

**Dr hab. inż. Tomasz Szolc,**  
**profesor IPPT PAN**

Warszawa, dn. 09.09.2011

Zakład Technologii Inteligentnych  
IPPT PAN, Warszawa

Recenzja pracy doktorskiej  
**mgra inż. Piotra Krzysztofa Pawłowskiego**  
p.t.  
**„Systemy adaptacyjnej absorpcji obciążeń udarowych”**

**Wizerunek Doktoranta - Pana mgra inż. Piotra Krzysztofa Pawłowskiego**

Mgr inż. Piotr K. Pawłowski urodził się w 1977 r. Jest absolwentem Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej. Dyplom Magistra Inżyniera z wynikiem bardzo dobrym uzyskał w roku 2002. Jak wynika z przedłożonych przez Doktoranta dokumentów, po zakończeniu studiów rozpoczął działalność naukową w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki PAN, początkowo jako doktorant, a od 2007 roku jako asystent, starszy laborant i specjalista. Pracując przez kilka lat z Doktorantem w tym samym zakładzie w IPPT PAN mogę stwierdzić, iż mgr inż. Piotr K. Pawłowski jest mocno umotywowanym, ambitnym i rzetelnie pracującym młodym badaczem. Wymiernym wynikiem Jego dotychczasowej pracy w IPPT PAN jest współautorstwo w pięciu artykułach naukowych w recenzowanych czasopismach, w sześciu publikacjach konferencyjnych, w tym czterech w kraju i dwóch zagranicą, oraz współautorstwo rozdziału w trzech monografiach. Efektem finalnym działalności badawczej mgra inż. Piotra K. Pawłowskiego jest napisanie rozprawy doktorskiej pt. „*Systemy adaptacyjnej absorpcji obciążeń udarowych*” złożoną do recenzji w 2011 roku.

**Charakteryzacja rozprawy doktorskiej**

Rozprawa doktorska mgra inż. Piotra K. Pawłowskiego jest napisana na 141 stronach maszynopisu w formie 5 rozdziałów, w tym jeden zawierający wstęp, tj. rozdział 1, oraz podsumowania i wniosków ujętych w dodatkowym rozdziale. Tekst pracy zawiera dużą liczbę rysunków, wykresów, fotografii i tabel oraz spis cytowanej literatury obejmujący 84 pozycje.

Praca jest poświęcona zagadnieniu łagodzenia skutków obciążeń udarowych, jakich doznają konstrukcje budowlane i latające, pojazdy oraz wybrane układy mechaniczne. Ten problem ma istotne znaczenie przy możliwie bezawaryjnej i bezpiecznej eksploatacji wymienionych obiektów technicznych. Postawione w rozprawie zadania polegające na minimalizowaniu amplitud przeciążeń dynamicznych wywoływanych efektami udarowymi są rozwiązywane przy wykorzystaniu elementów tłumiących, nazwanych tu „absorberami”, zdolnych do pochłaniania i rozpraszania energii kinetycznej uderzenia. Praca ma charakter teoretyczno-doświadczalny.

Rozprawa doktorska mgra inż. Piotra K. Pawłowskiego jest podzielona na pięć rozdziałów. W pełniącym rolę wstępu Rozdziale 1 Autor klasyfikuje obciążenia dynamiczne, jakim poddawane są konstrukcje i układy mechaniczne, oraz dokonuje obszernego przeglądu poznanych dotychczas sposobów minimalizacji wywoływanych nimi efektów. Ponadto, w tej części podane są podstawowe informacje dotyczące wpływu obciążeń udarowych na narażane

nimi obiekty. Rozdział 2 jest poświęcony opisowi znanych technik minimalizowania przeciążeń dynamicznych oraz koncepcji sterowania związanych z tym procesów. Obydwie ww. części rozprawy mają charakter czysto opisowy ujmując istniejący do chwili obecnej stan wiedzy wykorzystywany w celu rozwiązywania rozpatrywanych w pracy problemów. W zakończeniu Rozdziału 2 Autor sformułował zakres i cel prowadzonych przez siebie badań.

