

Warszawa, 26.11.2018 r.

Dr hab. inż. Dariusz Pleban, prof. nadzw. CIOP-PIB
Centralny Instytut Ochrony Pracy-Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16
00-701 Warszawa

OPINIA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Michała Rutkowskiego

pt. „Badania empiryczne i modelowanie właściwości akustycznych struktur granulowanych znajdujących się w przestrzeni z podciśnieniem”

Promotor pracy: dr hab. inż. Robert Zalewski, prof. PW

Promotor pomocniczy: dr inż. Piotr Deuszkiewicz

Podstawa formalna wykonania opinii:

- pismo Pana prof. dr. hab. inż. Stanisława Radkowskiego, Dziekana Wydziału Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej, z dnia 28.09.2018 r., znak SiMR-29/32/2018,
- umowa nr 1150/000206/2018 o dzieło polegające na opracowaniu opinii rozprawy doktorskiej mgr. inż. Michała Rutkowskiego pt. „Badania empiryczne i modelowanie właściwości akustycznych struktur granulowanych znajdujących się w przestrzeni z podciśnieniem”, zawarta w dniu 1.10.2018 r.

1. Charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do opinii rozprawa doktorska mgr. inż. Michała Rutkowskiego została udokumentowana na 216 stronach. Rozprawa została podzielona na 9 rozdziałów poprzedzonych:

- streszczeniem,
- streszczeniem w jęz. angielskim (Summary),
- spisem treści,
- wykazem skrótów.

Ponadto po ostatnim, dziewiątym rozdziale w rozprawie zamieszczono sześć załączników zawierających:

- wyniki eksperymentalnych badań właściwości mechanicznych materiału PS,
- wyniki eksperymentalnych badań właściwości mechanicznych materiału PMMA,
- wyniki eksperymentalnych badań właściwości akustycznych próbki 2,
- wyniki eksperymentalnych badań właściwości akustycznych próbki 1,
- porównanie wyników badań właściwości akustycznych,

- wyniki modelowania właściwości akustycznych.

W pierwszym rozdziale *Wprowadzenie – materiały adaptowalne* Doktorant na podstawie analizy literatury w sposób syntetyczny zamieścił klasyfikację materiałów i struktur inteligentnych oraz opisał wybrane grupy materiałów inteligentnych.

Drugi rozdział *Struktury granulowane znajdujące się w przestrzeni z podciśnieniem* zawiera ogólne informacje nt. materiałów oraz opis zasadniczych cech specjalnych struktur granulowanych (SSG). W rozdziale tym zamieszczono także podstawowe parametry 5-ciu rodzajów tworzyw sztucznych (polistyren (PS), polipropylen (PP), polipropylen talkowy (PPt), akronitryl-butadien-styren (ABS) oraz poli(metakrylan metylu) (PMMA)), które wykorzystano do wykonania próbek SSG, stanowiących obiekty badań.

W trzecim rozdziale *Geneza, cel zakres i tezy pracy* Doktorant określił cel nadrzędny pracy jako „*poznanie podstawowych właściwości wytrzymałościowych i akustycznych badanych konglomeratów*”. Natomiast jako cele szczegółowe pracy wymienił m.in. wykazanie wpływu podciśnienia wytwarzanego wewnątrz badanych próbek na ich podstawowe parametry akustyczne oraz opracowanie modelu matematycznego opisującego właściwości akustyczne materiałów granulowanych z uwzględnieniem podciśnienia. Podany w tym rozdziale zakres prac (obejmujący m.in. analizę modeli akustycznych materiałów, przeprowadzenie badań właściwości mechanicznych oraz opracowanie i weryfikacja modelu matematycznego) można uznać za prawidłowy o ile uwzględni się przeprowadzone (i opisane w rozdziale 6) badania akustyczne, o których Doktorant nie wspomniał podrozdziale 3.3 *Zakres pracy*. W rozdziale tym Doktorant stawia dwie tezy: „*możliwym jest sterowanie właściwościami akustycznymi struktury zbudowanej z pakowanych próżniowo granulatów za pomocą zmiany parametru podciśnienia wygenerowanego we wnętrzu struktury*” oraz „*istnieje możliwość opisu charakterystyk konglomeratów zbudowanych z granulatów umieszczonych w zamkniętej przestrzeni z podciśnieniem za pomocą zmodyfikowanego modelu Woroniny*”.

Zasadniczą treść rozdziału czwartego „Akustyczne modele materiałów” stanowi analiza następujących modeli akustycznych materiałów: analitycznych, empirycznych, fenomenologicznych i Woroniny.

