

Prof. nzw. dr hab. inż. Wiesław Grzesikiewicz
Instytut Pojazdów
Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych
Politechnika Warszawska

O P I N I A
o rozprawie doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Sekuły

nt.

Real-Time Dynamic Load Identification

Promotorem pracy jest prof. dr hab. inż. Jan Holnicki – Szulc
Obrona pracy odbędzie się przez Radą Naukową Instytutu Podstawowych Problemów Techniki
PAN.

1. Ocena rozprawy

1.1 Ogólna charakterystyka rozprawy oraz ocena tematu i celu

Rozprawa dotyczy wyznaczenia wybranych mechanicznych parametrów obiektu, który krótkotrwale oddziałuje na pomiarowy układ mechatroniczny.

Zakres rozprawy obejmuje:

- przegląd zagadnień związanych z pomiarami krótkotrwałych obciążeń mechanicznych oraz z zastosowaniami wyników tych pomiarów do identyfikacji parametrów obiektu oddziałującego ;
- prezentację dwu detektorów nacisku koła pojazdu na drogę, mających postać belki lub płyty oraz analizę sygnałów pomiarowych z czujników odkształceń belki lub płyty;
- opis układu pomiarowego zainstalowanego na kratownicy wiaduktu kolejowego i szynach toru tuż przed wiaduktem, a także analizę sygnałów pomiarowych wzbudzonych przejazdem pojazdu szynowego;
- prezentację proponowanego modelu toru kolejowego oraz metodę wyznaczania wartości parametrów tego modelu, a także jego weryfikację;
- opis stanowiska laboratoryjnego służącego do badania zderzenia ciała z pneumatycznym amortyzatorem, a także opracowanie metody wyznaczania masy i prędkości uderzającego ciała na podstawie wyników pomiarów obciążeń i odkształceń amortyzatora

- wnioski określające warunki pomiarów oraz metody przetwarzania wyników w celu bezzwłocznego wyznaczenia mechanicznych parametrów obiektu, który krótkotrwale oddziaływał na układ pomiarowy.

Przedstawiony zakres rozprawy wskazuje, że tematyka pracy jest związana z nowoczesną problematyką wyznaczania w czasie rzeczywistym obciążeń konstrukcji mechanicznych. Problematyka ta znajduje coraz szersze zastosowanie techniczne, na przykład w systemach ochrony budynków przed trzęsieniem ziemi, a także do ograniczania drgań i obciążeń udarowych przy użyciu sterowanych dyssypatorów oraz w pomiarach obciążeń mechanicznych (wagi drogowe). Zastosowanie przedstawionej w rozprawie metody pomiarów i przetwarzania wyników, umożliwia w bardzo krótkim czasie ustalić optymalny sygnał sterujący dyssypator lub inne urządzenie służące do ograniczania obciążenia konstrukcji. Ze względu na złożone zjawiska fizyczne zachodzące w takich systemach pomiarowych, badania właściwości tych urządzeń wykonuje się - w chwili obecnej - przede wszystkim metodami doświadczalnymi. W rozprawie pana mgr inż. Krzysztofa Sekuły jest przedstawiona taka metoda badania systemów pomiarowych oraz są prezentowane uzyskane wyniki ilustrujące charakterystyki rozpatrywanych urządzeń. Oprócz tego Doktorant przedstawił matematyczny model stanowiska laboratoryjnego do badań zderzenia ciał. Model ten posłużył do opracowania metody wyznaczania masy i prędkości uderzającego ciała na podstawie wyników pomiarów.

Uważam, że podjęty w rozprawie temat jest aktualny i ważny ze względu na doskonalenie systemów służących do pomiarów różnego rodzaju krótkotrwałych mechanicznych obciążeń działających na konstrukcje inżynierskie lub maszyny. Konieczność doskonalenia tych systemów pomiarowych wynika z technicznego wyzwania do doskonalenia urządzeń ograniczających skutki wspomnianych obciążeń, a tym samym do zwiększenia bezpieczeństwa w czasie eksploatacji wspomnianych konstrukcji.

Rozprawa pana mgra inż. Krzysztofa Sekuły ukazuje metodykę doświadczalnych badań omówionych mechatronicznych systemów pomiarowych, które były wykonane przy współudziale Doktoranta.

