

dr hab. inż. Witold LUTY, prof. Ł-PIMOT
Sieć Badawcza Łukasiewicz –
Przemysłowy Instytut Motoryzacji
03-301 Warszawa
ul. Jagiellońska 55

Warszawa 04.09.2022r.



Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Karola SZTWIERTNI

pt. Metoda oceny narażenia na oddziaływanie drgań załóg kołowych pojazdów specjalnych

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Jarosław KORZEB, prof. uczelni
Promotor pomocniczy: dr inż. Rafał Melnik
Miejsce złożenia rozprawy: Politechnika Warszawska

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawę opracowania recenzji stanowi uchwała Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport z dnia 05.07.2022r. w sprawie wyznaczenia recenzentów rozprawy doktorskiej pana mgr. inż. Karola Sztwiertni. W uchwale powołano moją osobę na recenzenta przedmiotowej rozprawy doktorskiej.

2. Ogólna charakterystyka redakcyjna

Zasadnicza część przedstawionej do oceny rozprawy doktorskiej zawiera 7 rozdziałów, w tym Wprowadzenie, Podsumowanie i Wnioski. Zamieszczono również dodatkowe elementy struktury pracy takie jak Streszczenie (w wersji polskiej i angielskiej), Wykaz ważniejszych definicji i oznaczeń stosowanych w pracy, Biografia, Spis tabel, Spis rysunków i 6 Załączników. Całość pracy obejmuje 236 ponumerowanych stron. W spisie literatury zamieszczono 156 pozycji. Wśród nich przywołano głównie artykuły naukowe, monografie, źródła prawa, normy oraz strony internetowe.

3. Analiza treści rozprawy

1. Wprowadzenie

Autor wskazał drgania jako główne źródło uciążliwości jazdy dla pasażerów i członków załogi pojazdów. Wymienił przyczyny powstawania drgań w pojazdach z uwzględnieniem oddziaływań zewnętrznych jak i wewnętrznych pochodzących od samego pojazdu. Wspomniał również o dokumentach normatywnych, które regulują zagadnienia wpływu oddziaływania drgań na organizm ludzki, jednak zaznaczył, że brakuje uregulowań dedykowanych dla pojazdów specjalnych. Na podstawie przedstawionych informacji Autor uzasadnił podjęcie tematyki pracy ukierunkowanej na nową metodę badań.

2. Oddziaływanie drgań na człowieka

Rozdział ma charakter przeglądowny. Autor przytoczył liczne źródła literaturowe, które wskazują drgania jako źródło dyskomfortu, zaburzeń funkcjonowania ciała, zmęczenie a nawet schorzeń członków załogi i pasażerów pojazdów. Przywołał również dane na temat częstotliwości drgań własnych narządów ciała ludzkiego. W kolejnej części Autor przedstawił akty normatywne regulujące dopuszczalne parametry drgań oddziaływujących na człowieka w miejscu pracy. Wskazał, że w przypadku pojazdów specjalnych problematyka warunków pracy załogi podczas jazdy jest najczęściej pomijana zarówno w dokumentach prawnych, normatywnych jak i w wymaganiach stawianych takim pojazdom w dokumentacji przetargowej funkcjonującej w trybie zamówień.

3. Cel i zakres pracy

Przedstawione wyniki przeglądu literatury Autor wykorzystał do sformułowania tezy i celu pracy. Postawił tezę, że ocenę narażenia organizmu operatora pojazdu na drgania można przeprowadzić na podstawie wyników pomiaru uzupełnionych wynikami symulacji dynamiki ciała człowieka.

Autor przedstawił również cel, którym było:

Opracowanie metody oceny narażenia na oddziaływanie drgań załóg kołowych pojazdów specjalnych, eksploatowanych w warunkach jazdy terenowej.

Po przedstawieniu celu Autor przedstawił również zagadnienia służące jego realizacji oraz plan realizacji pracy.

4. Ilościowe metody oceny ekspozycji na drgania

Autor przedstawił ogólny opis warunków jazdy pojazdu, które mają wpływ na wyniki pomiaru obciążeń dynamicznych działających na załogę wewnątrz pojazdu. Przedstawił również listę oraz syntetyczny opis metod oceny obciążeń dynamicznych wewnątrz pojazdu. Przytoczone metody są oparte na dokumentach normatywnych, które Autor przywołał. Prowadzą do ustalenia dopuszczalnego czasu pracy, wartości wskaźników porównawczych albo do określenia charakterystyk drgań porównywanych z charakterystykami odniesienia określającymi granice komfortu, uciążliwości i szkodliwości drgań na stanowisku pracy.

