

Dr hab. inż. Arkadiusz Gola, prof. uczelni
Politechnika Lubelska
Wydział Mechaniczny
Katedra Informatyzacji i Robotyzacji Produkcji
ul. Nadbystrzycka 36
20-618 Lublin

Lublin, 01.08.2022 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Artura Piaseckiego

pt.: „Projektowanie kompaktowych wymienników ciepła przy wykorzystaniu metod zarządzania jakością”

(recenzja wykonana na podstawie pisma Dyrektora Naukowego Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna – dr hab. inż., Sławomira Błasiaka, prof. PŚk nr MAA-510/75/2022 z dnia 5 maja 2022 roku).

1. Obszar problemowy rozprawy – ocena celowości podjęcia tematu pracy

Postępująca miniaturyzacja urządzeń technicznych (zwłaszcza w obszarze elektroniki) a także coraz większy nacisk na ich energooszczędność, redukcję negatywnego wpływu na środowisko naturalne oraz minimalizację kosztów wytwarzania stawiają przed projektantami nowe wyzwania, które w dużej mierze sprowadzają się do opracowania rozwiązań, które stanowią kompromis pomiędzy wymaganiami technicznymi, ekonomicznymi i organizacyjnymi.

Podjęta w ocenianej pracy tematyka projektowania kompaktowych wymienników ciepła przeznaczonych do chłodzenia elementów elektronicznych bez wątplenia wpisuje się w aktualne trendy badawcze oraz potrzeby rynkowe. W swojej pracy Autor skupił się na wymiennikach chłodzonych cieczą, co w świetle współczesnych wymagań jest kierunkiem właściwym (tego typu rozwiązania charakteryzują się zdecydowanie wyższą efektywnością, aniżeli powszechnie stosowane wymienniki chłodzone powietrzem). Jest to również odpowiedź na aktualne trendy projektowania procesorów o wysokiej wydajności, które wymagają wydajnych rozwiązań umożliwiających odbieranie wygenerowanego przez nich ciepła i przekazania go do elementów chłodzących w wymuszonym układzie ruchu czynnika chłodzącego.

Oceniana praca doktorska stanowi kontynuację wieloletnich badań w zakresie projektowania i testowania kompaktowych wymienników ciepła, prowadzonych w Laboratorium Wymiany Ciepła Politechniki Świętokrzyskiej. Uzyskane na ten cel środki finansowe w ramach grantów Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz Narodowego Centrum Nauki), a także publikacje wyników zrealizowanych badań w renomowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym potwierdzają również, iż tematyka ta należy do aktualnych i ważnych obszarów badawczych. Nie bez znaczenia pozostaje również duża liczba pojawiających się publikacji naukowych z tego obszaru, opracowywana przez reprezentantów różnych ośrodków badawczych na świecie. Wszystko to pozwala stwierdzić, iż podjęta przez Autora tematyka jest ważna i wpisuje się w bieżące potrzeby i trendy badawcze.

W świetle powyższego, uważam, że podjęcie przedstawionej problematyki jest w pełni uzasadnione zarówno ze względów poznawczych, jak i możliwości zastosowania prezentowanych rozwiązań w warunkach przemysłowych.

2. Ocena struktury i zakresu pracy

2.1. Zakres i struktura pracy

Opiniowana praca liczy 172 strony i składa się z 8 rozdziałów (w tym wstępu i podsumowania), wykazu ważniejszych oznaczeń (zamieszczonego w początkowej części pracy), spisu bibliografii, spisu rysunków, spisu tabel, streszczeń (w języku polskim oraz angielskim) oraz załącznika obejmującego dwie publikacje Autora, w których zamieszczono wyniki prac częściowych, stanowiących uzupełnienie rezultatów badań prezentowanych w ocenianej dysertacji.

We wstępie (oznaczonym jako rozdział 1) przedstawiono znaczenie i problematykę projektowania kompaktowych wymienników ciepła oraz omówiono pokrótce zakres zrealizowanych prac, których wyniki przedstawiono w ocenianej pracy doktorskiej.