Teza oraz cel pracy są sformułowane jasno, a ponadto wyraźnie ukazują problem mający znaczenie dla praktyki w zakresie metodyki projektowania i badania urządzeń pomiarowych, a dla nauki w dyscyplinie Budowa i Eksploatacja Maszyn. Zakres rozprawy wyczerpuje większość zadań badawczych związanych z problematyką podjętą przez Doktoranta.

Podsumowując tę część oceny stwierdzam, że:

- sformułowanie tezy i celu rozprawy wyraźnie precyzują jej naukowo-badawczą problematykę;
- tematyka rozprawy została wyczerpująco przedstawiona na tle współczesnych zagadnień związanych z mechatronicznymi układami pomiarowymi wielkości mechanicznych;
- przytoczony wybór pozycji literatury wskazuje, że Doktorant jest zorientowany w piśmiennictwie związanym z tematyką rozprawy i ma w nim swój udział.

W zakończeniu pragnę dodać, iż rozprawa powstała w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki PAN i jest związana z dwoma europejskimi projektami badawczymi, które były wykonywane w zespole kierowanym przez profesora Jana Holnickiego – Szulca.

1.2 Merytoryczna ocena rozprawy

We wstępnej części rozprawy Doktorant formułuje i uzasadnia cel pracy. Podstawę tego uzasadnienia stanowi stwierdzenie, iż coraz częściej niezbędnym staje się pomiar krótkotrwałego obciążenia zewnętrznego, działającego na różnego rodzaju konstrukcje inżynierskie. Doktorant prezentuje tu przegląd zagadnień, związanych z pomiarami stosownych wielkości dynamicznych oraz omawia techniczne zastosowanie takich systemów pomiarowych.

Problematyka pierwszej części rozprawy dotyczy pomiaru nacisku koła pojazdu na drogę w czasie przejazdu przez wagę drogową, mającą postać odkształcalnej belki lub płyty. Zagadnienia tej problematyki są prezentowane w rozdziale 2 oraz w pięciu załącznikach A, B, C, D, E. W podrozdziałach 2.1, 2.2 Doktorant zamieścił ogólne rozważania dotyczące pomiaru nacisku koła pojazdu samochodowego na drogę w czasie jazdy. Prezentuje tu szereg zagadnień związanych z metodami pomiaru oraz z eksploatacyjnymi uwarunkowaniami mierzenia nacisku koła.

W podrozdziale 2.3 oraz w wyżej wymienionych załącznikach znajdują się opisy konstrukcji wagi belkowej oraz wybranych zagadnień związanych ze skalowaniem i testowaniem wagi. Podstawę do ustalenia nacisku koła przejeżdżającego przez wagę stanowią odkształcenia belki w postaci rury kwadratowej 80x80 mm o grubości 4 mm i długości 2000 mm. Do pomiaru odkształcenia belki użyto 6 piezoelektrycznych czujników. Doktorant w załączniku E prezentuje wyniki obliczeń pierwszych częstości drgań własnych rozpatrywanej belki ($\omega_1=114,5$ [Hz] - postać giętno-skębna oraz $\omega_2=131,3$ - postać giętna)

W załącznikach A, B, C, D są zamieszczone wybrane wyniki testów na stanowisku laboratoryjnym, mających na celu skalowanie czujników odkształceń; w punkcie 2.3.3; znajduje się omówienie symulacji analogicznych tekstów wykonanych przy użyciu programu ADINA. Również w punkcie 2.3.3 (str. 32 i 33) Doktorant omawia wyniki symulacji pomiaru w postaci amplitudy sygnałów z sześciu czujników w zależności od miejsca działania obciążenia (rys. 2.11 a), a także zamieszcza przebieg w czasie wybranych sygnałów (rys. 2.11 b).

