

prof. dr hab. Inż. Andrzej Dobrucki
Politechnika Wrocławska
Wydział Elektroniki
Katedra Akustyki i Multimediów
Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław
Tel. 71 320 30 68
e-mail: andrzej.dobrucki@pwr.wroc.pl

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Adama Ruziewicza
pt. „Wpływ warunków akustycznych na parametry pracy termoakustycznego silnika Stirlinga”

Rozprawa doktorska została wykonana na Wydziale Mechaniczno-Energetycznym Politechniki Wrocławskiej. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. Inż. Zbigniew Gnutek, zaś promotorem pomocniczym – dr inż. Jacek Lamperski. W jej skład wchodzi 7 rozdziałów, z których pierwszy stanowi wstęp, zaś ostatni jest podsumowaniem pracy. Praca poprzedzona jest streszczeniami w języku polskim i angielskim oraz wykazem oznaczeń i słownikiem pojęć, które są bardzo przydatne podczas lektury. Rozprawa zawiera spis literatury. W spisie tym znajduje się 110 pozycji, wśród których znajduje się 3 pozycje współautorskie Doktoranta. Na końcu rozprawy znajdują się ponadto cztery dodatki, numerowane od A do D. Rozprawa liczy 182 strony, zawiera 79 rysunków i 9 tabel (nie licząc rysunków i tabel w dodatkach).

We wstępie Autor przedstawia przedmiot badań, formułuje cel i tezę rozprawy oraz przedstawia jej plan. Autor formułuje następującą tezę pracy:

Dopasowanie warunków akustycznych w rezonatorze jednosekcyjnego termoakustycznego silnika Stirlinga jest możliwe poprzez zmianę geometrii i usytuowania filtra akustycznego jest możliwe poprzez zmianę geometrii i usytuowania filtra akustycznego dołączonego do rezonatora i wpływa na poprawę parametrów pracy silnika.

Teza taka jest sformułowana prawidłowo, a jej udowodnienie stanowi rozwiązanie istotnego i bardzo aktualnego zagadnienia naukowego. Zjawiska termoakustyczne znane są od dawna, ale dopiero od kilkunastu lat obserwuje się intensyfikację badań w tym zakresie. Dopasowanie impedancji poprzez zastosowanie filtrów akustycznych w celu optymalizacji warunków propagacji w silniku termoakustycznym z falą bieżącą też jest stosowane od pewnego czasu, ale brak było szczegółowych badań dotyczących optymalnego usytuowania i konstrukcji filtrów. Praca doktorska Adama Ruziewicza stanowi ważny wkład w zagadnienie optymalizacji pracy silnika termoakustycznego. Z tezy pracy wynika główny cel pracy, którym jest zbadanie wpływu warunków akustycznych w regeneratorskiej falowodzie jednosekcyjnego termoakustycznego silnika Stirlinga na parametry pracy urządzenia. Cel ten Autor realizuje poprzez stawianie sobie celów cząstkowych, których realizację opisuje w kolejnych rozdziałach.

W rozdziale 2 Autor przedstawia podstawowe informacje z termoakustyki. Opisuje podstawowe elementy konstrukcyjne urządzeń termoakustycznych (regenerator, wymienniki ciepła, falowód), przedstawia bilans energii w urządzeniach oraz związane z obiegami termodynamicznymi rodzaje urządzeń (pompa ciepła, chłodziarka, silnik termoakustyczny). Podaje też klasyfikację urządzeń związaną z wykorzystaniem różnego rodzaju fal akustycznych: urządzenia z falą stojącą, w których konwersja energii opiera się na obiegu Braytona-Joule'a oraz urządzenia z falą biegnącą, wykorzystujące obieg Stirlinga. *Notabene*, tytuły podrozdziałów 2.4.1. i 2.4.2 mają formę: „Obieg