Rozdział 2 obejmuje swoim zakresem przegląd literatury dotyczącej metod zarządzania jakością wykorzystanych w prowadzonych pracach badawczych (podrozdział 2.1) oraz przegląd literatury dotyczącej zagadnień związanych z zastosowaniem kompaktowych wymienników ciepła (podrozdział 2.2).

W rozdziale 3 zawarto sformułowaną tezę pracy, a w rozdziale czwartym przedstawiono cele i zakres pracy.

Rozdział 5 został poświęcony charakterystyce stanowisk badawczych, na których realizowane były prace eksperymentalne oraz szczegółowemu opisowi kompaktowych

wymienników ciepła wykorzystywanych do realizacji prac badawczych w Laboratorium Wymiany Ciepła Politechniki Świętokrzyskiej. Integralnym elementem niniejszego rozdziału jest również opis metodyki realizowanych prac badawczych oraz ocena dokładności pomiarów w trakcie prowadzonych badań.

W rozdziale 6 zaprezentowano sposób aplikacji metod QFD i FMEA w procesie projektowania kompaktowych wymienników ciepła. W szczególności pokazano kolejne kroki wraz ze szczegółowym omówieniem zastosowania metody QFD do wskazania wytycznych do zaprojektowania wymiennika ciepła, a także sposób zastosowania metody FMEA dla potrzeb analizy technicznych cech wymiennika oraz identyfikacji wad mogących stanowić największe zagrożenie dla projektowanego wyrobu.

Rozdział 7 został poświęcony omówieniu podstawowych zagadnień wymiany ciepła, a także przedstawiono w nim metody analityczne, analityczno-numeryczne oraz numeryczne, które posłużyły Autorowi do określenia efektywności poszczególnych cech wyrobu, a także całego modułu projektowanego wymiennika. Wyjaśniono także sposób weryfikacji metody numerycznej w oparciu o pomiary dokonane podczas badań eksperymentalnych, a ponadto przedstawiono wyniki kolejnych symulacji porównawczych wybranych cech wymiennika. W końcowej części rozdziału zaprezentowano wyniki porównania efektywności pracy projektowanego modułu (moduł docelowy) z modułem odniesienia.

Ostatni (ósmy) rozdział pracy stanowi podsumowanie oraz wnioski końcowe. Zamieszczono w nim syntetyczne résumé prezentowanych w pracy treści oraz sformułowano 5 wniosków na podstawie zrealizowanych prac badawczych.

Uzupełnienie pracy stanowi bibliografia zawierająca 92 polsko-, anglo- i niemieckojęzyczne pozycje (w tym 15 artykułów, których współautorstwa Autora ocenianej pracy).

2.2. Uwagi dotyczące struktury pracy

Układ i struktura pracy są właściwe. Po analizie literatury z zakresu tematyki pracy, Autor zaprezentował dotychczasowe badania w zakresie projektowania wymienników ciepła realizowane w Laboratorium Wymiany Ciepła Politechniki Świętokrzyskiej, wskazując jednocześnie na ograniczenia występujące przy dotychczasowym podejściu do poszukiwania najlepszego rozwiązania w zakresie konstrukcji wymiennika. W dalszej części przedstawił sposób implementacji metod QFD i FMEA dla potrzeb identyfikacji i analizy pożądanых cech projektowanego wymiennika. Ostatnią część pracy stanowią wyniki eksperymentów symulacyjnych na wymiennikach (modułach): odniesienia (moduł bazowy) oraz docelowym