Do przedstawionego powyżej fragmentu rozprawy mam następujące zastrzeżenia i uwagi. Uważam, że zagadnienie symulacyjnych badań belki (wagi) jest bardzo istotne, natomiast omówiony powyższej fragment rozprawy jest przedstawiony bardzo powierzchownie co istotnie utrudnia czytelnikowi docenić wysiłki i dokonania Autora; w tym przypadku omawiany fragment badań jest w zasadzie przedstawiony w dwóch krótkich akapitach pod rysunkiem 2.10 oraz zilustrowany wykresami na rysunkach 2.10 i 2.11. Na rysunku 2.10 Doktorant przedstawia rozkład nacisków pod kołem pojazdu poruszającego się z napędem lub bez napędu przy założeniu, iż statyczny nacisk wynosi 5kN, w podpisie rysunku 2.10 jest podane, iż prezentowane wykresy wyznaczono metodą elementów skończonych (MES). Moim zdaniem opis rysunku nie wyjaśnia skąd pochodzą wykresy; czy Autor wykonał sam obliczenia?; jakie przyjął założenia dotyczące parametrów opony i napędu?; dlaczego nie ustosunkował się do naprężeń stycznych? Poza tym mam wątpliwości czy wartości siły nacisku koła, określone rozkładem z rysunku 2.10a, będzie miała wartość 5 kN. Oprócz tych szczegółowych zastrzeżeń mam również wątpliwości co do celowości symulacyjnego badania takiego obciążenia, skoro w badaniach doświadczalnych (p. 2.3.5) rozpatrywano przejazd przez wagę motocykla, którego statyczne naciski na koła są istotnie mniejsze i wynoszą odpowiednio 0,82 kN i 1,25 kN. W końcowej części punktu 2.3.3 Doktorant przedstawia przykładowe wyniki symulacji ilustrujące wpływ prędkości przejazdu przez wagę na przebieg sygnału jednego z czujników odkształceń belki; szkoda, że nie został wyznaczony czas działania obciążenia na belkę.

Bardzo istotnym fragmentem rozdziału 2.3 jest punkt 2.3.5, gdzie Doktorant omawia pomiary drogowe związane z przejazdem motocykla przez wagę, a także punkt 2.3.4., gdzie jest omówiona metoda identyfikacji obciążenia. Na wykresach rysunku 2.19 są przedstawione sygnały z sześciu czujników, zarejestrowane w trakcie przejazdu motocykla a na rysunku 2.25 wykresy ilustrujące wpływ prędkości motocykla na sygnał w czujniku 4. Na wykresach z rysunku 2.25 (dla prędkości 60 i 80 km/h) są widoczne drgania swobodne belki z częstością wynosząca około 160 Hz (przybliżony wynik

odczytany z wykresów). Doktorant słusznie zwraca uwagę, że ze względu na dokładność pomiaru, prędkość przejazdu przez rozpatrywaną wagę belkową nie powinna przekraczać 50 km/h.

Sądzę, że syntezę opisanych wyżej dokonań Doktoranta ilustruje rysunek 2.22, gdzie są zamieszczone wyniki pomiarów nacisku w postaci względnej w zależności od miejsca przejazdu koła przez wagę belkową; względność pomiaru nacisku oznacza, iż zmierzony nacisk koła został odniesiony do nacisku statycznego. Szkoda, że Autor nie wykonał statystycznego opisu tych wyników, co by ułatwiło czytelnikowi pełną ocenę uzyskanych wyników identyfikacji nacisku koła. Organoleptyczna ocena rezultatu wskazuje, że odchylenie standardowe jest bliskie 0,1. Biorąc pod uwagę, że w czasie jazdy w efekcie drgań pojazdu naciski kół zmieniają się, to wyniki pomiaru nacisku koła prezentowane na rysunku 2.22 są - moim zdaniem - zadawalające.

W podrozdziale 2.4 i częściowo w aneksie F Doktorant prezentuje drugi rodzaj wagi drogowej, w której elementem odkształcalnym jest płyta o wymiarach 2000 x 280 x 8 [mm]; na płycie co 100 mm znajduje się 19 piezoelektrycznych czujników odkształceń. Doktorant prezentuje wyniki testów skalowania czujników oraz wyniki obliczeń pierwszych częstości drgań własnych płyty (845,8 – 889,2) Hz; (szkoda, że nie są sprecyzowane warunki brzegowe płyty). W pełni się zgadzam z wnioskiem Doktoranta, iż waga płytowa umożliwi dokładniejszy pomiar, aniżeli wcześniej omawiana waga belkowa. Jednakże w rozprawie nie mogę znaleźć wyników pomiarów, które by ten wniosek w pełni uzasadniały.