Wydział Mechaniczno-Energetyczny

43/804/2019

Wzięto dnia 04.06.2019

Braytona-Joule'a (Stirlinga) na bazie fali stojącej (biegnącej)". Bardzo mnie razi to sformułowanie „na bazie” - stanowi ono przykład drętwej nowomowy. Użyłbym tu sformułowania „wykorzystujący” lub „oparty na wykorzystaniu”. W rozdziale 2 Autor podaje również podstawowe wiadomości z akustyki, potrzebne do realizacji celów pracy, w tym analogię elektroakustyczną. Ściśle rzecz biorąc, Autor powinien wspomnieć, że istnieją dwie analogie elektroakustyczne: impedancyjna (ciśnieniowa) i prędkościowa. Autor stosuje tylko jedną z nich (impedancyjną) ale dla Czytelnika ważne byłoby uświadomienie, że można stosować też drugi rodzaj analogii o dualnym przyporządkowaniu wielkości elektrycznych i akustycznych. Ostatnią część rozdziału 2 stanowi liniowa teoria termoakustyki, oparta na równaniu różniczkowym Rotta. W swojej pracy Autor stosuje konsekwentnie tę teorię, pomijając zjawiska nieliniowe. Oczywiście, uwzględnienie nieliniowości znacznie skomplikowałoby pracę, ale wydaje mi się, że nieliniowość odgrywa istotną rolę w termoakustyce i Autor kontynuując swoje badania powinien je również wziąć pod uwagę. Jeszcze się do zagadnienia nieliniowości odniosę w dalszej części recenzji. Rozdział drugi został opracowany na podstawie literatury, stanowi jednak niezbędne wprowadzenie do oryginalnych koncepcji Autora, zawartych w dalszej części pracy.

Rozdziały 3-7 stanowią oryginalny dorobek Autora rozprawy. Rozdział 3 poświęcony jest badaniom modelowym jednosekcyjnego silnika termoakustycznego z falą biegnącą. Modelowanie przeprowadzono za pomocą dostępnego w Internecie darmowego oprogramowania Delta EC. Autor uzyskał dużą biegłość w posługiwaniu się tym programem, który wymaga znajomości lub oszacowania i wprowadzenia dużej liczby danych. W silniku z falą biegnącą występują zakłócenia, które powodują, że oprócz komponenty biegnącej, transportującym energię akustyczną istnieje komponenta fali stojącej, nie przenosząca energii i obniżająca sprawność silnika. W idealnej pętli falowodu może propagować się fala biegnąca o długości podstawowej, równej długości pętli. Niestety, straty wewnątrz falowodu, które są nieuniknione na podstawie drugiej zasady termodynamiki, powodują zanik fali. Aby ją podtrzymać, należy do rezonatora stale „pompować” energię. W silniku termoakustycznym źródłem tej energii jest energia cieplna. W regeneratorsze energia ta jest zamieniana na energię akustyczną na skutek obiegu Stirlinga. Niestety sam regeneratorsz, jak również obciążenie odbierające wytworzoną energię akustyczną, wprowadzają do falowodu nieciągłości, które powodują wystąpienie komponenty fali stojącej. Aby ten niekorzystny efekt skompensować, wprowadza się do falowodu filtr akustyczny. Te elementy należy uwzględnić podczas modelowania pracy silnika. W tabeli 3.1. zgromadzono zestaw parametrów, które należy wprowadzić do modelu jako dane. Są tam podane tzw. wartości bazowe oraz zakresy ich zmienności, których wpływ modelowano. Na rys. 3.2 przedstawiono wyniki modelowania dla zestawu wartości bazowych. Wyraźnie widać wpływ nieciągłości impedancji na regeneratorsz, na obciążeniu i na filtrze akustycznym typu „stub”. Element typu „stub” (kikut), zamknięty na końcu i o długości znacznie mniejszej od długości fali stanowi element podatnościowy i jest równoważny elementowi podatnościowemu w postaci odcinka rury o zwiększonej średnicy, który Autor w dalszej części nazywa elementem „compliance”. „Compliance” po angielsku znaczy właśnie „podatność”. W przypadku elementu „stub” następuje lokalne dwukrotne zwiększenie przekroju rury, czyli stanowi on równoważność elementu „compliance” o powierzchni przekroju dwukrotnie większej niż przekrój falowodu i długości równej długości elementu „stub”. Ważne jest, aby „stub” był zamknięty na końcu, bo wtedy stanowi on filtr dolnoprzepustowy. Gdyby był on otwarty na końcu, stanowiłby on masę akustyczną i cały układ byłby filtrem górnoprzepustowym, chociaż w dalszym ciągu można taki element nazwać „stub”. Zwracam też uwagę, że wartość modułu impedancji na elemencie „stub” zmniejsza się, czyli wyrażona dalej (np. na str. 70) konkluzja Autora, że zwiększenie powierzchni przekroju powoduje wzrost impedancji jest nieprawdziwe. Zależy to od geometrii układu i częstotliwości. Gdyby połączyć dwa nieskończenie falowody o różnych powierzchniach, to na połączeniu, gdy wzrasta pole