(zawierający cechy konstrukcyjne wynikające z implementacji metod QFD i FMEA) w zakresie efektywności odbioru ciepła. Taki sposób przedstawienia treści stanowi logiczną i przejrzystą strukturę ułatwiającą czytanie pracy oraz zrozumienie kolejnych etapów realizacji zdefiniowanego celu. Jedyny element o charakterze dyskusyjnym stanowi celowość zamieszczenia opisu modeli i metod matematycznych wykorzystywanych do oceny efektywności pracy modułu dopiero w rozdziale 7. Wydaje się, iż umieszczenie ich w początkowej części pracy zwiększyło by przejrzystość pracy (istniał by wówczas jednoznaczny podział na części: teoretyczną i praktyczną pracy). Na pozytywną uwagę zasługuje zaś kompleksowe zamieszczenie wykazów stosowanych pojęć i akronimów oraz oznaczeń stosowanych we wzorach – co znacznie ułatwia czytanie pracy oraz jednoznaczne zrozumienie prezentowanych przez Autora treści.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Oceniana rozprawa ma charakter badawczo-projektowy, a jej głównym celem (zdefiniowanym w rozdziale 4) jest „*opracowanie metodologii doboru rozwiązań konstrukcyjnych parametrów pracy kompaktowego wymiennika ciepła bazującej na metodach zarządzania jakością w celu uzyskania wysokiej efektywności wymiany ciepła*”. W ramach uzupełnienia celu głównego sformułowano dwa cele szczegółowe, tj.:

1. zaimplementowanie metod zarządzania jakością *Quality Function Deployment* (QFD) i *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) do określenia wytycznych konstrukcyjnych innowacyjnego kompaktowego wymiennika ciepła,
2. oszacowanie efektywności wymiany ciepła w oparciu o podejścia matematyczne jedno- i dwuwymiarowe (rozwiązywane metodami analitycznymi oraz analityczno-numerycznymi) oraz przy wykorzystywaniu komercyjnych programów obliczeniowych.

Praca niewątpliwie ma charakter interdyscyplinarny – bowiem jej głównym elementem jest implementacja rozwiązań efektem prac badawczych z obszaru nauk o zarządzaniu i jakości (metody zarządzania jakością) dla potrzeb rozwiązywania problemów związanych z konstrukcyjnym przygotowaniem produkcji (co zaś jest przedmiotem prac badawczych z obszaru inżynierii produkcji, wchodzącej w skład dyscypliny inżynieria mechaniczna).

Od strony merytorycznej pracę oceniam w sposób pozytywny. Autor, na podstawie badań literatury oraz udziału w projektach ukierunkowanych na projektowanie kompaktowych wymienników ciepła, w sposób jednoznaczny zidentyfikował problem doboru odpowiednich cech wymiennika, które umożliwiły by opracowanie konstrukcji maksymalizującej efektywność procesu odprowadzania ciepła. Aby rozwiązać ten problem – sięgnął po dwie metody z obszaru

zarządzania jakością, które dały możliwość rozwiązania zdiagnozowanego problemu oraz wyeliminowały potrzebę „intuicyjnego” doboru cech projektowanego wymiennika. Tego typu podejście oceniam jako właściwe i oryginalne. Na pozytywną uwagę zasługują również wyniki kalkulacji i eksperymentów symulacyjnych przedstawione w rozdziale 7, których celem jest weryfikacja efektywności konstrukcji wymiennika będąca rezultatem zastosowania metod QFD i FMEA dla potrzeb identyfikacji pożądanych (z punktu widzenia klienta) cech wymiennika kompaktowego.

3.1. Elementy oryginalne

Biorąc pod uwagę całokształt opiniowanej pracy, poziom jej oryginalności uznaję jako „umiarkowany”. Mimo, iż zdefiniowany cel pracy wskazuje, iż efektem końcowym dysertacji powinna być *„metodologia doboru rozwiązań konstrukcyjnych parametrów pracy kompaktowego wymiennika ciepła bazującej na metodach zarządzania jakością w celu uzyskania wysokiej efektywności wymiany ciepła”*, trudno jest stwierdzić, że Autor opracował jakkolwiek metodologię. W istocie Autor zaimplementował dwie znane metody zarządzania jakością, tj. *Quality Function Deployment (QFD)* i *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)* dla potrzeb identyfikacji i analizy pożądanych cech wyrobu, którym jest kompaktowy wymiennik ciepła. Elementem oryginalnym jest niewątpliwie próba zastosowania ww. metod dla potrzeb projektowania wymienników ciepła – co w świetle dotychczasowych badań nad wymiennikami ciepła jest podejściem nowym i oryginalnym.