Porównując wykresy sygnałów z czujników odkształceń - wzbudzone przejazdem motocykla - zamieszczone na rysunkach 2.25 (belka) i 2.36 (płyta) można uznać, iż sygnały z czujnika płyty (rys. 2.36) są lepsze; a ponadto z wykresów dla prędkości 20, 40 km/h (rys. 2.36) wynika, że iloraz granicznych wartości sygnałów w chwilach przejazdu kół motocykla przez wagę, jest bardzo bliski ilorazowi statycznych nacisków kół motocykla podanych na stronie 41. Z tego powodu zgadzam się z wymienionym wyżej wnioskiem Doktoranta.

Wyniki pomiaru względnego nacisku kół motocykla na wagę płytową, podczas przejazdu z prędkością 40 km/h, są zamieszczone na rysunku 2.35. Według oszacowania Doktoranta dokładność tych pomiarów jest lepsza niż 10%.

Kolejna część pracy zawarta w rozdziale 3, dotyczy układu pomiarowego, który zainstalowano na kratownicy wiaduktu kolejowego i szynach toru tuż przed wiaduktem. Układ ten służy do pomiaru odkształceń szyny i kratownicy a także przemieszczeń szyny wywołanych przejazdem wieloosiowego pojazdu szynowego. Doktorant prezentuje tu

bardzo duże przedsięwzięcie pomiarowe, a także przedstawia przykładowe wyniki pomiarów związane ze skalowaniem oraz testowaniem układu pomiarowego. Na uwagę zasługują przebiegi sygnałów z czujników odkształceń zarejestrowane w trakcie pojazdu sześćoosiowej lokomotywy (rys. 3.9 i 3.10a) oraz czteroosiowego wagonu osobowego (rys. 3.10b). Wykresy tych sygnałów ilustruje przebieg odkształcenia szyny w miejscu zamocowania dwóch czujników, a na rysunku 3.16 są zamieszczone wykresy przedstawiające pionowe przemieszczenia szyny. Moim zdaniem wykresy zamieszczone na rysunkach 3.10 i 3.16 określają ważne charakterystyki układu pojazd – tor. Jednakże aby ustalić te charakterystyki należy zamienić oś czasu na oś odległości $x = v(t - t_0)$ gdzie v jest prędkością jazdy pojazdu, a t_0 – chwilą, której środek geometryczny pojazdu mija stosowny czujnik. Na przykład taka charakterystyka ustalona na podstawie rysunku 3.16a wyznacza linię ugięcia szyny pod sześćoosiową lokomotywą. Prędkość pojazdu w bardzo małym stopniu wpływa na postać tej charakterystyki, o czym świadczą wyniki pomiaru wpływu prędkości zamieszczone na rysunku 3.11. Obok wyników badań doświadczalnych na torze kolejowym Doktorant prezentuje model oraz rezultaty komputerowej symulacji przejazdu lokomotywy przez analogiczny odcinek toru. Zasadniczym zadaniem tego modelowania była identyfikacja modelu toru. Doktorant przedstawił strukturę tego modelu w postaci belki Eulera-Bernoulliego, opierającej się na zestawie oscylatorów służących jako modele podkładów i podłoża. Następnie opisał analizę doboru wartości parametrów modelu, zwracając szczególną uwagę na parametry charakteryzujące sprężysto-dyssypacyjne cechy podłoża. Obliczenia wykonał metoda elementów skończonych przy użyciu programu ADINA. W pracy nie ma jednak matematycznego sformułowania zadania, które było rozwiązywane, nie są określone warunki brzegowe, a także obciążenie toru. Rysunek 3.12 sugeruje, że obciążenie miało postać zestawu sił przemieszczających się z ustaloną prędkością, odwzorowujących naciski pojazdu; natomiast na stronie 75 i na rysunku 3.17, Doktorant analizuje wpływ sztywności zawieszenia pojazdu (lokomotywy?) na zmianę naprężeń w szynie. Moim zdaniem Doktorant niezbyt ściśle przedstawił rozpatrywany model układu pojazd – tor i z tego powodu nie potrafię w pełni docenić dokonań Doktoranta w zakresie modelowania. Jednakże biorąc pod uwagę rysunek 3.16b, gdzie jest zamieszczone zestawienie wykresów naprężeń w szynie, ustalonych na podstawie wyników pomiarów oraz wyników obliczeń, wyrażam uznanie za uzyskanie bardzo dobrej zgodności wyników obliczeń z rezultatami pomiarów.