Następne rozdziały stanowią część oryginalną rozprawy. Pierwszy etap prac, opisany w rozdziale piątym *Badania właściwości mechanicznych*, obejmował kompleksowy cykl badań, którego celem było oszacowanie wpływu określonych czynników na zachowanie SSG oraz pozyskanie bazy wyników empirycznych umożliwiających modelowanie zachowania SSG. W ramach tych badań Doktorant przeanalizował wpływ rodzaju materiału granulowanego, średnicy badanych próbek (w celu zbadania tzw. „efektu skali”), wartości podciśnienia wewnętrznego oraz wartości prędkości odkształcenia na parametry wytrzymałościowe badanych SSG, co było ujęte w celu nadrzędnym pracy. Doktorant określił między innymi granicę plastyczności i moduł Younga badanych SSG. Przetwarzanie wyników badań było wieloetapowe i obejmowało między innymi odwzorowanie wyników w postaci chmury punktów, aproksymację wyników badań, opracowanie wykresów (w tym w wersji 3D) granicy plastyczności i modułu Younga i ich analizę oraz opracowanie zbiorczych zestawień graficznych i ich analizę. W ramach badań właściwości mechanicznych SSG Doktorant przeanalizował ponad 1 tys. wyników prób jednoosiowych. Wyniki tej analizy zostały wykorzystane przy opracowaniu programu badań właściwości akustycznych SSG.

Rozdział szósty w całości dotyczy badań właściwości akustycznych SSG, które także stanowiły cel nadrzędny rozprawy. Do scharakteryzowania właściwości akustycznych badanych pięciu rodzajów SSG Doktorant przyjął normalny współczynnik pochłaniania dźwięku. W celu jego wyznaczenia wybrał znormalizowaną metodę funkcji przejścia. W związku z tym badania zostały zrealizowane w rurze impedancyjnej – rurze Kundta. Nietypowe próbki do badań (w formie granulatów) i konieczność zapewnienia podciśnień w próbkach wymagały od Doktoranta zaprojektowania i wykonania specjalnej konstrukcji pojemnika na badane próbki. Wyznaczanie normalnych współczynników pochłaniania dźwięku Doktorant zrealizował zgodnie z opracowanym planem badawczym. Wymagało to przeprowadzenia ok. 1 tys. pomiarów normalnego współczynnika pochłaniania dźwięku. Dla każdego z pięciu rodzajów SSG przygotował po dwie próbki o różnych objętościach, dla których określił między innymi wpływ podciśnienia i przegrody czołowej na normalny współczynnik pochłaniania dźwięku.

W rozdziale siódmym Doktorant przedstawił opracowany model matematyczny opisujący właściwości akustyczne materiałów granulowanych z uwzględnieniem parametru podciśnienia. W tym celu zaadaptował model Woroniny wprowadzając w opisie matematycznym, zamiast parametru charakteryzującego krętość mikrostruktury porów, nowy parametr sterujący, będący funkcją podciśnienia. Opisał przeprowadzony proces kalibracji modelu. Przedstawione wyniki odpowiedzi numerycznych opracowanego modelu, tj. wartości współczynników pochłaniania dźwięku SSG, są zgodne z wynikami badań empirycznych.

Rezultaty badań uzyskiwane w poszczególnych etapach prac są na bieżąco dyskutowane przez Doktoranta w/w trzech rozdziałach (tj. piątym, szóstym i siódmym). Podsumowanie uzyskanych wyników w odniesieniu do założonych celów pracy oraz postawionych tez, a także wnioski znajdują się w rozdziale ósmym *Podsumowanie i wnioski*.

Ostatni, dziewiąty rozdział *Bibliografia* zawiera wykaz literatury, w którym wymieniono 137 pozycji, w tym 6 publikacji Doktoranta (1 samodzielna i 5 jako współautor).

2. Ocena rozprawy

Rozważane w opiniowanej rozprawie problemy naukowe to możliwość sterowania właściwościami akustycznymi struktury zbudowanej z pakowanych próżniowo granulatów za pomocą zmiany podciśnienia wewnątrz jej oraz możliwość predykcji wyników tego sterowania. Problemy te są w sposób prawidłowy i jednoznaczny ujęte w postawionych tezach, a sama rozprawa stanowi oryginalne ich rozwiązanie.