Ważną częścią treści rozdziału jest opis zastosowanego w badaniach modelu ciała człowieka. Autor przedstawił założenia ogólne oraz założenia upraszczające modelu ciała człowieka i jego otoczenia w warunkach badań symulacyjnych. Przedstawił model fizyczny, na podstawie którego sformułował równania ruchu poszczególnych połączonych ze sobą elementów.

5. Badanie oddziaływania drgań na operatorów i załogi pojazdów specjalnych

Rozdział jest poświęcony badaniom wykonanym na rzecz realizacji niniejszej pracy. Przedstawiono dane 3 pojazdów wojskowych poddanych badaniom eksperymentalnym. Badania wykonano podczas jazdy na rodzajach podłoża (droga asfaltowa wysokiej jakości, zniszczona droga gruntowa, droga terenowa). Przedstawiono również elementy aparatury pomiarowej, warunki realizacji badań, parametry pomiaru, punkty pomiaru przyśpieszenia, listę wyznaczanych charakterystyk i wskaźników.

Następnie autor przedstawił wyniki obliczeń wskaźników porównawczych wyznaczonych na podstawie wyników pomiaru dla zaplanowanych pojazdów oraz nawierzchni podłoża, na podstawie wartości składowych przyspieszenia w zaplanowanych miejscach: podłogi kabiny pod fotelem, na siedzisku fotela oraz na głowie (kierowcy i dowódcy pojazdu). Wyniki pomiarów bezpośrednich oraz wyniki obliczeń Autor przedstawił na rysunkach w załączniku 1 do 6 pracy.

W rozdziale, w pierwszej kolejności przedstawiono wartości dawki VDV.

Następnie przedstawiono tabele z wartościami wskaźników uzyskanych na podłodze pod fotelami członków załogi, na siedzisku i na głowie członków załogi, w tym wartości:

- równoważnego skorygowanego przyśpieszenia drgań,
- współczynnika KGU (krotności przekroczenia granicy uciążliwości),
- dopuszczalnego czasu oddziaływania drgań t_{vdop} .

Wskazano przy tym kierunki osiągnięcia najwyższych wartości wskaźników dla poszczególnych pojazdów, prędkości jazdy i rodzajów podłoża, a także przypadki przekroczenia dopuszczalnych wartości (na podstawie t_{vdop}).

W kolejnej części rozdziału Autor przedstawił wynik badań symulacyjnych.

Przedstawiono wyniki procesu weryfikacji modelu dynamiki ciała ludzkiego na fotelu zamocowanym na podłodze pojazdu według przyjętej metodyki. Porównano przebiegi czasowe zmian przyśpieszenia pionowego na fotelu oraz głowy kierowcy i dowódcy na różnych rodzajach nawierzchni drogi.

Jako wskaźnik zgodności wyników symulacji z eksperymentem zastosowano współczynnik korelacji oraz metodę z zastosowaniem sygnału wzorcowego.

6. Projekt kryteriów oceny wpływu drgań na załogę pojazdów specjalnych

W rozdziale Autor zaproponował zestaw nowych wskaźników, które jego zdaniem mogą być skutecznym narzędziem oceny narażenia załóg pojazdów specjalnych. Dla niektórych z nich zaproponował wartości progowe, które mogłyby być stosowane do oceny oddziaływania drań na załogę pojazdów specjalnych oraz do klasyfikacji tych pojazdów pod względem komfortu jazdy załogi. Wartości progowe zaproponowane dla pojazdów specjalnych odnoszą się do wskaźnika

obciążenia drganiami WOD, dopuszczalnego czasu oddziaływania drganiami T_{dop} oraz wartości dawki drgań VDV.

7. Podsumowanie i wnioski

Autor podsumował wyniki wykonanych badań. Dokonał streszczenia poszczególnych etapów prac służących przygotowaniu niniejszej rozprawy. Podkreślił znaczenie uzyskanych wyników badań eksperymentalnych jako unikatowych.