Część rozprawy, zawarta w rozdziale 4 i załącznikach G, H dotyczy badania zderzenia dwóch ciał w celu identyfikacji masy i początkowej prędkości ciała uderzającego. Na

początku Doktorant uzasadnia celowość podjęcia tej problematyki oraz przedstawia stanowisko laboratoryjne służące do badania zderzenia. Stanowisko to umożliwia badanie zderzenia swobodnie spadającego ciała z tłokiem amortyzatora pneumatycznego. W trakcie tego uderzenia są mierzone przemieszczenie, prędkość i przyspieszenie zderzających się ciał oraz siła zderzenia działająca na tłok amortyzatora. W punkcie 4.5.1 rozdziału 4 Doktorant przedstawia wybrane wyniki pomiarów zderzenia. Na rysunku 4.5 są zamieszczone przebiegi siły zderzenia dla 27 wariantów pomiarów, różniących się masą i początkową prędkością spadającego ciała oraz początkowym ciśnieniem powietrza w amortyzatorze; Doktorant zamieszcza też wstępną analizę tych wykresów. Na uwagę zasługują prezentacje pomiarów ruchu zderzających się ciał. Na rysunku 4.7 jest zamieszczonych pięć - zrobionych co 10 ms- zdjęć ilustrujących wzajemne położenia zderzających się ciał; na rysunku 4.8 znajdują się wykresy prędkości tych ciał w czasie 0,2 s, natomiast na rysunku 4.14c wykresy siły zderzenia oraz prędkości obu ciał w czasie około 0,035 s.

Przedstawione wyżej wyniki pomiarów w postaci wykresów mają ilustracyjny charakter, a forma ich prezentacji nie pozwala dociekliwemu czytelnikowi dokonać ich analizy, gdyż: wykresy na rysunku 4.5 są mało czytelne (zwłaszcza w pierwszej części); wykresów z rysunków 4.8 i 4.14c nie można porównać, gdy nie są podane wartości parametrów uderzającego ciała. Natomiast wysoko oceniam prezentacje wyników pomiarów prędkości zderzających się ciał, zamieszczona na rysunku 4.8 oraz przejrzystą korelację wyników pomiaru siły i prędkości ciał z rysunku 4.14c. Na podstawie tego rysunku można określić wartość impulsu siły, powstającego w czasie uderzenia, a także wartości współczynnika restytucji.

Oprócz opisanych wyżej badań doświadczalnych Doktorant wykonał symulację tych badań przy użyciu programu komputerowego opracowanego przez pana Cezarego Graczykowskiego. Model stanowiska laboratoryjnego został przyjęty w postaci dwóch zderzających się ciał, traktowanych jako punkty materialne, oraz amortyzatora pneumatycznego. Zasadniczym zadaniem w modelowaniu tego układu było ustalenie modelu amortyzatora pneumatycznego oraz wybór struktury reologicznej, służącej do odwzorowania lokalnej odkształcalności zderzających się ciał.

Schemat rozważanego modelu jest przedstawiony na rysunku 4.4 a jego matematyczny opis zawierają wzory (4.1) – (4.11). Zamieszczony w rozprawie matematyczny opis układu (rys. 4.4) budzi moje wątpliwości dotyczące opisu amortyzatora pneumatycznego oraz wspomnianej struktury reologicznej. Rozważany amortyzator ma postać dwu komór wypełnionych powietrzem (?); pierwsza zamknięta znajduje się po tłokiem, a druga nad

tłokiem i jest połączona poprzez dyszę z atmosferą. W dolnej komorze masa gazu jest stała, a nie - jak to sugeruje rysunek 4.4 i wzór (4.8) – zmienna. W komorze dolnej w wyniku ruchu tłoka zachodzi przemiana termodynamiczna; zwykle przyjmuje się, że jest to przemiana adiabatyczna.