3.2. Uwagi dyskusyjne

Mimo, iż praca jest napisana w sposób zrozumiały, lektura treści pracy skłania do sformułowania następujących pytań i uwag o charakterze dyskusyjnym lub wymagających dodatkowych wyjaśnień:

1. W różnych częściach dysertacji Autor definiuje w zróżnicowany sposób główny cel pracy. Dla przykładu na stronie 27 cel pracy zdefiniowano go jako *„opracowanie metodologii doboru rozwiązań konstrukcyjnych oraz parametrów pracy kompaktowego wymiennika ciepła...”*, podczas gdy na stronie 29 Autor pisze, iż *„głównym celem pracy jest propozycja rozwiązań technologicznych konstrukcji wymienników ciepła, w celu zapewnienia efektywnej pracy tych urządzeń”*. W świetle powyższego rodzi się więc pytanie - *„Co jest faktycznie głównym celem pracy – opracowanie metodologii czy znalezienie rozwiązań technologicznych określonej konstrukcji wymiennika?”*

2. Przedstawiona w rozdziale 3 teza pracy jest mało precyzyjna. W świetle tezy zdefiniowanej w sposób: *„Metody zarządzania jakością pozwalają dobrać efektywne parametry innowacyjnego kompaktowego wymiennika ciepła w celu dostosowania go do....”* rodzą się pytania: Co oznaczają „efektywne parametry kompaktowego wymiennika ciepła”? O jakie parametry chodzi? W jaki sposób można stwierdzić, że dany parametr jest „efektywny”?
3. W różnych częściach pracy (np. s. 25, 132) Autor posługuje się stwierdzeniem *„innowacyjny kompaktowy wymiennik ciepła”*. Brakuje jednak wyjaśnienia na czym polega innowacyjność tego rozwiązania i jak Autor ją rozumie w świetle obowiązujących definicji innowacyjności.
4. We wstępie pracy (s. 9) Autor pisze, iż *„Można także spotkać konstrukcje wymienników, oparte na innych zasadach (np. ogniwa Pelteriera), lecz nie są one perspektywnym kierunkiem rozwoju urządzeń, głównie ze względu na własne ograniczenia fizyczno-technologiczne”*. Po przeczytaniu tak zdefiniowanej tezy nasuwa się pytanie: Na jakiej podstawie została ona sformułowana? Bardzo proszę o podanie odnośników do wyników badań potwierdzających to stwierdzenie lub bardziej szczegółowe uzasadnienie niniejszej tezy. Na stronie 29 znajduje się również podobne zdanie *„Można także spotkać w inżynierskich zastosowaniach konstrukcje wymienników, oparte na innych zasadach (np. z wykorzystaniem ogniw Pelteriera), lecz nie są one perspektywnym rozwiązaniem, głównie ze względu na pewne ograniczenia technologii”* – w tym przypadku również brakuje jakichkolwiek odnośników lub informacji szczegółowych.
5. W wielu miejscach pracy Autor posługuje się ogólnikami, które powinny być uszczegółowione. W szczególności mam na myśli fragmenty pracy:
 - s. 10 – *„poszukiwaniu konstrukcji o jak najefektywniejszej wydajności”* (Co w tym kontekście oznacza „najefektywniejsza wydajność”?),
 - s. 28 – *„Celem tych symulacji było potwierdzenie tezy, że... wybrane parametry pracy modelowego wymiennika ciepła z kanałami i jego geometrii były jak najbardziej korzystne i pozwoliły na uzyskanie wysokiej efektywności chłodzenia”* (Co w tym kontekście oznacza „najbardziej korzystne” i „wysoka efektywność chłodzenia”?),
 - s. 47 – *„Po każdorazowym odczekaniu kilku minut potrzebnego do ustabilizowania warunków pomiaru...”* (Co w tym kontekście oznacza „kilka minut”? Ile konkretnie czasu należało poczekać aby uznać iż warunki pomiaru są stabilne? Na jakiej podstawie określono ten czas?),
 - s. 71 – *„W niniejszej pracy metodę FMEA zastosowano do oceny koncepcji innowacyjnego kompaktowego wymiennika ciepła..., generujących stosunkowo duże strumienie ciepła”* (Co w tym kontekście oznacza „stosunkowo duże strumienie ciepła”?).

