje jednak skrót od nazwy polskojęzycznej, to skrót jest niespójny ze skrótem do transformaty Hilberta (HT), stosowanym wcześniej, oraz skrótem do uogólnionej transformaty Hilberta (GHT), stosowanym w dalszej części rozprawy.
- 43) Brak odniesień w tekście do Rys. 5.2.
- 44) Str. 58, drugie zdanie w podrozdziale 5.5: zdanie niepoprawne gramatycznie.
- 45) Str. 60: zastosowane określenie „filtr pasmowy” jest nieprecyzyjne, można rozumieć go jako filtr pasmowo-przepustowy, jak i pasmowo-zaporowy.
- 46) Str. 61: „niema” w danym znaczeniu piszemy osobno.
- 47) Str. 62, drugie zdanie od góry: zdanie niepoprawne gramatycznie.
- 48) Str. 67, trzecie zdanie od góry: użyto zwrotu „jest miarę gładki”, a powinno być „jest w miarę gładki”.
- 49) Tamże, pierwsze zdanie w drugim akapicie: zamiast „koło 40 Hz” powinno być „około 40 Hz”.
- 50) Tamże, pierwsze zdanie w przedostatnim akapicie: zamiast „wszystkich transformaty Hilberta” powinno być „wszystkich transformat Hilberta”.
- 51) Str. 68, drugi akapit: pierwsze dwa zdania zawierają błędy gramatyczne.
- 52) Str. 70, drugie zdanie od dołu: „trzy krotnie” piszemy razem.
- 53) Tamże, ostatnie zdanie: niepoprawne gramatycznie.

- 54) Str. 72: na wykresach na Rys. 6.1 w legendach na sześciu wykresach: jest „funkii”, a powinno być „funkcji”.
- 55) Str. 74, pierwsze zdanie od góry: powtórzone słowo „została”.
- 56) Str. 75, ostatnie zdanie od góry: niepoprawne gramatycznie.
- 57) Str. 76, pierwsze zdanie od góry: powinno być „odpowieź” zamiast „odpowiedz”.
- 58) Tamże, pierwsze zdanie w drugim akapicie: powinno być „zostały zaprezentowane” zamiast „zastały zaprezentowane”.
- 59) Tamże, kolejne zdanie: powinno być „jest wartością stałą” zamiast „jest wartością stała”.
- 60) Str. 78, pierwsze zdanie od dołu: powinno być „które mówią” zamiast „które mówia”.
- 61) Ze względu na występowanie okresowości, kąt α powinien być wyrażony w częściach π , a nie w radianach.
- 62) Str. 80, drugie zdanie od góry: powinno być „elementu” zamiast „elemętu”.
- 63) Tamże, pierwsze zdanie od dołu: powinno być „określić” zamiast „ukreślić”.
- 64) Str. 81, drugie zdanie od góry: powinno być „uogólnioną transformację Hilberta” zamiast „uogólniona transformację Hilberta” oraz „metodę momentów widmowych” zamiast „metoda momentów widmowych”.
- 65) Tamże, kolejne zdanie: powinno być „użyteczną informację” lub „użyteczne informacje” zamiast „użyteczną informację”.
- 66) Str. 85, trzecie zdanie od dołu: powinno być „do trzeciego rzędu” zamiast „do trzeciego rzędy”.
- 67) Str. 87, pierwsze zdanie od góry: powinno być „można ustalić pojawienie się uszkodzenia” zamiast „można ustalić pojawienia się uszkodzenia”.
- 68) Tamże, trzecie zdanie od góry: powinno być „charakter jakościowy, a nie tylko ilościowy” zamiast „charakter jakościowy, a nie tylko ilościowa”.
- 69) Str. 88, drugie zdanie od góry: powinno być „Potrzeba rozwiązania tego zadania została zasygnalizowana” zamiast „Potrzeba rozwiązania tego zadania zastała zasygnalizowana”.
- 70) Tamże, kolejne zdanie: metoda może być podstawą czego?
- 71) Tamże, kolejne zdanie: eksperymenty są policzalne, a więc „liczby eksperymentów”.
- 72) Spis literatury zawiera wiele błędów, zaczynając od błędów ortograficznych (np. już w poz. 1) i kończąc na braku danych bibliograficznych (tomu, numeru, stron) w szeregu pozostałych pozycjach (np. poz. 4, 6, 10-12, 14). W spisie literatury brak jest również konsekwencji w zachowaniu sekwencji w poszczególnych pozycjach (w zdecydowanej większości przypadków rok opublikowania jest na końcu, ale zdarzają się wyjątki) oraz brak ujednolicenia wielkości liter w tytułach (np. poz. 7).

5. Ocena końcowa

Zadaniem recenzenta jest wykazanie, że recenzowana praca wnosi oryginalny wkład w rozwój określonej dziedziny naukowej, za który uważam udowodnienie możliwości wykorzystania momentów widmowych do detekcji uszkodzeń w membranach. Ponadto, przeprowadzone prace w zakresie modelowania, badań eksperymentalnych, przekształcania i przetwarzania sygnałów wskazują na zdolność Autorki do samodzielnego prowadzenia prac naukowo-badawczych.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Aleksandry Waszczuk-Młyńskiej spełnia podstawowe wymagania Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. z 2016 r. poz. 882 i 1311), ze zmianami zawartymi w Ustawie z dnia 21 kwietnia 2017 r. o zmianie ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz niektórych innych ustaw, i wnioskuję o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.