Kolejne trzy rozdziały rozprawy, tj. Rozdział 3, 4 i 5, zawierają oryginalny wkład merytoryczny Autora do rozwiązania postawionych zadań badawczych. Rozdział 3 jest poświęcony adaptacyjnej absorpcji energii uderzenia w konstrukcję kratownicową w postaci masztu lub wieży. Dokonywane w tej części pracy rozważania mają charakter czysto teoretyczny, gdzie przy wykorzystaniu zbudowanego metodą elementów skończonych modelu komputerowego symulowany jest wpływ ciernego oddziaływania tzw. „bezpieczników udarowych” na przyspieszenia i dynamiczne przemieszczenia wybranych punktów kratownicowej konstrukcji masztowej poddawanej obciążeniom udarowym masą o zadanej wartości przy przyjętej prędkości zderzenia. W modelu konstrukcji kratownicowej przyjęto dwa rodzaje zainstalowania ciernych pochłaniaczy energii o odpowiednio zaprogramowanych nieliniowych charakterystykach działania celem zrealizowania założonych wstępnie kryteriów optymalnego zminimalizowania negatywnych skutków udaru. Jak wynika z zamieszczonych przebiegów odpowiedzi dynamicznej modelu konstrukcji, zaproponowana technika pozwala teoretycznie na bardzo efektywne zmniejszenie amplitud przyspieszeń i przemieszczeń wywoływanych uderzeniem.

W Rozdziale 4 Autor bada procesy rozpraszania energii wywoływanej obciążeniami udarowymi za pomocą programowo odkształcalnych plastycznie regularnych struktur cyklicznych nazwanych w rozprawie „strukturami harmonijkowymi”. Część teoretyczna tego zadania jest realizowana przy wykorzystaniu przyjętego modelu fizycznego w postaci połączonych przegubowo prętów o zdolności doznawania idealnie sztywno-plastycznych odkształceń osiowych. Owe pręty stanowią tu strukturę harmonijkową zdolną do skutecznego pochłaniania energii uderzenia. Przy wykorzystaniu odpowiednio zaprogramowanych sekwencji odkształcania się prętów struktur harmonijkowych o różnych stopniach złożoności badana jest zdolność do minimalizowania skutków uderzenia różnymi masami o zadanych prędkościach zderzenia. W tym zadaniu optymalne, względnie najbardziej efektywne, pochłanianie energii uderzenia jest realizowane za pomocą dwóch rodzajów sterowania charakterystykami plastycznymi odkształcalnych prętów struktury harmonijkowej, tj. zgodnie z zasadą pętli otwartej – przy założonym z góry scenariuszu odkształcania się absorbera oraz zgodnie z zasadą pętli zamkniętej, kiedy rozpatrywany jest układ inteligentny – samoczynnie dostosowujący swoje zdolności odkształceń plastycznych w celu uzyskania możliwie najbardziej efektywnego minimalizowania skutku udaru w zależności od chwilowej odpowiedzi dynamicznej podczas trwania procesu zderzenia. W tym rozdziale Autor przedstawia również koncepcję adaptacyjnego absorbera pneumatycznego stanowiącego połączenie działania odkształcalnej plastycznie struktury harmonijkowej ze sprężysto-tłumiącym oddziaływaniem opływającego ją gazu, którego przepływ i ciśnienie są sterowane odpowiednim układem zaworów.

W Rozdziale 5 kontynuowane są badania nad pochłanianiem energii uderzenia przy wykorzystaniu struktur harmonijkowych w ujęciu doświadczalnym, a nie tylko teoretycznym, jak to miało miejsce w poprzedniej części rozprawy. Autor szczegółowo opisuje tu budowę stanowiska laboratoryjnego w postaci rzeczywistej eksperymentalnej struktury harmonijkowej wraz z oryginalnym elektronicznym układem pomiarowo-sterującym. Za pomocą zbudowanego w tym celu obiektu doświadczalnego przeprowadzono szereg realizacji pochłaniania energii uderzenia przy różnych sekwencjach odkształcania się struktury harmonijkowej. Dodatkowo, w Rozdziale 5 badane jest w sposób doświadczalny rozpraszanie

energii obciążenia udarowego przy wykorzystaniu stosowanych w podwoziach lotniczych sterowanych amortyzatorów olejowo-pneumatycznych z cieczą magneto-reologiczną oraz aktywatorów piezoelektrycznych. Tutaj również badane są różne przypadki łagodzenia skutków uderzenia za pomocą oryginalnego stanowiska doświadczalnego, gdzie na podstawie analizy wyników pomiarów można docenić efektywność tej techniki.