Ustosunkował się do uzyskanych wyników badań zarówno pozytywnie jak i krytycznie. Wskazał warunki, w których zaproponowany model dynamiki sprawdził się w stopniu zadowalającym, a także warunki, w których wyniki symulacji w zastosowaniu do oceny stanu obciążeń dynamicznych organizmu człowieka są niezadowalające.

Autor określił również możliwe kierunki dalszych badań.

4. Merytoryczna ocena rozprawy

Przedstawiona teza pracy jest oparta na założeniu, że w procesie oceny komfortu stanowiska pracy kierowcy/dowódcy/członka załogi można zastosować metodę mieszaną poprzez zastąpienie ciała człowieka narażonego na drgania podczas jazdy testowej modelem dynamiki ciała człowieka, który jest narażony na drgania pomierzone podczas jazdy testowej w warunkach rzeczywistych. Taka metoda może przynieść ze sobą wymierne korzyści:

- niższe koszty badania komfortu jazdy na siedzisku członków załogi pojazdów specjalnych,
- zwiększenie powtarzalności i odtwarzalności warunków badań poprzez zastąpienie niepowtarzalnych ciał członków załogi, powtarzalnym modelem cyfrowym ciała,
- eliminację wpływu nieprzewidywalnych i niepowtarzalnych zachowań człowieka podczas testu, które wpływają na jego wynik,
- zapewnienie obiektywności wyników badań w różnych procesach oceny komfortu pracy członków załogi pojazdów specjalnych.

Jednak osiągnięcie założonych korzyści wymaga właściwego i starannego przygotowania procesu badawczego i jego opisanie w postaci metody badań. Taki właśnie cel przyjął Autor pracy i przystąpił do jego realizacji.

W pierwszej kolejności Autor dokonał przeglądu literatury w zakresie badań i oceny narażenia ciała człowieka na drgania. Tu powołał liczne dokumenty normatywne, źródła prawa, publikacje i monografie dotyczące poruszanej problematyki. Autor sięgnął po źródła krajowe oraz zagraniczne, w tym normy wojskowe. W pracy przedstawił ogólne elementy tej wiedzy, a także szczegółowe informacje dotyczące wskaźników i charakterystyk stosowanych w procesie

oceny oddziaływania drgań na człowieka oraz stosowanych kryteriów oceny. Dzięki dokonaniem przeglądowni literatury Autor pozyskał wiedzę merytoryczną niezbędną i wystarczającą do realizacji zamierzonego celu.

Dla celów realizacji badań symulacyjnych zastosowano model matematyczny ciała człowieka. Model jest wielomasowy. Z przedstawionego schematu wynika, że każda z mas modelu ma 1 stopień swobody (rys. 6) - możliwy jest tylko ruch pionowy w kierunku osi Z, a poszczególne masy są połączone elementami sprężystymi i tłumiącymi. Podczas budowy modelu Autor przyjął pakiet założeń upraszczających, a model dynamiki został zaimplementowany w środowisku MSC ADAMS. Autor przedstawił dane do modelowania, które pozyskał z literatury. Autor przedstawił również uproszczony opis matematyczny dynamiki ciała człowieka, który wg Autora podlegał analizie podczas badań symulacyjnych. Nie wiadomo jednak co to znaczy. Uproszczony model składa się z 3 równań dynamiki opisujących ruch 3 wyodrębnionych mas skupionych (miednica i siedzisko, górna część tułowia, głowa). W modelu przyjęto liniowe elementy sprężyste i tłumiące. Jednak Autor nie wskazał na czym polegało wykorzystanie modelu uproszczonego w pracy. Nie wyjaśnił również jak powiązał liczne elementy modelu dynamiki zastosowanego w wersji ADAMS (18 elementów) z jego uproszczoną wersją sprowadzoną do 3 mas i 3 par współczynników modelu. Równania uproszczonego modelu budzą wątpliwości. Opis matematyczny oraz część opisu słownego nie są zgodne ze schematem modelu pokazanym na rysunku 10. W efekcie również równania 13-15 są niezrozumiałe. Zatem albo są błędne albo wymagają szczególnego wyjaśnienia, czego nie dokonano w pracy.