Doktorant realizując kolejne etapy precyzyjnie skonstruowanego i ambitnego programu badań konsekwentnie zmierzał do postawionego celu. Prawidłowo zdefiniował poligon badawczy, dokonał właściwej selekcji specjalnych struktur granulowanych oraz dokonał właściwego wyboru parametrów charakteryzujących właściwości mechanicznych i akustycznych badanych struktur. Realizacja tych prac świadczy o poziomie wiedzy Doktoranta, dobrej znajomości problematyki, wysokich umiejętnościach organizacyjnych, co wymaga specjalnego podkreślenia przy realizacji tak obszernego programu badań. Wykonanie badań wytrzymałościowych wymagało przygotowania specjalnej konstrukcji próbek SSG, umożliwiającej zarówno ich instalowanie jak i zmianę wartości podciśnienia w ich wnętrzu. Natomiast wykonanie badań współczynnika pochłaniania dźwięku ze względu na strukturę badanych próbek i konieczność zmienności podciśnienia wymagało przeprowadzenia wielu pomiarów

pomocniczych, w ramach których badano próbki o różnych średnicach i testowano ich różne rozwiązania konstrukcyjne po kątem wyboru takiej konstrukcji pojemnika na badane granulaty, by zostały zarówno spełnione wymagania metody badań jak i osiągnięte cele planu badawczego. Doktorant przeprowadził szczegółową analizę uzyskanych rezultatów zasadniczych badań empirycznych, a wyniki tej analizy wykorzystał przy opracowaniu modelu matematycznego opisującego właściwości akustyczne SSG. Wykazał się trafnością postępowania badawczego i poprawnością wnioskowania, co świadczy o wiedzy i umiejętności samodzielnego prowadzenia prac naukowych.

Do najważniejszych, oryginalnych elementów rozprawy zaliczam:

- Wykonanie próbek do badań oraz opracowanie stanowiska badawczego do wyznaczania współczynnika pochłaniania dźwięku granulatów pakowanych próżniowo. Zmodyfikowano komercyjnie dostępne stanowisko badawcze do wyznaczania normalnego współczynnika pochłaniania dźwięku materiałów (rurę Kundta) w celu umożliwienia badania materiałów w formie granulatów pakowanych próżniowo charakteryzujących się zmiennym podciśnieniem. Do rury Kundta o średnicy 29 mm dopasowano próbkę skonstruowaną z wykorzystaniem cienkich teflonowych pierścieni w przedniej i tylnej części próbki, zapewniając kształt walcowy próbek. Ponadto zamocowano przewód o średnicy 2 mm, łączący pompę próżniową z badaną próbką. Przeprowadzone badania sprawdzające wykazały, że wprowadzone modyfikacje rury Kundta nie wpływają na wyniki pomiarów współczynnika pochłaniania dźwięku.
- Opracowanie złożonego planu badawczego, obejmującego badania właściwości mechanicznych oraz akustycznych granulatów pakowanych próżniowo.
- Nowatorskie badania współczynnika pochłaniania dźwięku dla pięciu rodzajów granulatów pakowanych próżniowo. Zakres tych badań obejmował określenie wpływu podciśnienia, rodzaju i grubości materiału czołowego próbek, rodzaju materiału granulowanego i objętości próbek na normalny współczynnik pochłaniania dźwięku.
- Uzyskanie bardzo dużego zbioru wyników badań, stanowiącego ważny zasób wiedzy i danych umożliwiających Doktorantowi zarówno programowanie dalszych prac badawczych, jak i przygotowanie publikacji naukowych.
- Ustalenie relacji zachodzących między podciśnieniem wewnątrz struktury granulowanej umieszczonej w szczelnej przestrzeni a współczynnikiem pochłaniania dźwięku tej struktury.
- Wykazanie, że badane struktury granulowane umieszczone w szczelnej przestrzeni z podciśnieniem mogą być uważane za materiały typu inteligentnego, których współczynnik pochłaniania dźwięku można zmieniać za pomocą parametru podciśnienia. Wzrost wartości podciśnienia wewnątrz struktury powoduje zmniejszanie wartości współczynnika pochłaniania dźwięku.
- Opracowanie modelu matematycznego opisującego właściwości akustyczne, wyrażone poprzez współczynnik pochłaniania dźwięku, struktur granulowanych umieszczonych w szczelnej przestrzeni z podciśnieniem w funkcji zmian parametru podciśnienia.

3. Kwestie dyskusyjne i uwagi krytyczne

Uwagi, które przedstawiam poniżej mają w większości charakter dyskusyjny niż krytyczny, ale ponieważ podjęty temat jest wart dyskusji i dalszych prac, liczę że Doktorant odniesie się do tych uwag.

