

Recenzja

rozprawy habilitacyjnej pt.
„Analiza niezawodności i optymalizacja odpornościowa
złożonych konstrukcji i procesów technologicznych”
oraz
całości kształtu dorobku naukowego, dydaktycznego i
organizacyjnego
dr inż. Rafała Stockiego

dla Rady Naukowej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN
(pismo Dyrektora prof. A. Nowickiego z dnia 01.06.2011r)

Wstęp

Dążenie do optymalnych rozwiązań jest naturalnym sposobem działalności ludzkiej a szczególnie działalności inżynierskiej. W coraz większym stopniu kształtowane są też w optymalny sposób, już w procesie projektowania, własności maszyn lub ich elementów. Umożliwiają to narzędzia komputerowe wspomagające proces projektowania. Warunkiem optymalizacji jest jednak wcześniejsze opracowanie modeli a więc określenie kryteriów, wielkości decyzyjnych i ograniczeń. W zadaniach optymalizacji w coraz większym stopniu uwzględnia się losowy charakter wielkości występujących w modelu.

Opiniowana praca habilitacyjna dotyczy optymalizacji konstrukcji przy uwzględnieniu losowych zmian wielkości występujących w modelu optymalizacyjnym. W procesie optymalizacji Autor koncentruje się dodatkowo na poszukiwaniu rozwiązania optymalnego jak najmniej wrażliwego (najbardziej „odpornego”!!!) na losowe zmiany parametrów układu, minimalizując oprócz wartości średnich także wariancję wybranych kryteriów. Autor proponuje, aby takie postępowanie nazwać „optymalizacją odpornościową” („robust optimization”). Nie jestem zwolennikiem tego określenia, funkcjonującego jednak w literaturze. W **każdym** procesie optymalizacji należy bowiem przeprowadzić analizę wrażliwości parametrów układu na wartości kryterium.

Wykonano już wiele badań dotyczących optymalizacji konstrukcji w warunkach losowych odchylenia ich parametrów oraz przykładów różnorodnego zastosowania w technice, niemniej tematyka ta jest stale rozwijana. Wynika to nie tylko ze zwiększających się

możliwości narzędzi komputerowych, ale także z rosnących wymagań stawianych w trakcie projektowania i analiz inżynierskich.

Jestem przekonany, że tematyka opiniowanej rozprawy habilitacyjnej jest aktualna, ważna ze względów praktycznych i interesująca ze względów naukowych. **Temat pracy habilitacyjnej został więc określony trafnie.**

Autor pracy - dr inż. Rafał Stocki - jest absolwentem Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej. Po ukończeniu studiów w 1995r rozpoczyna studia doktoranckie w IPPT PAN. W 1999r broni w IPPT PAN rozprawę doktorską pt.: „*Niezawodnościowa optymalizacja konstrukcji prętowych w zakresie dużych przemieszczeń – teoria i program komputerowy*”. Promotorem rozprawy jest profesor Michał Kleiber. Od 2000r jest adiunktem w Pracowni Niezawodności i Optymalizacji Zakładu Metod Komputerowych w IPPT PAN. Od 2009r jest na stanowisku asystenta w tej Pracowni.

Ocena pracy habilitacyjnej

Recenzowana praca (337 stron tekstu) została starannie wydana przez w IPPT PAN w 2010r jako 2/2010 pozycja w serii w *Prace IPPT*. Recenzję wydawniczą opracował prof. Z. Zembaty.

Składa się z 8 rozdziałów zakończonych wnioskami, 3 załącznikami, wykazem skrótów i terminów w języku angielskim i obszernym (279 pozycji) spisem literatury.

W pierwszym rozdziale Autor omawia genezę pracy i dokonuje krytycznego przeglądu prac związanych z obliczeniami optymalizacyjnymi przy uwzględnieniu losowego charakteru wybranych parametrów modelu. Wiele uwagi poświęca też trudnościom w powszechnym stosowaniu takiej „*stochastycznej optymalizacji*”.

W rozdziale tym Autor poprawnie i przekonująco formułuje także cel i zakres pracy. Celem rozprawy jest „*opracowanie sformułowań teoretycznych i algorytmów numerycznych, które umożliwiają analizę stochastyczną złożonych konstrukcji i procesów technologicznych*”. Autor poprzez „*analizę stochastyczną*” rozumie w swojej pracy:

- *wyznaczanie parametrów rozkładu prawdopodobieństwa odpowiedzi układów konstrukcyjnych,*
- *analizę niezawodności, tj. oszacowanie prawdopodobieństwa awarii konstrukcji bądź procesu technologicznego,*
- *optymalizację odpornościową, gdzie oprócz wartości średnich wybranych kryteriów minimalizuje się wariancję tych kryteriów.*