powierzchni impedancja spada, ponieważ jest to wówczas impedancja charakterystyczna (falowa) wyrażona wzorem (2.17) i jest ona odwrotnie proporcjonalna do pola powierzchni przekroju falowodu. Moim zdaniem wzrost impedancji na regeneratorze następuje nie na skutek zwiększenia jego pola przekroju, a na skutek zastosowania w regeneratorze (i wymiennikach ciepła) materiałów akustycznie stratnych (siatek stalowych, lameli), zaś na filtrach może być różnie (patrz np. porównanie rys. 3.2. i rys. 4.7 na str. 82). Innym wnioskiem, który nasunął mi się z analizy rys. 3.2, jest fakt, że amplituda ciśnienia akustycznego wynosi ok. 180 kPa, co stanowi 6% wartości ciśnienia statycznego (nazywanego przez Autora średnim). Dla porównania, dla fali akustycznej w powietrzu, wartość amplitudy ciśnienia akustycznego dźwięku tak silnego, że powoduje wystąpienie bólu w uszach wynosi ok. 60 Pa, a wartość ciśnienia statycznego – 100 kPa. Stosunek tych dwóch wielkości wynosi ok. 0,06%, czyli jest 100 razy mniejszy niż w rozpatrywanym silniku termoakustycznym. Powoduje to konieczność uwzględnienia zjawisk nieliniowych. Autor pisze w dalszym ciągu (na str. 71), że analiza częstotliwościowa sygnału nie ma większego zastosowania w termoakustyce. Moim zdaniem, Autor nie ma tu także racji. Obliczyłem częstotliwość graniczną filtra dolnoprzepustowego z elementem „stub” o geometrii „bazowej” wg. Tab. 3.1. Częstotliwość ta wyszła mi ok. dwukrotnie większa niż częstotliwość generowanego w rezonatorze sygnału akustycznego. Oznacza to, że układ pracuje w paśmie przepustowym filtra, natomiast tłumiona jest druga harmoniczna, występująca na skutek nieliniowości. Ta harmoniczna zakłócałaby pracę silnika i powodowała obniżenie jego sprawności. Jak wspomina Autor, w pozycji literatury [36] opisano zastosowanie pasmowozaporowego filtra z bocznikującym rezonatorem Helmholtza. Warto przyjrzeć się, jaka jest częstotliwość maksymalnego tłumienia tego filtra. W dalszej części rozdziału 3 pokazano wyniki symulacji różnych konfiguracji i parametrów na pracę silnika. Omawiając wpływ geometrii regeneratora (rozdział 3.4, Autor definiuje liczbę Lautreca (wzór (3.2)). Wielkość ta była używana w rozważaniach wcześniejszych, a ponieważ ten ważny parametr nie jest szeroko znany, uważam, że definicja powinna być podana wcześniej, najlepiej w wykazie oznaczeń. W podrozdziale 3.6 analizowany jest wpływ pola przekroju i objętość rdzenia. Autor modeluje część „prześciową” rdzenia jako część między końcówkami falowodu a samym rdzeniem jako „pustą przestrzeń”, wspominając jednocześnie, że wykonuje się ją w postaci stożka, przy czym to przejście stożkowe powinno być długie. To stożkowe przejście gra dużą rolę dopasowania impedancji. Kolejnym problemem badawczym, jaki mi się nasuwa jest zbadanie wpływu tego przejścia i zastosowanie, zamiast stożka a tym bardziej skoku przekroju, przejścia w postaci krzywej eksponencjalnej lub łańcuchowej. Tego typu przejścia często występują w akustyce i noszą nazwę tub (ang. horn). Notabene, Autor używa kilkakrotnie pojęcia „tuba” na określenie rury (np. str. 4 i 5). Wynika to z nieprawidłowego tłumaczenia angielskiego słowa „tube”, które oznacza rurę. Tuby eksponencjalne lub łańcuchowe są bardziej efektywne od tub stożkowych. W dalszej części rozdziału trzeciego rozważany jest wpływ obciążenia oraz gazu roboczego. Hel jest wyborem optymalnym, jednak ze względów praktycznych do doświadczeń przedstawionych w dalszych rozdziałach wybrany został argon. Rozdział 3, podobnie jak kolejne rozdziały przedstawiające wynik pracy Aurora rozprawy, kozy się podsumowaniem. Znakomicie ułatwia to czytanie rozprawy i jest bardzo dobrym zwyczajem.