Ważną częścią pracy eksperyment. Przeprowadzono obszerne badania oddziaływania drgań na człowieka podczas jazdy różnymi pojazdami na różnych rodzajach podłoży. Autor przedstawił w pracy wyniki pomiarów bezpośrednich (przebiegi czasowe mierzonych składowych przyspieszenia) oraz charakterystyki widmowe i inne wskaźniki wyznaczane na podstawie wyników pomiaru. Dokonano również oceny tych oddziaływań względem wymagań normatywnych. Takie wyniki są cenne. To jest wartościowa część pracy, w której zostały udokumentowane rzeczywiste oddziaływania drgań na ciało człowieka podczas jazdy pojazdami specjalnymi w różnych warunkach ruchu. Szkoda, że autor nie wykonał pomiarów przyspieszenia podczas jazdy w warunkach terenowych/poligonowych np. typu drogi leśne pofałdowane. Są to typowe warunki ruchu wojskowych pojazdów specjalnych, a ocena komfortu jazdy załogi w takich warunkach stanowiłaby wartościową część pracy.

Wyniki badań eksperymentalnych zostały wykorzystane do analizy wartości wybranych wskaźników oddziaływania drgań na człowieka w miejscu pracy kierowcy i dowódcy pojazdu w różnych warunkach ruchu. Autor przedstawił wyniki obliczeń wskazując wartości wskaźników, a także kierunek (X,Y,Z) w którym wskaźniki te przyjmowały najbardziej niekorzystne wartości, sugerując najsilniejsze oddziaływanie drgań na ciało ludzkie. Wyniki obliczeń pokazały, że

na płycie podłogowej pod siedzeniem członka załogi w większości przypadków jest to kierunek osi pionowej Z. Jednak w przypadku głowy członka załogi to kierunki osi X i Y przeważały jako kierunki najsilniejszych składowych drgań podczas jazdy. W innych przypadkach wartości wskaźników wyznaczonych w tych kierunkach są porównywalne do ich wartości wyznaczonych w kierunku pionowym (Z). To poddaje pod wątpliwość przyjęte w pracy założenia do budowy modelu dynamiki ciała ludzkiego z elementami o 1 stopniu swobody w zastosowaniu do symulacyjnej oceny oddziaływania drgań na ciało członka załogi podczas jazdy. Zatem przyjęta przez Autora ścieżka postępowania powinna być traktowana raczej jako rozpoznanie możliwości oceny oddziaływania drgań na ciało członka załogi podczas jazdy metodą symulacyjną na przykładzie oddziaływań w kierunku pionowym. Nie jest to jednak zakładana metoda o wysokim stopniu gotowości do stosowania.

Z punktu widzenia staranności realizacji założonego celu ważnym elementem postępowania jest weryfikacja opracowanego modelu dynamiki ciała człowieka. Autor przeprowadził weryfikację modelu poprzez porównanie przebiegów czasowych mierzonych wartości przyspieszenia pionowego na siedzisku i na głowie członków załogi w krótkich, 5 sekundowych odcinkach jazdy po różnych podłożach. Przebiegi czasowe można uznać za porównywalne głównie dla siedziska. Jednak sam autor stwierdził, że dla głowy członka załogi uzyskane wyniki symulacji nie wykazują wysokiego stopnia podobieństwa do wyników pomiaru. Tu Autor wykazał dystans do otrzymanych wyników, uzasadniając stwierdzone rozbieżności aktywnym zachowaniem członka załogi podczas jazdy, czego nie może wykazywać model. Te wyniki wskazują na kolejne ograniczenia przedmiotowej „metody” w zastosowaniu do badań oddziaływania drgań na członków załogi pojazdów podczas jazdy po nierównościach wywołujących znaczne wartości amplitudy przyspieszenia w 3 kierunkach. Autor dokonał również weryfikacji modelu poprzez wyznaczenie współczynnika korelacji przebiegów czasowych przyspieszenia głowy i siedziska oraz poprzez zastosowanie symulowanego sinusoidalnego sygnału wzorcowego. Wiarygodność tej części weryfikacji jest jednak wątpliwa ze względu na:

- formę uzyskanego wyniku obliczeń współczynnika korelacji – niezrozumiały wykres na rysunku 37 przy braku opisu metody jego uzyskania przedstawionych wykresów,
- brak wartości użytkowej w kontekście weryfikacji modelu – nie ma porównania z obiektem rzeczywistym (z zastosowaniem ciała ludzkiego), czyli właściwie nie jest to weryfikacja (rys. 39).