W zdecydowanej większości tekstu rozprawy Doktorant używa określenia „współczynnik pochłaniania” (także słowa kluczowe w języku polskim i angielskim zawierają to określenie). Jest to określenie bardzo ogólne i nie musi jednoznacznie charakteryzować zjawiska pochłaniania fali akustycznej. Właściwości pochłaniania dźwięku przez materiały opisuje „współczynnik pochłaniania dźwięku”.

Do żadnego ze wzorów zamieszczonych w rozprawie nie zostały podane jednostki. Także brak jest jednostek dla wielkości wymienionych w „Wykazie skrótów”. Czy rzeczywiście wszystkie te wielkości są bezwymiarowe?

W tekście rozprawy nie dopatrzyłem się powołań na następujące rysunki, wzory i tabele: rys. 1.2, rys. 1.3, rys. 5.48, rys. 6.12, wzór (4.3), wzór (4.4), wzór (4.18), wzór (4.19), tab. 5.1, tab. 5.2, tab. 5.5, tab. 5.6, tab. 5.7, tab. 5.8, tab. 6.1, tab. 6.2, tab. 6.3, tab. 6.4 i tab. 6.5, a tym samym nie zostały one omówione.

Niektóre sformułowania zastosowane przez doktoranta nie są powszechnie stosowane lub ich interpretacja nie jest jednoznaczna. W związku z tym oczekuję wyjaśnienia znaczenia poniższych sformułowań:

- „kontrolowane tłumienie hałasu” (rozd.1, str. 11),
- „przegroda dźwiękowa” (rozd.1, str.15),
- „niski koszt” (podrozdział 2.3, str. 22),
- „palność” (podrozdział 2.3, str. 22),
- „dobra jakość powierzchni” (podrozdział 2.3, str. 23),
- „dobra izolacyjność” (podrozdział 2.3, str. 24),
- „elementy czynne przegród akustycznych” (podrozdział 3.2, str. 27),
- „ochronniki uszu” (podrozdział 6.1, str. 95),
- „przewodność dźwięku” (podrozdział 6.3, str. 107),
- „przewodność akustyczna” (podrozdział 6.3, str. 108),
- „ciśnienie otoczenia” (np. podrozdział 6.4, str. 111, rys. 6.13).

Zgodnie z zapisem w podrozdziale 5.1 (str. 65) opis eksperymentów wytrzymałościowych dotyczy materiału polistyrenu PS. Natomiast z podpisów do rys. 5.3 i rys. 5.15 wynika, że zamieszczone na nich wyniki dotyczą odpowiednio materiałów PP oraz PMMA. W związku z tym wyjaśnienia wymaga: wyniki badań dla jakich materiałów są przedstawione na rys. 5.5, rys. 5.6, rys. 5.12 oraz na rys. 5.13?

Wyjaśnienia także wymaga jakie dane są przedstawione na rys. 5.15 – z podpisu do rysunku wynika, że na osi rzędnych są wartości modułu Younga E , natomiast na wykresie podano zupełnie inną wielkość – umowną granicę plastyczności k .

We wnioskach z przeprowadzonych badań właściwości mechanicznych (podrozdział 5.4, str. 91) Doktorant stwierdził: „Przede wszystkim potwierdzenie znajduje teza o możliwości sterowania właściwościami specjalnych struktur granulowanych, zamkniętych w przestrzeni z podciśnieniem, poprzez zmianę wartości tego parametru.” Zdanie to wymaga wyjaśnienia, gdyż żadna z tez wymienionych w rozprawie (podrozdział 3.4 *Tezy pracy*) nie dotyczy parametrów mechanicznych i ponadto zagadnienie to było tematem publikacji wymienionych w rozprawie np. (Zalewski 2010).

Podany w podrozdziale 6.2 (str. 99 i 100) opis pomiaru współczynnika pochłaniania dźwięku w komorze pogłosowej (wg metody określonej w normie PN-EN ISO 354) jest niepoprawny. Pomiary izolacyjności akustycznej właściwej wymagają umieszczania badanych próbek (przegród) w oknie pomiarowym, natomiast podczas pomiarów współczynnika pochłaniania dźwięku wymagania w tym zakresie są zupełnie inne. Także rys. 6.2 nie ma żadnego związku z pomiarami współczynnika pochłaniania dźwięku w komorze pogłosowej - stanowi on ilustrację przypadku pomiarów izolacyjności akustycznej właściwej przegród.