6. Do identyfikacji i analizy pożądaných cech wymiennika ciepła wybrano metody QFD i FMEA nie przedstawiając uzasadnienia wyboru tych metod. Na stronie 54 Autor pisze co prawda, iż „*Spośród wielu opisanych w literaturze metod zarządzania jakością wytypowano dwie metody, najszerzej stosowane w przemyśle, dające gwarancję otrzymania układu o wysokiej sprawności, konkurencyjnego na rynku, spełniającego wymagania klientów.*” W świetle powyższego można jednakże zapytać: Na jakiej podstawie Autor twierdzi iż metody QFD i FMEA są „najszerzej stosowane w przemyśle”? Na jakiej podstawie wysuwa tezę, iż metody te „dają gwarancję otrzymania układu o wysokiej sprawności”?
7. Na stronie 47 (opis metodyki badań) Autor stwierdza, iż „*Po ustabilizowaniu przepływu i ciśnienia w układzie rozpoczynano cykl pomiarowy*”. W tym przypadku nasuwa się pytanie: Na jakiej podstawie ustalano, iż przepływ był ustabilizowany?
8. Na stronie 47 (opis metodyki badań), można przeczytać iż „*Eksperymenty wykonywane w warunkach zmiennych w czasie przeprowadzono w ustalonych interwałach czasowych (próbkiowanie w przedziale od 1 Hz do 50 Hz).*” Nie wskazano jednak jakie to były przedziały czasowe i jak się one mają do podanych częstotliwości.
9. W tabeli 5.4 podano wartości maksymalnego błędu pomiaru dla określonych wielkości - nie wyjaśniono jednakże na jakiej podstawie wartości te zostały ustalone.
10. Stosując metodę QFD potrzeby klientów zdefiniowano poprzez ankietę przeprowadzoną wśród członków zespołu badawczego. W pracy nie zawarto żadnych informacji dotyczących ani tego ile osób liczył ankietowany zespół badawczy, jak wyglądało narzędzie badawcze oraz jak kształtowały się wyniki zrealizowanych badań. Ponadto wydaje się, że identyfikowanie potrzeb klientów na podstawie opinii członków zespołu badawczego nie jest rozwiązaniem właściwym (wszak klientami definiującymi potrzeby powinni być przedstawiciele firm wykorzystujących projektowane wymienniki w swoich urządzeniach). Zagadnienia te wymagają wyjaśnienia.
11. W pracy, w sposób bardzo pobieżny, wyjaśniono w jaki sposób dobierane były wartości wag dla poszczególnych wymagań oraz cech wyrobu w metodzie QFD. Podobna sytuacja ma również miejsce w przypadku parametrów Z, P i W w przypadku metody FMEA. Jako, że celem pracy jest „*opracowanie metodologii doboru rozwiązań konstrukcyjnych z wykorzystaniem ww. metod*” sposób (lub metoda) wyznaczania wartości poszczególnych parametrów powinien/powinna być szczegółowo określony/a i opisany/a w pracy.
12. Na stronie 53 Autor (opisując potrzeby rynkowe) pisze, iż „*coraz większy nacisk jest również skierowany do poprawy bezpieczeństwa pracy oraz większego poszanowania środowiska*” – podczas gdy na stronie 62 (opis zjawiska wrzenia rozwiniętego) znajdujemy stwierdzenie:

„Proces ten może doprowadzić do awarii, rozszczelnienia, a nawet całkowitego zniszczenia urządzenia. Korzyści jednak przeważają nad zagrożeniami i są wymierne w postaci wysokosprawnego przepływu i intensywnej wymiany ciepła.” Jak się te dwa stwierdzenia mają do siebie?