Ostatecznie proces weryfikacji modelu oceniam negatywnie, ponieważ Autor mógłby wykazać wartość użytkową modelu dla ocenianego kierunku oddziaływania (Z) poprzez wyznaczenie wartości wskaźników oceny dla siedziska i głowy kierowcy, a następnie ich porównanie z wartościami tych wskaźników uzyskanymi eksperymentalnie, które przedstawiono w poprzedniej części pracy.

W końcowej części pracy Autor przywołał inne wskaźniki oceny oddziaływania drgań lub obciążeń dynamicznych na ciało człowieka. Pokazał ich przykładowe wartości (STF, HTS) wyznaczone na podstawie wyników pomiaru w formie graficznej. Brak ich interpretacji i kryteriów oceny prowadzi do braku wartości użytkowej w kontekście tej pracy. Autor nie wyjaśnił sposobu uzyskania przebiegów wskaźnika WOD, który z natury jest wyznaczany w funkcji częstotliwości, a w pracy został dodatkowo „rozciągnięty” w wymiarze osi Czasu, tak jakby czas determinował przebieg zmian wartości tego wskaźnika. Jednak na podstawie przywołanych dokumentów normatywnych Autor wyznaczył kryteria oceny stopnia narażenia z użyciem wskaźników WOD, T_{dop} oraz VDV. Takie kryteria oceny mogą znaleźć zastosowanie do oceny komfortu jazdy pojazdów specjalnych. Wymaga to jednak prowadzenia dalszych prac, w tym prac o charakterze normalizacyjnym, przynajmniej w obszarze norm branżowych lub obronnych. Jest to zatem pozytywny efekt pracy Autora, który wskazuje na możliwość kontynuacji rozpoczętych badań i zastosowania ich wyników w procesie oceny komfortu jazdy pojazdów specjalnych.

Autor dokonał podsumowania pracy. Przytoczył ponownie cel pracy oraz sformułował syntetyczne wnioski dotyczące jej poszczególnych części. Wnioski są sformułowane w trybie typowym dla sprawozdania. W części dotyczącej weryfikacji modelu sformułowane wnioski są niewłaściwe biorąc pod uwagę krytyczną ocenę tego procesu, przedstawioną powyżej. Autor nie ustosunkował się do celu pracy, nie stwierdził czy cel został osiągnięty.

5. Uwagi krytyczne

Mimo pozytywnych walorów racy, niektóre elementy treści rozprawy budzą określone pytania i wątpliwości. Przedstawiono je poniżej.

- 1) W części poświęconej analizie literatury autor pominął niejednorodność obwodową opon jako źródło drgań pojazdu podczas jazdy.
- 2) W wyrażeniu 3 Autor podał sposób wyznaczenia charakterystyki gęstości widmowej mocy dla zmierzonego sygnału o określonej liczbie próbek i częstości próbkowania. Widmo jest zbiorem wartości w funkcji częstotliwości, jednak autor nie podał jak dla tego samego wyniku pomiaru należy wyznaczyć skok wartości częstotliwości na osi odciętych dla kolejnych punktów takiej charakterystyki.
- 3) Dane do modelowania dynamiki ciała ludzkiego (Tab. 4) z powołaniem różnych źródeł podanych w założeniach upraszczających. Nie powołano tych źródeł przy opisie tabeli 4.
- 4) W tabeli 4 Autor przedstawił szeroki zestaw danych wykorzystywanych do obliczeń symulacyjnych w opracowanym modelu. Jednak elementy masowe zastosowanego modelu mają tylko 1 stopień swobody (przemieszczenie w kierunku osi Z). Zatem w jakim celu Autor podał dane, które nie mają

zastosowania w opracowanym modelu, w tym momenty bezwładności poszczególnych mas i względem osi Z, X, Y?