Zastosowana metoda badań współczynnika pochłaniania dźwięku wymaga (zgodnie z PN-EN ISO 10534-2) przed każdym badaniem i po każdym badaniu kalibracji amplitudowej mikrofonów. W związku z tym oczekuję odpowiedzi na pytanie: w jaki sposób kalibrowano mikrofony? W opisie stanowiska pomiarowego, podanym na str. 105, brak jest elementu wyposażenia pomiarowego umożliwiającego taką kalibrację.

Jakie były wartości ciśnienia atmosferycznego i temperatury powietrza podczas wykonywania pomiarów współczynnika pochłaniania dźwięku? W rozprawie stwierdzono jedynie, że pomieszczenie było klimatyzowane. Klimatyzacja pomieszczenia nie zapewnia warunków niezmiennych temperatury i wilgotności powietrza.

Wyjaśnienia wymaga, na jakiej podstawie Doktorant stwierdził w podrozdziale 6.3 (str. 107), że „*Największe zmiany struktury materiału (pod względem akustycznym) przebiegają w zakresie 0 – 0,3 MPa (rys. 6.10).*” – na powołanym rys. 6.10 brak jest wartości współczynnika pochłaniania dźwięku dla podciśnienia 0,3 MPa.

W podrozdziale 6.2 (str. 101) Doktorant zadeklarował, którą metodę zastosował w badaniach współczynnika pochłaniania dźwięku SSG – stwierdził, że była to metoda zgodna z PN-EN ISO 10534-2. Jednocześnie w sprzeczności z tym stwierdzenie jest zapis na str. 108, który wymaga wyjaśnienia: „*Badania zamkniętych próbek struktur granulowanych w trakcie utrzymywania podciśnienia byłyby praktycznie niemożliwe do wykonania sposobami stosowanymi w akustyce*”.

Analiza wyników przedstawionych na rys. 6.16, rys. 6.17 i rys. 6.18 nasuwa następujące pytania i uwagi:

- jaka badana próbka kryje się pod skrótem POL? (brak jest skrótu POL w rozdziale *Wykaz skrótów*),
- dlaczego na rys. 6.16 nie zamieszczono wyników badań dla PMMA?
- dlaczego na rys. 6.17 i na rys. 6.18 nie zamieszczono wyników badań dla PMMA oraz PPt?
- interpretacja wyników badań zamieszczona na str. 113 „*Dla powłoki „2” najlepsze wyniki pochłaniania dźwięku ma również polistyren...*” nie jest poprawna. Z rys. 6.17 wynika, że PS posiada największe wartości współczynnika pochłaniania dźwięku (w porównaniu z pozostałymi, badanymi SSG) jedynie w zakresie częstotliwości do ok.3 kHz.

W rozprawie zamieszczono jedynie wyniki pomiarów współczynnika pochłaniania dźwięku badanych SSG, natomiast zakres pracy nie obejmował wyznaczania izolacyjności akustycznej przegród wykonanych z badanych SSG. Zjawisko pochłaniania fal akustycznych i zjawisko przenikania fal akustycznych to zupełnie różne zjawiska, charakteryzowane innymi parametrami – odpowiednio współczynnikiem pochłaniania dźwięku i izolacyjnością akustyczną. W związku z tym wyjaśnienia wymaga:

- na jakiej podstawie Doktorant na str. 126 (podrozdział 6.8) stwierdził, że w stosunku do badanych granulatów „można stwierdzić, że nadają się one na materiał dźwiękoizolacyjny”?
- na jakiej podstawie Doktorant na stronach 145 – 146 (rozdział 8) stwierdził, że nawet niewielka wartość częściowej próżni powoduje uzyskanie „przeźroczystości” akustycznej przegród wykonanych z SSG?
- na jakiej podstawie Doktorant na str. 146 (rozdział 8) przyjął, że segmenty przegrody wypełnione granulatem (rys. 8.1), w których panuje ciśnienie atmosferyczne będzie charakteryzowała maksymalna izolacyjność akustyczna?

W wyniku przeprowadzonych badań SSG Doktorant stwierdził, że „W większości przypadków odnotowano bardzo dynamiczny spadek rejestrowanych wartości współczynnika pochłaniania już przy generowaniu niewielkich wartości podciśnienia wewnętrznego” (str. 145). Jednocześnie np. dla celów ograniczania hałasu czy kształtowania akustyki pomieszczeń (np. dla zwiększenia zrozumiałości mowy) szczególne znaczenie mają materiały charakteryzujące się dużymi wartościami współczynnika pochłaniania dźwięku. W związku z tym w jaki sposób Doktorant postrzega możliwości praktycznego wykorzystania SSG, wewnątrz których będzie zwiększane podciśnienie?