13. Dlaczego przy analizie „parametrów geometrycznych” modułów (s. 63) nie brano pod uwagę szerokości kanałów? Czy ten element nie ma wpływu na efektywność pracy wymiennika? Wszak sama liczba kanałów nie determinuje ich szerokości.
14. Na stronie 67 zawarto stwierdzenie: *„Model obliczeniowy, tzw. „wzorcowy” został opracowany na podstawie dotychczasowych eksperymentów i może stanowić układ odniesienia”*. Brakuje jednak informacji jak model ten został opracowany i uzasadnienia dlaczego może stanowić układ odniesienia dla prowadzonych analiz.
15. W przyjętym modelu matematycznym dla podejścia dwuwymiarowego (2D) przyjęto pewne założenia ograniczające (s. 82). Czy te założenia nie mają negatywnego wpływu na wiarygodność wyników obliczeń otrzymanych z wykorzystaniem niniejszego modelu?
16. Na rysunku 7.8 (s. 93) przedstawiono zależności pomiędzy odległością od wlotu kanału a temperaturą blachy grzewczej określone z wykorzystaniem modelu matematycznego (funkcja Treffitza) i oprogramowania ADINA. Obydwie funkcje charakteryzują się dosyć dużą rozbieżnością. Z czego (zdaniem Autora) wynikają niniejsze rozbieżności i na ile można na tej podstawie ocenić wiarygodność rezultatów otrzymanych ww. metodami?
17. Dla potrzeb weryfikacji porównawczej modelu Star CCM+ z podejściami 1D i 2D wykorzystano moduł wymiennika o odmiennych cechach w stosunku do wymiennika docelowego określonego przy pomocy metody QFD (np. w zakresie czynnika chłodniczego, liczby kanałów). Dlaczego do eksperymentów przyjęto akurat takie wartości?
18. We wnioskach Autor pisze, iż *„Dodatkową korzyścią jest również obniżenie kosztów całego przedsięwzięcia, choć nie były one szczegółowo analizowane w pracy.”*. W takim kontekście pojawia się pytanie: Na jakiej podstawie stwierdzono, że koszty ulegną obniżeniu – skoro nie było to analizowane?

Ponadto w pracy nie zdefiniowano wielu podstawowych parametrów, jak np. wymiary poddawanego analizie modułu i jego poszczególnych elementów (np. korpus modułu, szyba, przekładka, pokrywa, itd.). Analogicznie brakuje również szczegółowych danych technicznych modułu odniesienia, wykorzystywanego jako benchmark w rozdziale 7 pracy. Co więcej pewien niedosyt budzi brak wyników obliczeń z wykorzystaniem zaprezentowanych w pracy modeli matematycznych.

Dlatego też bardzo proszę aby do wyżej wymienionych uwag i pytań odnieść się przed lub w trakcie obrony pracy doktorskiej.

3.3. Uwagi szczegółowe

Strona estetyczna pracy stanowi zdecydowanie jej mocną stroną. Praca została przygotowana bardzo starannie, a prezentowane treści ilustrowane są umiejętnie rysunkami, tabelami i wykresami – co znacznie ułatwia czytanie pracy. Autor posługuje się językiem właściwym dla prac naukowych. Pojawiające się w pracy błędy o charakterze gramatycznym, stylistycznym i edytorskim mają charakter bardzo sporadyczny a ich przykładami są np.:

- błędy stylistyczne:
 - s. 13 – „*W rozdziale 2 omówiono obszar badań, w porównaniu do literatury przedmiotu na świecie*”,
 - s. 53 – „*W rozdziale przedstawiono zagadnienia, do wsparcia których wykorzystano...*”,
 - s. 53 – „*Coraz większy nacisk jest również skierowany do poprawy bezpieczeństwa pracy...*”,
 - s. 61 – „*Zgodnie z literaturą, zmiana fazowa cieczy w parę wymaga doprowadzenia ciepła...*”,
 - s. 62 – „*zwiększono od stosunkowo niskiego natężenia do wysokich wartości strumienia ciepła...*”,
 - s. 100 – „*W wyniku analizy przedstawionych wyników...*”,
 - s. 100 – „*...w module w programie numerycznym programu.*”
- błędy gramatyczne:
 - s. 15 – „*Badanie te służyć jako punkt odniesienia...*”,
 - s. 16 – „*Szybko doceniono jej przydatność inne branże również zaczęły ją używać do swoich potrzeb...*”,
 - s. 36 – „*W literaturze funkcjonują można odnaleźć...*”,
 - s. 40 – „*Odmienną konstrukcję posiada moduł z kanałem pierścieniowym o długości 200 mm przedstawiono na rysunku 5.5.*”
 - s. 64 – „*Praca modułu z kanałami o stosunkowo dużej szerokości, czyli niewielkiej ich liczbie, nie jest tak efektywna w stosunku do modułu...*”,
 - s. 73, tab. 6.2 – „*Testy wyrobu opuszczeniem fabryki*”,
 - s. 82 – „*Kanał... jest zamknięty płytą..., która umożliwiła...*”

– s. 114 – „*Współczynnik przejmowania ciepła dla zmodyfikowanego wymiennika docelowego był nawet o 180% w porównaniu ze współczynnikiem przejmowania ciepła dla modułu odniesienia.*”

- błędy o charakterze edytorskim:

- s. 11 – jest: „... *przyczynia się ...*”, powinno być: „... *przyczyniają się ...*”,
- s. 16 – jest: „... *opublikowaną ...*”, powinno być: „... *opublikowano ...*”,
- s. 25 – jest: „... *pozwoił ...*”, powinno być: „... *pozwoili ...*”,
- s. 37 – jest: „... *do długości ...*”, powinno być: „... *o długości ...*”,
- s. 58 – jest: „... *o ...*”, powinno być: „... *co ...*”,
- s. 60 – jest: „... *a wartość ...*”, powinno być: „... *a wartości ...*”,
- s. 81 – jest: „... *współczynnik ...*”, powinno być: „... *współczynnika ...*”.

Ponadto w niektórych miejscach brakuje lub podwójnie zastosowano znaki interpunkcyjne (przecinki, kropki), oraz występują powtórzenia (np. s. 9. – „stosowane”, „stosowane”; s. 15 – „z powodu”, „z powodu”, s. 17 – „winno”, „winny”, s. 18 – „wad”, „wad”, s. 18 – „...który ... która...”, s. 54 – „...na odpowiednim... odpowiedniego”, s. 80 – „...podczas ...podczas...”, s. 100 – „...w module w programie numerycznym programu”). Sporadycznie zdarzają się również konstrukcje zdaniowe mające charakter „skrótów myślowych” (np. s. 28 „*Wybór metod zarządzania jakością ... pozwala na wykorzystanie procesów zarządzania, w tym między innymi wytwarzania elementów maszyn...*”).

4. Podsumowanie i wnioski końcowe

Biorąc pod uwagę całokształt ocenianej pracy stwierdzam, iż recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Artura Piaseckiego stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata w dyscyplinie „Inżynieria mechaniczna” oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Jako oryginalne rozwiązanie problemu naukowego należy uznać zastosowanie metod zarządzania jakością QFD oraz FMEA w problematyce projektowania kompaktowych wymienników ciepła. Doktorant wykazał się znajomością podstawowej literatury przedmiotu rozprawy, umiejętnością praktycznego wykorzystania dotychczasowych zdobyczy nauki dla potrzeb rozwiązania realnych problemów z obszaru inżynierii produkcji. Zauważone w rozprawie doktorskiej nieprawidłowości nie mają zasadniczego znaczenia dla wartości merytorycznej pracy, odpowiadającej współczesnemu standardowi prac doktorskich. Dlatego też rozprawa w całości może być oceniona pozytywnie.

Konkludując uważam, że opiniowana praca spełnia warunki stawiane przez Ustawę z dnia 14 marca 2003 *o stopniach i tytule naukowym* (Dz.U. z 2017, poz. 1789 ze zm.) w dyscyplinie „Inżynieria mechaniczna” i wnioskuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Abdusisz Gola