W rozdziale 4 analizowane są metody dopasowania pola akustycznego w celu minimalizacji wpływu fal stojących i związanego z tym spadku sprawności silnika. Rozdział ten w całości przedstawia własne wyniki Doktoranta uzyskane na drodze modelowania. Na początku rozdziału znajdują się rozważania dotyczące charakteru wtrąconych do falowodu krótkich elementów: podatnościowego (compliance) i bezwładnościowego (inertance). Trzeba tu powiedzieć, że zagadnienia te są dobrze znane przez akustyków. W odniesieniu do urządzeń termoakustycznych rozważania dotyczące usytuowania filtrów akustycznych stanowią element nowości naukowej a dalszy ciąg rozprawy

wskazuje na poprawność rozumowania Autora. W szczególności ważne są wnioski dotyczące usytuowania filtra akustycznego z elementem podatnościowym (typu stub lub compliance) w odległości $\lambda/4$ i $3\lambda/4$ od regeneratora z preferencją odległości $3\lambda/4$ oraz filtra z elementem bezwładnościowym w odległości $\lambda/2$. Sprawdzenie wpływu usytuowania filtra akustycznego stanowi przedmiot badań w dalszej części rozdziału 4. Autor skonstruował model numeryczny urządzenia z różnego typu filtrami. Jak napisał w rozdziale 4.1.1.: „aby zminimalizować zawiły wpływ częstotliwości rezonansowej, ustalono jej wartość na $f=150$ Hz”. Nie bardzo rozumiem, czym ta częstotliwość wnosi mniej zawiły wpływ niż częstotliwość urządzenia rozpatrywanego w rozdziale 3, natomiast model trzeba było konstruować od nowa. Jako element podatnościowy zastosowano króciec „stub” lub odcinek rury o zwiększonym przekroju „compliance”. Jak należało się spodziewać, modele są równoważne, z wyjątkiem drobnych różnic spowodowanym np. przedłużeniem falowodu spowodowanym zastosowaniem elementu compliance. Pewne różnice wnosi też pole przekroju elementu „compliance”, którego stosunek do pola przekroju falowodu wynosi 3 (str. 79), podczas gdy dla elementu „stub” ten stosunek wynosi 2. Nie ma zresztą konieczności stosowania elementu „stub” o przekroju równym polu przekroju falowodu głównego, można ten stosunek zmniejszać (co wydaje mi się nieracjonalne), lub zwiększać, co jest technicznie trudne do wykonania. Na str. 81 znajdują się rozważania dotyczące wpływu zmiany przekroju filtra akustycznego typu „compliance” lub „inertance” na lokalną zmianę impedancji. Jak wspomniano wyżej, ten wpływ może być inny niż sugeruje Autor, chociaż jeśli filtr pracuje w paśmie przepustowym, to rzeczywiście moduł reaktancji elementu podatnościowego jest większy niż impedancja charakterystyczna falowodu i element ten jest łączony równolegle (wg analogii impedancyjnej), zaś moduł reaktancji elementu bezwładnościowego jest mniejszy niż impedancja charakterystyczna falowodu i element ten jest łączony szeregowo. Potwierdza to mój wcześniejszy wniosek, że częstotliwości graniczne stosowanych filtrów są większe od częstotliwości fali transmitowanej w rezonatorze. Ważny jest też wniosek, że komponenta fali stojącej, na najkrótszym odcinku występuje przy zastosowaniu jako filtra elementu podatnościowego umieszczonego w odległości $3\lambda/4$ od regeneratora. Na str. 83 Autor przedstawia rozważania dotyczące pojawienia się komponenty bezwładnościowej w elemencie podatnościowym i odwrotnie, komponenty podatnościowej w elemencie bezwładnościowym, jeśli długość tych elementów rośnie. Rozważania oparte są na wzorach (2.27) i (2.29), które w tym przypadku nie mają zastosowania. Zamiast rozpatrywać odcinek rury o zwiększonym lub zmniejszonym przekroju jako elementy o stałych skupionych, należy wyjść od teorii falowej. Dla odcinka falowodu zamkniętego na końcu, impedancja na jego początku wyraża się wzorem:

$$Z_p = -iZ_{ch} \operatorname{ctg} kl$$

Dla małych wartości kl otrzymuje się wyrażenie na podatność akustyczną (2.27). Rozwijając funkcję $\operatorname{ctg} x$ w szereg i pozostawiając dwa pierwsze wyrazy rozwinięcia, drugi stanowi komponentę bezwładnościową o wartości masy akustycznej:

$$L = \alpha \frac{\rho_m l}{A}$$

podobną do wyrażonej wzorem (2.29), jednak ze współczynnikiem α wynoszącym ok 0.4. Wartość częstotliwości rezonansowej obliczonej dla podatności wyrażonej wzorem (2.27) i masy wyrażonej wzorem powyższym wynosi $0,252 \cdot a/l$, podczas gdy wartość ścisła, występująca dla $kl=\pi/2$ wynosi $0,250 \cdot a/l$. Koncepcja parametrów efektywnych, oparta na rozwinięciach w szereg, lub na rozważaniach energetycznych, jest szeroko stosowana w akustyce. Jeszcze bardziej złożona sytuacja występuje dla falowodu otwartego na końcu. Jego impedancja na początku wynosi:

$$Z_p = iZ_{ch} \operatorname{tg} kl$$

Dla małych wartości kl wyrażenie to daje komponentę bezwładnościową daną wzorem (2.29). Uwzględnienie dalszych wyrazów rozwinięcia funkcji tangens w szereg nie daje jednak komponenty podatnościowej. Pojawia się ona dla $kl > \pi/2$, ale wówczas nie można, nawet w uproszczeniu, stosować teorii elementów o stałych skupionych.

Rozdziały 5 i 6 stanowią eksperymentalną część pracy. W rozdziale 5 przedstawione jest zaprojektowane i wykonane przez Autora stanowisko badawcze. Jako gazu roboczego został tu użyty argon pod ciśnieniem statycznym równym 800 kPa. Ciśnienie to jest znacznie mniejsze od ciśnienia stosowanego w badaniach modelowych, również argon ma prędkość dźwięku ok. trzykrotnie mniejszą niż wykorzystany w modelowaniu hel. Powoduje to znacznie mniejszą częstotliwość generacji. Autor wyjaśnia przyczyny tych różnic trudnościami technologicznymi, przede wszystkim problemami z uszczelnieniami. Konstruując stanowisko pomiarowe Autor wykazał się dużym talentem eksperymentatorskim i wiedzą z zakresu akustyki, termodynamiki, ale też mechaniki i elektroniki. Głównym celem eksperymentu było zbadanie wpływu filtrów o charakterze podatnościowym (z elementami „stubb” i „compliance”) na pracę urządzenia. Sposób wymiany i regulacji parametrów elementów jest bardzo pomysłowy. Na uwagę zasługuje pomiar mocy akustycznej. Wydaje się na pierwszy rzut oka, że skoro urządzenie jest z falą biegnącą, moc można uzyskać poprzez pomiar ciśnienia w jednym punkcie. Z badań modelowych wynika jednak, że w fali istnieje komponenta fali stojącej i do określenia mocy akustycznej potrzebna jest znajomość dodatkowo prędkości objętościowej i przesunięcia fazowego między ciśnieniem a prędkością. Wielkości te uzyskuje się poprzez zastosowanie wielu (co najmniej dwóch) mikrofonów. W dodatku B opisane są dwie metody pomiaru: metoda oparta o separację fali biegnącej i odbitej i metoda oparta na pomiarze gradientu ciśnienia. Ponieważ częstotliwość fali jest mała, aby zminimalizować błędy pomiarowe fazy, konieczna jest dość duża odległość między mikrofonami (a właściwie czujnikami ciśnienia). Zbadano wpływ usytuowania i długości elementów typu „stubb” i „compliance”. W sumie zbadano 28 konfiguracji elementu „compliance” i 10 konfiguracji elementu „stubb”. Biorąc pod uwagę długi czas ustalania się warunków pracy (ok. godziny dla każdej konfiguracji) i sam czas pomiaru, zakres prac eksperymentalnych należy uznać za bardzo obszerny.