Całość rozprawy doktorskiej mgr Piotra K. Pawłowskiego kończy krótkie, a nawet nieco zbyt krótkie Podsumowanie mające charakter streszczenia tej pracy. Niestety, nie zawiera ono wniosków końcowych oczekiwanych zwykle we wszelkich opracowaniach naukowych.

### **Ocena rozprawy doktorskiej**

Należy stwierdzić, że przedłożona rozprawa jest wartościowym opracowaniem naukowym zawierającym wyniki obliczeń i pomiarów doświadczalnych, które wydają się być niezwykle przydatne zarówno do potrzeb naukowo-badawczych, jak i inżyniersko-technicznych. Autor podjął się wykonania zadania trudnego, lecz ważnego z punktu widzenia rozwoju współczesnej techniki. Zrealizował je zasadniczo poprawnie, a wyniki obliczeń i pomiarów przedstawił w sposób dostatecznie przejrzysty i zrozumiały. Również sformułowanie językowe treści pracy nie budzi większych zastrzeżeń. W związku z powyższym, można stwierdzić, iż postawiony cel tej rozprawy został osiągnięty.

Mimo ogólnej poprawności przeprowadzonych w rozprawie rozważań, przedłożoną pracę charakteryzują bardziej i mniej istotne mankamenty wymagające skomentowania.

#### Ważniejsze usterki pracy:

1. W Rozdziale 3, w którym obiektem badań są kratownicowe konstrukcje masztowe, Autor przedstawia wykresy spowodowanego udarem ich ugięcia w kolejnych czterech chwilach czasu nie podając w jakich. Wprawdzie masztowa konstrukcja kratownicowa wyposażona w tarcie bezpieczeństwa minimalizujące skutki uderzeń staje się obiektem o nieliniowych własnościach mechanicznych, to w wersji wyjściowej, tzn. bez bezpieczników, przy dostatecznie małych przemieszczeniach i odkształceniach można badać jej zachowanie dynamiczne stosując kryteria drganiowe typowe dla obiektu o charakterystykach liniowych. Wówczas, ze wzbudzonymi w analogiczny sposób drganiami swobodnymi omawianej konstrukcji można byłoby porównać przedstawione w tym rozdziale pracy wyniki symulacji obiektu tłumionego w celu lepszej oceny efektu skali uderzenia i skuteczności zaproponowanej techniki minimalizacji odpowiedzi dynamicznej. W związku z tym, można zapytać, jakie wartości przyjmują wspomniane cztery chwile czasu w stosunku do okresu podstawowej, najczęściej pierwszej, postaci giętych drgań własnych konstrukcji masztowej? Ponadto, znajomość wartości pierwszych częstotliwości drgań własnych konstrukcji pozwoliłoby na ocenę jakościową uzyskanych w pracy przebiegów czasowych przyspieszeń i przemieszczeń, na przykład dokonując ich analizy widmowej (FFT). W tym rozdziale przyjęto kryteria optymalnego sterowania własnościami bezpieczników ciernych w celu zapewnienia najbardziej efektywnej minimalizacji skutków udaru. Według jakich kryteriów przyjęto w tej części pracy nieoptymalne wartości granic plastyczności tych bezpieczników?
2. W Rozdziale 4 Autor porównuje wyniki symulacji uderzenia w konstrukcję harmonijkową uzyskane przy wykorzystaniu dwóch modeli, tj. nazwanego w pracy „modelu uproszczonego” oraz modelu zbudowanego metodą elementów skończonych. Nie wyjaśnia jednak dokładnie, czym zasadniczo różnią się te modele? Czy chodzi tu jedynie o uwzględnienie odkształcalności, na przykład giętej lub osiowej, połączonych ze sobą przegubowo prętów w modelu MES? Te różnice wymagają wyjaśnienia.