Moim zdaniem w rozprawie nie jest jasno sformułowany opis przemiany w zbiorniku dolnym; ze wzoru (4.7) oraz ogólnikowych wzorów (4.9) i (4.10) trudno mi ustalić charakter tej przemiany (indeks 2 we wzorze (4.8) jest napisany niewłaściwie, gdyż wzór ten dotyczy zbiornika górnego, dla którego indeks równa się 1). W zbiorniku górnym zachodzi bardziej złożony proces termodynamiczny, w czasie którego gaz przepływa między atmosferą i zbiornikiem o zmieniającej się objętości. Nie potrafię ustalić, jak ze wzorów (4.7₁) i (4.8 z zamieszczoną powyżej korektą) oraz (4.9), (4.10), wynika opis wspomnianego wyżej procesu. Jeśli chodzi o strukturę reologiczną określającą lokalną odkształcalność zderzających się ciał, to są stosowane różne modele, z których najpopularniejszy jest sprężysty model Hertza. Doktorant zaproponował we wzorze (4.3a) strukturę Kelvina – Voigta (w pracy jest napisane Maxwella) a we wzorach (4.3b) i (4.3c) przedstawił jej nieliniowe odmiany. Moim zdaniem opis tej struktury nie jest pełny, gdyż nie uwzględnia swobodnego pełzania struktury, powstającego wtedy, gdy po zderzeniu ciała nie stykają się ze sobą. Uważam jednak, że przedstawione powyżej zastrzeżenia do opisu modelu stanowiska służącego do badania zderzenia ciał, mogą być złagodzone, gdyż przykładowe wyniki symulacji zamieszczone na rysunku 4.14a i 4.14b są według mnie wielce prawdopodobne, zwłaszcza wyniki dotyczące zderzenia sprężystego z rysunku 4.14a; poza tym wspomniane wyżej wyniki symulacji są w zadawalającym stopniu bliskie wynikom pomiarów zamieszczonych na rysunku 4.14c. Opisane powyższej spostrzeżenia świadczą, moim zdaniem, o zadawalającej identyfikacji komputerowego modelu stanowiska, określonego procedurami numerycznymi, za pomocą których były wykonywane symulacje zderzeń. Przedstawione przeze mnie zastrzeżenia do matematycznego opisu modelu stanowiska, dotyczą nieprecyzyjnego sformułowania tego opisu. Ze względu na przekonujące wyniki symulacji zderzenia mogę przypuszczać, iż w procedurach numerycznych model został doprecyzowany.

Jak wcześniej zazaczyłem celem badania zderzenia ciał było ustalenie metodyki wyznaczania prędkości i masy ciała uderzającego, na podstawie wyników pomiaru siły zderzenia.

W tym celu Doktorant określa bilans pędu i popędu obu zderzających się ciał (wzory (4.12) i (4.16), w przedziale $[t_{01}, t_{11}]$, jeśli t_{01} oraz t_{11} są chwilami, w których

prędkości zderzających się ciał są jednakowe (rys 4.14a); wielkość tego przedziału odczytana z rysunku 4.14c wynosi około 0,0175 [s].

Na podstawie tych rozważań Doktorant ustala wzory (4.17) i (4.18), które wyznaczają początkową prędkość i masę ciała uderzającego (we wzorze (4.18) przed ułamkiem powinien być znak minus), na podstawie wyników pomiarów obciążeń i ruchu uderzanego amortyzatora. Zasadniczym problemem tej metodyki pozostaje ustalenie wspomnianych wyżej chwil t_{01} i t_{11} . W dalszej części rozprawy Doktorant przedstawia wyniki identyfikacji prędkości i masy ciała uderzającego dla różnych wariantów stanu amortyzatora oraz parametrów ciała uderzającego. Wyniki zamieszczone na rysunkach 4.15 i 4.16 wskazują, że uzyskano zadawalającą zgodność rezultatów identyfikacji z wartościami rzeczywistymi. Następnie Doktorant przeprowadza bardzo obszerną analizę dokładności zaproponowanej metodyki identyfikacji prędkości i masy ciała uderzającego, opierającej się na przetwarzaniu krótkotrwałych sygnałów pomiarowych. W zakończeniu tej części rozprawy Doktorant prezentuje koncepcje modernizacji stanowiska do pomiaru zderzenia ciał oraz formułuje wnioski w zakresie identyfikacji parametrów ciała uderzającego. Ostatnia część rozprawy zawiera podsumowanie oraz zestawienie osiągniętych wyników badań.