- 5) Obszerny zestaw danych do modelowania przedstawionych w tabeli 4 zawiera współczynniki dotyczące elementów modelu ponumerowanych od 1 do 18. Natomiast opis matematyczny modelu zawiera tylko 3 elementy masowe i 3 zestawy współczynników tłumienia i sprężystości. Zatem jakie Autor zastosował przejście od modelu fizycznego pokazanego na rysunkach 5 i 6 do modelu pokazanego na rysunku 8 i jaki związek ma model pokazany na rysunku 8 z opisem pokazanym na rysunku 10.
- 6) Współczynniki sztywności i tłumienia siedziska kierowcy/dowódcy pojazdu jest zależna od jego konstrukcji i zastosowanego materiału wypełniającego. Trudno się spodziewać, że własności sprężysto tłumiące siedzisk w 3 pojazdach różnego typu są takie same. Autor nie podał wartości współczynników charakteryzujących poszczególne siedziska, a nawet nie wskazał jednoznacznie wartości zastosowanych w obliczeniach.
- 7) Jaką Autor zastosował metodę formułowania równań dynamiki 3 mas skupionych w uproszczonym modelu ciała człowieka (równania 13-15). Jak mają się przemieszczenia „x” w tych równaniach i na rys 10 do przemieszczeń „z” opisywanych z ramach założeń upraszczających p.4.2.1 jako zgodne ze stopniem swobody poszczególnych mas skupionych?
- 8) Zaproponowany model dynamiki ciała ludzkiego jest liniowy, a to budzi poważne wątpliwości co do jego wiarygodności szczególnie w warunkach znacznych zmian wartości przyspieszenia pionowego. Dotyczy to zarówno połączenia elementów ciała jaki i siedziska, co do którego są spodziewane silnie nieliniowe własności.
- 9) Badania wykonano na 3 rodzajach podłoży. Z punktu widzenia obszaru badań (pojazdów specjalnych terenowych) zabrakło warunków jazdy typowych dla wojskowych pojazdów specjalnych np. bezdroży czy typowych dróg poligonowych o profilu charakteryzującym łagodnymi nierównościami o znacznych wartościach amplitud. W takich właśnie warunkach często poruszają się pojazdy wojskowe. Skąd zatem pomysł ich pominięcia w badaniach.
- 10) Pomiary przyspieszenia wykonywano w 3 kierunkach (X,Y,Z), a wyniki pokazują, że wartości wskaźników porównawczych wyznaczonych w kierunkach X i Y są porównywalne, a nawet czasem większe niż w kierunku pionowym Z. Czy zatem zaproponowana metoda nie jest nadmiernym uproszczeniem w odniesieniu do pojazdów terenowych, gdzie przechylenie i pochylenie pojazdu może skutkować znacznymi wartościami obciążeń ciała członków załogi w kierunku wzdłużnym i poprzecznym? Jak Autor uzasadni wykonywanie symulacji i analizy wyników tylko w odniesieniu do kierunku pionowego (Z).
- 11) Jak, na przykładzie Tabel 6 do 11 można wytłumaczyć wyższy poziom wyznaczonych wskaźników drgań na siedzisku fotela lub głowy w porównaniu z wynikami uzyskanymi na podłodze pod fotelem? Jak można wytłumaczyć

znaczne (w niektórych przypadkach) różnice wartości dawki VDV przyjmowanych przez dowódcę pojazdu w porównaniu z kierowcą.

- 12) Zastosowanie współczynnika korelacji do weryfikacji modelu jest uzasadnione. Jednak wynikiem obliczenia współczynnika korelacji jest liczba wyznaczona na podstawie 2 porównywanych przebiegów zmian mierzonej wielkości w funkcji czasu (wyrażenie 16). Tymczasem Autor przedstawił wartości współczynnika korelacji w funkcji częstotliwości (rys. 37). Tego w pracy nie wyjaśniono.
- 13) Niejasny jest proces weryfikacji modelu przy pomocy tzw. sygnału wzorcowego (rys. 38 i 39). Taka metoda nie jest weryfikacją modelu, ponieważ nie odnosi się do obiektu rzeczywistego. Wnioski sformułowane na podstawie tej metody właściwie nie służą ocenie modelu. Zgodność wyników symulacji z takim sygnałem wzorcowym nie jest potwierdzeniem poprawności zbudowanego modelu. Może być, co najwyżej, metodą rozpoznania własności modelu. Jednak to wymaga zastosowania właściwych warunków symulacji. Tymczasem Autor zastosował tzw. sygnał wzorcowy o częstotliwości 1Hz. Przy tej częstotliwości trudno oceniać dynamikę modelu – tej dynamiki tu praktycznie nie ma zarówno przy małej jak i dużej amplitudzie (10 m/s^2). Rozpoznanie własności modelu wymagałoby jednak przeprowadzenia takich testów w znacznie szerszym zakresie częstotliwości. Wymagania normatywne (rys. 4) oraz wyniki pomiarów (załączniki 1-6) pokazują, że interesujący zakres częstotliwości wymuszenia drgań na siedzisku sięga co najmniej kilkunastu Hz.
- 14) W kontekście sprawdzenia prawidłowości działania modelu nasuwa się pytanie: Jak Autor wytłumaczy zachowanie modelu, który przy częstotliwości wymuszenia 1Hz, wykazuje większe wartości amplitudy drgań siedziska i głowy (jako elementy oddzielone od podłogi kabiny układem wibroizolacji) niż amplituda wmuszenia tych drgań w podłodze pod fotelem (rys. 38 i 39)?