3. W przypadku badania konstrukcji harmonijkowych przeprowadzono symulację teoretyczną ich działania oraz pomiary dokonane na stanowisku laboratoryjnym. W ostatnim zdaniu Podrozdziału 5.2 na str. 118 Autor stwierdza, iż (cyt.) „... rezultaty badań eksperymentalnych wykazują dobrą jakościową zgodność z przewidywaniami wynikającymi z analizy modeli numerycznych.” Jednak w Rozdziale 4, w części teoretycznej, przedstawiono wyniki przebiegów naprężeń, odkształceń plastycznych oraz wielkości kinematycznych, tj. przyśpieszeń, prędkości i przemieszczeń, a w Rozdziale 5 przy analogicznych scenariuszach sterowania odkształceniami konstrukcji podano wyniki przebiegów sił. Na jakiej więc podstawie można tu stwierdzić zgodność? Dysponując rzeczywistą laboratoryjną konstrukcją harmonijkową o strukturze identycznej do tej analizowanej teoretycznie w Rozdziale 4 można byłoby w naturalny sposób zweryfikować zaproponowaną teorię doświadczeniem lub wyjaśnić sens fizyczny wyników eksperymentu zastosowaną odpowiednio teorią. Zyskałaby na tym znacząco wartość naukowa pracy.
4. Części rozprawy poświęcone adaptacyjnemu zaworowi pneumatycznemu (Podrozdział 4.5) oraz amortyzatorom olejowo-pneumatycznym i aktywatorom piezoelektrycznym (Podrozdział 5.3) odbiegają swoim charakterem od pozostałych rozważań w pracy. Brak tu odpowiednich modeli teoretycznych, przy wykorzystaniu których można byłoby lepiej zrozumieć sens wyników eksperymentów w ujęciu naukowym. Przez to rozprawa nabiera charakteru raportu z istniejących technik minimalizacji efektów uderowych, a nie zwartej merytorycznie dysertacji naukowej, jaką powinna być praca doktorska zawierająca zazwyczaj w omawianej dziedzinie opis teoretyczny, modelowanie, eksperyment, identyfikację, analizę wyników, wnioski itd. Przez to nasuwają się wątpliwości: Jaki jest faktycznie wkład Autora w rozwój adaptacyjnego zaworu pneumatycznego, skoro jest on wynikiem współpracy polsko-japońskiej i zgłoszenia patentowego, co zaznaczono w pracy, oraz jaki jest wkład Autora w całokształt badań poświęconych amortyzatorom olejowo-pneumatycznym będących przedmiotem rozprawy doktorskiej dra inż. Grzegorza Mikułowskiego z 2008 roku?
5. W przypadku sterowania własnościami plastycznymi struktur harmonijkowych Autor używa określeń: sterowanie „semi-aktywne” i „aktywne”. Z punktu widzenia ogólnie stosowanego nazewnictwa w dziedzinie mechatroniki, ze sterowaniem aktywnym mamy do czynienia wówczas, gdy do układu przykładane są zewnętrzne siły lub momenty sterujące. Natomiast w przypadku sterowania semi-aktywnego, lub po polsku pół-aktywnego, modyfikowane są własności układu w stosunku do oddziaływań zewnętrznych. W omawianej rozprawie modyfikowane są własności plastyczne, cierne i wiskotyczne rozpatrywanych obiektów. Przez to, mamy tu do czynienia jedynie ze sterowaniem semi(pół)-aktywnym realizowanym na zasadzie pętli otwartej przy zadawanym z góry scenariuszu procesu uderzeniowego oraz na zasadzie pętli zamkniętej w przypadku samoczynnego modyfikowania się ‘on-line’ własności w funkcji odpowiedzi dynamicznej układu podczas trwania uderzenia. Ta kwestia wymaga bardziej szczegółowego skomentowania.