Wyniki eksperymentów przedstawiono w rozdziale 6. W kolejnych podrozdziałach podano wyniki badań dotyczących geometrii i usytuowania elementów „stubb” i „compliance”, wpływ ciśnienia statycznego (średniego), oraz temperatury nagrzewnicy na parametry pracy silnika termoakustycznego. Potwierdzono eksperymentalnie wcześniejszą obserwację, że optima sprawności i mocy nie są tożsame. Tego typu zjawisko występuje dość często w urządzeniach elektroakustycznych. Na przykład dla głośnika tubowego można uzyskać 100% teoretycznej sprawności, ale wówczas moc promieniowana jest zerowa. Maksimum mocy występuje dla 50% sprawności. Ciekawą obserwacją jest, że maksima ciśnienia i prędkości objętościowej występują po przeciwnych stronach maksimum mocy (ze względu na długość elementu „compliance”). Na str. 116 Autor wyraża opinię, że na straty ciepła może mieć wpływ stały przepływ gazu, czyli tzw. Streaming. Streaming jest to znów efekt nieliniowy, który nie może być analizowany na podstawie teorii liniowej. O możliwym wpływie nieliniowości Doktorant pisze w kolejnym podrozdziale 6.2. Oczywiście, uwzględnienie zjawisk nieliniowych wykracza znacznie poza zakres rozpraw i może stanowić zachętę do dalszych badań Autora nad termoakustyką. Ważne jest, że Autor zdaje sobie sprawę z tych uproszczeń. Pominięcie zjawisk nieliniowych prowadzi do rozbieżności między wynikami eksperymentu a modelowania. Autor przeprowadza walidację modelu, aby dopasować wyniki modelu do wyników eksperymentu. To

dopasowanie uzyskuje się poprzez wprowadzenie trzech parametrów korygujących: obwód rezonatora, długość i pozycję elementu „compliance”. Metoda walidacji oparta jest na koncepcji zaczerpniętej z literatury i mimo swojej sztuczności daje zupełnie dobre wyniki. W podrozdziale 6.3. Autor porównuje eksperymentalne wyniki uzyskane z zastosowaniem elementów „stub” i „compliance”. Występują pewne drobne różnice wynikające moim zdaniem nie tyle z odmiennej koncepcji tych elementów, ile z różnic konstrukcyjnych. Nie wiem czemu na rys. 6.13 a) oznaczono na obu rysunkach te same wielkości (moc akustyczną i stosunek mocy akustycznej do mocy cieplnej) odmiennymi kolorami. Jest to niekonsekwencja. Podobnie jak wcześniejsze rozdziały, również ten rozdział kończy się podsumowaniem.

Rozdział 7 stanowi podsumowanie całej rozprawy i formułuje wypływające z niej wnioski. Zawiera on podsumowanie osiągnięć Autora oraz deklarację uzyskania postawionego na wstępie celu pracy i udowodnienia postawionej tezy. W pełni zgadzam się z tą deklaracją. Praca stanowi rozwiązanie ważnego zagadnienia naukowego, a jednocześnie ma znaczne walory praktyczne.

Rozprawę zaliczam do kategorii prac o charakterze teoretyczno-doświadczalnych. Jej układ jest przejrzysty, rozprawa jest łatwa do czytania. Jak już wspomniałem, lekturę bardzo ułatwia znajdujący się na początku spis oznaczeń i słownik pojęć. Jeśli chodzi o wady rozprawy, to nie ma ich zbyt dużo. O większości z nich pisałem na bieżąco przy omawianiu treści poszczególnych rozdziałów. Z ważniejszych innych błędów, na str. 6, w ostatnim wierszu występuje pojęcie „resistance tube” zamiast poprawnie „inertance tube”. Na str. 34, w nienumerowanym wzorze pod wzorem (2.27) powinno być a^2 , a jest a w pierwszej potęgze. Znalazłem też kilka literówek. Uważam te błędy za oczywiste pomyłki. W spisie literatury, dane bibliograficzne kilku pozycji są niekompletne. W pozycjach [17], [50], [70], [90], [97] a także w pozycji [34] z Autorem rozprawy jako współautorem, brak jest nazwy czasopisma. Zwłaszcza w tym ostatnim przypadku nie mogłem ocenić, czy jest to pozycja z listy filadelfijskiej, w sposób istotny wpływająca na jakość dorobku naukowego Doktoranta.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Adama Ruziewicza pt. „Wpływ warunków akustycznych na parametry pracy termoakustycznego silnika Stirlinga” spełnia z wyraźnym nadmiarem wymagania Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2003 nr 65 poz. 595 z późniejszymi zmianami) i wnioskuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony. Biorąc też pod uwagę, że Doktorant jest Autorem co najmniej jednego artykułu w czasopiśmie z listy filadelfijskiej „Energy Conversion and Management” i spełnia tym samym kryteria do wyróżnienia, wnoszę o wyróżnienie rozprawy doktorskiej.

Wrocław, 3.06.2019