Pod względem redakcyjnym praca jest wykonana starannie. Na uwagę zasługuje dobry poziom stylu pisania i stosowanego słownictwa technicznego i naukowego. Nieliczne uwagi redakcyjne dotyczą głównie nieczytelnych lub niejasnych opisów zastosowanych na niektórych rysunkach np. rysunkach o numerach:

- 9 – nieczytelne opisy szczegółów modelu fizycznego,
- 23-29 oraz 38-39 – opisy osi wykresów oraz legendy po angielsku oraz niejasne opisy legendy zawierające skróty i kody znane tylko Autorowi,
- rys 37 – nieczytelne opisy, ze względu na bardzo małą czcionkę.

6. Podsumowanie i wnioski końcowe

Przedstawiona do recenzji doktorska zawiera wartościowe treści. Autor zaproponował ważny temat, który wynika z realnych problemów parametryzowania i oceny komfortu osób i ładunków przewożonych w pojazdach specjalnych. Przedstawiona praca nie jest tytułową „metodą”, ale

stanowi ważny krok w stronę ustanowienia dedykowanej metody badań i oceny pojazdów specjalnych w aspekcie komfortu jazdy. Biorąc pod uwagę specyfikę warunków jazdy pojazdem specjalnym w trudnych warunkach terenowych, docelowa metoda powinna uwzględniać nie tylko możliwość oceny komfortu jazdy załogi, ale również przewożonych ładunków, w tym np. amunicji artyleryjskiej, raketowej lub innych elementów wyposażenia wrażliwych na drgania. Przedstawione wyniki badań eksperymentalnych niosą ze sobą cenne i wymierne informacje o poziomie obciążeń dynamicznych działających na członków załogi pojazdów specjalnych podczas jazdy.

Do rozwiązania sformułowanego problemu naukowego autor zaproponował i zastosował oryginalne rozwiązanie. Przyjął metodę badań eksperymentalnych i modelowych. Zastosował przy tym dostępną wiedzę teoretyczną i praktyczną, którą wykorzystał do zaplanowania i wykonania badań eksperymentalnych i modelowych oraz do analizy wyników pomiaru i obliczeń, w tym do wyznaczenia charakterystyk oraz wskaźników porównawczych. Wykazana wiedza i umiejętności Autora identyfikują się z obszarem dyscypliny naukowej inżynieria lądowa i transport. Autor wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej poczynając od analizy literaturowej poprzez planowanie i realizację badań eksperymentalnych i symulacyjnych, a kończąc na obróbce i analizie wyników pomiarów i badań wraz z formułowaniem wniosków. Wskazane w recenzji obszary pracy, które budzą wątpliwości obniżają wartość pracy. Przedstawione uwagi i pytania nie mają charakteru uwag krytycznych. Wymagają jednak ustosunkowania się i złożenia stosownych wyjaśnień przez Autora.

Pomimo sformułowanych uwag i zastrzeżeń stwierdzam, że przedstawiona do recenzji praca doktorska pana mgr. inż. Karola Sztwiertni spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim, określone w art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Dlatego niniejszym wnioskuje o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego z jednoczesnym wymaganiem ustosunkowania się do stwierdzonych uwag i udzielenia odpowiedzi na postawione pytania. Ocenę udzielonych odpowiedzi pozostawiam Komisji do dyskusji podczas obrony pracy doktorskiej.

Witold Luty