#### Usterki drobne:

1. W całej rozprawie Autor używa dużo skrótów. Te skróty zostały wprowadzone formalnie wyjaśnione w różnych miejscach tekstu, jednak ich liczebność i związana z tym naturalna trudność w zapamiętaniu utrudniają czytanie pracy. Na przykład, brak definicji skrótu ”MRF” na stronie 29, skrótu ”AVI” na stronie 42 itd. Dlatego, wydaje się tu niezbędnym wprowadzenie odpowiedniego skorowidza skrótów obowiązujących w całej dysertacji.

Ponadto, umieszczanie skrótów w spisie treści pracy, a więc na samym jej początku, jest wręcz niedopuszczalne.

2. Błąd we wzorze (1.8) na stronie 20: symbol „ $a$ ” powinien być zastąpiony symbolem „ $g$ ”.
3. Indeksy we wzorach (2.3) i (2.4) na stronie 33 wymagają objaśnień.
4. Jak definiowane są sztywności  $E_1$  i  $E_2$  na rysunku 4.4 na stronie 71?
5. Niezbyt jasne stylistycznie sformułowanie objaśnień do wzoru (4.7) na stronie 76.
6. Na stronie 33 wyrażenie „obszar liniowy” powinno być zastąpione określeniem „zakres liniowy”.
7. Określenie „generator gazu” na rys. 4.31 na stronie 97 wydaje się być nieadekwatne, gdyż tutaj gazu jako takiego nie wytwarzamy, tylko sterujemy jego przepływem.
8. Wykresy w pracy na pozór wyglądają czytelnie i estetycznie, lecz wiele z nich bądź wykonano niestarannie albo niedostatecznie opisano. Na przykład: krzywe na rysunku 1.9 na stronie 15 oraz wykresy na rysunku 2.3a i 2.3b na stronie 24 wymagają skomentowania. Także wszystkie wykresy na rysunku 2.6 na stronie 26 odpowiadające przypadkowi zmiany topologii z rysunku 2.5 również wymagają opisu. Jaka wielkość przedstawiono na osi odciętych na rysunku 1.13 na stronie 22? Dlaczego opisy osi wykresów na rysunkach 5.35 i 5.36 na stronie 131 oraz 5.37 i 5.38 na stronie 132 wykonano w języku angielskim, skoro cała dysertacja została napisana w języku polskim? Ponadto, w opisie tych rysunków Autor operuje żargonowymi określeniami „wysoka” i „niska” energia. Energia może być tylko duża lub mała. W taki sam sposób Autor określa również pojęcie amplitudy.
9. Przedłożona praca nie jest wolna od tzw. „literówek”. Na przykład: w trzecim wierszu od góry na stronie 14 w błędnym stylistycznie zdaniu zamiast „adaptacyjnym” powinno być „adaptacyjny”, podobnie na stronie 102 zbędna jest litera – słowo „z” w 12 wierszu od dołu.
10. W celu podkreślenia własnego oryginalnego wkładu badawczego w uprawianą dziedzinę pisanie o tym w pierwszej (np. na stronie 30, 32 i 99) lub trzeciej osobie (w końcowych częściach pracy) nie jest elegancką praktyką przy formułowaniu rozpraw naukowych. Praca doktorska to nie powieść autobiograficzna! Naśladowanie tego typu stylu przekazywania informacji czerpanego zazwyczaj z publikacji amerykańskich nie wydaje się być zasadne w naszych warunkach, gdzie te same myśli można równie precyzyjnie i skromnie zarazem wyrażać przy wykorzystaniu form bezosobowych i strony biernej.

### **Stanowisko końcowe**

Reasumując, należy stwierdzić, iż pomimo charakteryzujących pracę mankamentów merytorycznych i drobnych usterek, oczywiste walory poznawcze i aplikacyjne omawianej rozprawy, jej zakres oraz faktycznie zrealizowany cel, jak również ogólny wizerunek zawodowy Doktoranta – Pana mgr inż. Piotra K. Pawłowskiego, pozwalają na nadanie mu stopnia naukowego doktora nauk technicznych zgodnie z Ustawą z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595 ze zm. Dz. U. z 2005 r., nr 164, poz. 1365) i na dopuszczenie dysertacji do publicznej obrony. Oczekuję przy tym pisemnej odpowiedzi Autora rozprawy na postawione w niniejszej recenzji główne zarzuty i wymienione wątpliwości.