Podsumowanie merytorycznej części opinii

Doktorant w rozprawie zajmował się trzema tematami: wyznaczaniem nacisków kół pojazdu drogowego podczas jazdy; badaniem obciążenia toru kolejowego, wywołanego przejeżdżającym pojazdem szynowym; metodyką identyfikacji parametrów ciała uderzającego w amortyzator pneumatyczny. Problematyka badawcza – tej dość szerokiej tematyki - obejmuje zagadnienia związane z identyfikacją krótkotrwałych obciążeń konstrukcji mechanicznej. W rozprawie Doktorant zajmuje się przede wszystkim zagadnieniami związanymi z opracowaniem systemu pomiarowo-rejestrującego oraz przetwarzaniem i obróbką sygnałów pomiarowych, a ponadto z modelowaniem badanej konstrukcji. Przedstawione w rozprawie metody badań zróżnicowanych obiektów technicznych, świadczą o wysokim poziomie wiedzy i umiejętności Doktoranta w zakresie organizacji i prowadzenia eksperymentów naukowo-technicznych.

Zgłosiłem jednak krytyczne lecz dyskusyjne uwagi do sposobu formułowania matematycznego opisu procesów w rozpatrywanych obiektach. Ponieważ zamieszczone w rozprawie wyniki badań symulacyjnych są wiarygodne, to sędzę, iż moje krytyczne uwagi powstały w wyniku nieprecyzyjnego zredagowania wspomnianych opisów matematycznych.

1.3. Ocena redakcyjnej strony pracy

Układ rozprawy jest właściwy, tytuły rozdziałów i podrozdziałów dają syntetyczny pogląd na zawartą w nich treść. Rozdziały kończą się podsumowaniem. Praca jest ilustrowana wieloma rysunkami, wykresami lub tabelami, które wzbogacają i urozmaicają tekst, ponadto zawiera szeroki spis literatury. Oprócz tego Doktorant część szczegółowych rozważań zamieścił w 8 załącznikach. Obok tej pozytywnej opinii o układzie rozprawy mam szereg szczegółowych uwag do tekstu rozprawy:

- część rysunków ze względu na mały format jest mało czytelna (np. rys. 4.5);
- zestawione obok siebie wykresy z wynikami pomiarów mają czasami niejednakowe podziały, co istotnie utrudnia czytelnikowi porównanie prezentowanych wielkości (np. rys. 2.11 , gdzie poza tym wykresy są niefortunnie zestawione);
- często prezentowane są wyniki pomiarów bez podania wartości parametrów charakteryzujących warunki pomiarów;
- wykresy na rysunku 3.13 nie odpowiadają opisowi rysunku;
- we wzorach (4.18), (4.22) i (4.24) zauważyłem usterki

2. Wnioski końcowe

Podsumowując szczegółową część opinii o rozprawie pana mgr inż. Krzysztofa Sekuły stwierdzam, że:

1. Zagadnienie naukowe podjęte przez Doktoranta zostało wybrane i sformułowane poprawnie.
2. Wyznaczony cel pracy został osiągnięty i stanowi oryginalne rozwiązanie przez Doktoranta postawionego problemu badawczego.
3. Do rozwiązania tego problemu Doktorant wykorzystał współczesny dorobek naukowo-techniczny zwłaszcza w zakresie prowadzenia badań doświadczalnych z użyciem złożonych systemów pomiarowych wspomaganych symulacją komputerową.
4. Wykonując zadanie naukowo-badawcze Doktorant wykazał się umiejętnością organizowania i samodzielnością prowadzenia badań oraz ogólną wiedzą z dyscypliny **Budowa i Eksploatacja Maszyn**.
5. Wyniki rozprawy wzbogacają wiedzę w zakresie metodyki badań i identyfikacji krótkotrwałych obciążeń konstrukcji mechanicznych i mogą być wykorzystywane

w praktyce w trakcie projektowania urządzeń pomiarowych a także do identyfikacji obciążenia konstrukcji.

Wobec pozytywnej opinii o rozprawie stwierdzam, że mgr inż. Krzysztof Sekuła przedstawił rozprawę, która spełnia warunki Ustawy z dnia 14 marca 2004 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Warszawa, dn. 10.05.2011 r.



Wiesław Grzesikiewicz