4. Redakcja tekstu rozprawy

Układ i podział rozprawy są przejrzyste. Pewnym mankamentem jest opracowanie graficzne rozprawy:

- część rysunków jest nieczytelna (rysunki 6.22 – 6.37, rysunki 7.15 – 7.32),
- wiele rysunków posiada identyczne podpisy, które nie wyjaśniają jednoznacznie zawartości rysunków, np. treść „Charakterystyka $E=f(p, V)$ ” znajduje się pod trzema rysunkami (rys. 5.39, rys. 5.44, rys. 5.49),
- błędy w podpisach do rysunków, np. podanie jako jednostka objętości „mm/s” (rys. 5.41), zapisanie objętości za pomocą symbolu \emptyset , powszechnie stosowanego do zapisu średnicy (rysunki 5.36, 5.37, 5.41, 5.42, 5.46, 5.47),
- dwa różne rysunki są oznaczone jako rys. 5.55 – na str. 84 jest rys. 5.55 i na str. 87 też jest rys. 5.55,
- brak powołanych na str. 86 rysunków 5.65 i 5.66.

Użyte w kilku miejscach sformułowania są, moim zdaniem, trochę niefortunne:

- „... ważnym krokiem naprzód w kierunku popularyzacji ...” (str.27),
- „... wydaje się także być istotnym wkładem autora w zmianę sposobu myślenia o akustyce.” (str. 28),
- „... na szczęście istnieje druga możliwość ...” (str. 100),
- „... dopasowano ciasno spasowaną ...” (str. 102),
- „Oczywiście, autor został zmuszony dokonać ...” (str. 129),
- „Autor wierzy, że niniejsza praca, poprzez ujawnienie ...” (str. 148 – 149),
- „Widać, że nawet na pierwszy rzut oka ...” (str. 152).

Uważam także za niefortunne tytuły następujących rozdziałów/podrozdziałów:

- tytuł „Wykaz skrótów” (str. 7) nie odzwierciedla zawartości tego fragmentu rozprawy – podano w nim zaledwie 5 skrótów, a pozostałą, znacznie większą stanowią symbole,
- „2.2. Idea. Zasada ...” (str. 17),
- „4.4. Tzw. Modele fenomenologiczne” (str. 44).

W rozprawie zdarzają się również błędy literowe i interpunkcyjne na stronach: 23 (ostatni wiersz, po ostatnim znaku tiret brak jest treści), 99 i 101 (zamiast „Rura Kundta” powinno być „rura Kundta”), 129 (brak przecinka przed „w których”), 137 (brak przecinka przed „które”), 162 (powołanie się w spisie na stronę 217, której nie ma).

Ponadto:

- na str. 69 powołano się na tabele 2 i 3, których nie ma w tekście rozprawy,
- w tabelach 5.6, 5.8 oraz 5.14 (strony 84, 86 i 89) nie podano informacji jaka wielkość (i w jakich jednostkach jest wyrażona) znajduje się w pierwszym wierszu każdej z tych tabel,
- brak jest tabel 5.9, 5.10, 5.11 i 5.12,
- brak jest rys. 5.45,
- w tabeli 7.1 w trzech wierszach zastosowano nieprawidłowy separator dziesiętny (w języku polskim separatorem dziesiętnym jest przecinek).

Z kolei w wykazie literatury błędnie podano dwukrotnie tą samą publikację autorstwa Yamamoto *et al.* (str. 160).

5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Przedstawione w powyższych punktach kwestie i uwagi dyskusyjne oraz uwagi dotyczące redakcji tekstu nie wpływają na ogólną ocenę rozprawy doktorskiej mgr. inż. Michała Rutkowskiego. Powinny być jednak uwzględnione przez Niego przy przygotowywaniu publikacji z zakresu objętego rozprawą.

Sformułowane w tezach badawczych problemy naukowe Doktorant rozwiązał w sposób oryginalny. Zatem stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Michała Rutkowskiego pt. „Badania empiryczne i modelowanie właściwości akustycznych struktur granulowanych znajdujących się w przestrzeni z podciśnieniem” spełnia wszystkie wymogi stawiane rozprawom doktorskim i wnioskuję do Rady Wydziału Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie Pana mgr. inż. Michała Rutkowskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