W rozdziale drugim Autor poprawnie formułuje zadanie optymalizacji. Dokonuje też porównania zadania optymalizacji „*niezawodnościowej*” (gdzie ograniczenia są ogół formułowane są za pomocą trudnych do określenia rozkładów prawdopodobieństwa) i optymalizacji „*odpornościowej*”. Zauważa, że optymalizację „*odpornościową*” można sprowadzić do zadania optymalizacji wielokryterialnej, gdzie oprócz wartości średnich wybranych kryteriów minimalizuje się wariancję tych kryteriów. Słusznie zauważa, że jest to istotna zaleta w porównaniu z optymalizacją „*niezawodnościową*”. W rozdziale tym Autor dokonuje też przeglądu podstawowych podejść do rozwiązywania zadania optymalizacji „*niezawodnościowej*” i optymalizacji „*odpornościowej*”, poprawnie analizując ich wady i zalety.

Rozdział trzeci poświęcony jest wprowadzeniu do podstawowych problemów symulacji komputerowej i innych analiz stochastycznych. W rozdziale tym Autor więcej uwagi poświęca tzw. metamodelom, które umożliwiają zastąpienie rzeczywistych, trudnych do określenia funkcji opisujących „odpowiedź” analizowanego układu poprzez tzw. *powierzchnie odpowiedzi*, utworzone poprzez odpowiednie „dostosowanie” funkcji aproksymujących do zbioru punktów uzyskanych z eksperymentu numerycznego. Analizuje podstawowe metody regresji oraz aproksymację za pomocą krigingu.

Rozdział czwarty dotyczy przeglądu metod szacowania momentów statystycznych odpowiedzi stochastycznych układów. W rozdziale tym Autor najwięcej uwagi poświęca metodom symulacyjnym, ale omawia także metody rozwinięcia w szereg Taylora, metodę redukcji wymiarów i metodę rozwinięcia funkcji losowej w chaos wielomianowy. W ramach metod symulacyjnych Autor koncentruje się na alternatywnych do „surowej” metody Monte Carlo, metodach przyspieszonego szacowania momentów statystycznych odpowiedzi układów stochastycznych (metodach *descriptive sampling*). Z tej grupy metod omawia metody wykorzystujące łacińskie hiperkostki (*latin hypercube*), a zwłaszcza optymalne łacińskie hiperkostki (*optimal latin hypercube*). Prezentuje też różne przykłady analiz symulacyjnych (kratownica Misesa, płyta wspornikowa), w których korzysta z różnych metod generowania losowych próbek w procesie symulacji. Przykłady wykazują, że użycie optymalnej łacińskiej hiperkostki pozwala na znaczące skrócenie czasu obliczeń bez utraty dokładności otrzymanych rozwiązań.

W swoich przykładach Autor korzysta z metody elementów skończonych, co powoduje często powstawanie szumu numerycznego, a w konsekwencji może utrudnić, a nawet uniemożliwić, zastosowanie proponowanych wcześniej metod symulacyjnych. Dlatego w rozdziale piątym Autor proponuje oryginalny dwuetapowy algorytm (Z3M) z użyciem optymalnej łacińskiej hiperkostki. Algorytm ten jest niewrażliwy na wpływ szumu numerycznego. W rozdziale piątym Autor proponuje też oryginalną metodę „szybkiej poprawy niezawodności”, opierającą się na symulacjach korzystających z optymalnych łacińskich hiperkostek.

W rozdziałach szóstym i siódmym Autor prezentuje przykłady techniczne zastosowania opracowanych przez siebie metod i algorytmów.

W rozdziale szóstym Autor przedstawia następujące przykłady dotyczące analizy niezawodnościowej i optymalizacji wybranych elementów konstrukcji samochodowych, poddanych próbom zderzeniowym:

- analiza niezawodnościowa zgniatanej dynamicznie trzysegmentowej belki cienkościennej z uwzględnieniem losowych wad połączeń zgrzewanych (Autor proponuje modelowanie wad połączeń zgrzewanych poprzez losowe eliminowanie w modelu MES elementów skończonych opisujących zgrzewy),
- przetestowanie metody „poprawy niezawodności” dla zgniatanej dynamicznie trzysegmentowej belki cienkościennej z uwzględnieniem losowych wad połączeń zgrzewanych,
- analiza niezawodnościowa elementu ramy samochodowej zgniatanej dynamicznie przez poruszającą się ze stałą prędkością sztywną przeszkodę (symulacja próby zderzeniowej),
- optymalizacja zgniatanej dynamicznie trzysegmentowej belki cienkościennej z uwzględnieniem losowych wad połączeń zgrzewanych przy minimalizacji

wartości średniej i wariancji absorbowanej przez belkę energii zderzenia (optymalizacja odpornościowa),

- symulacja procesu zderzenia fantomu dolnej kończyny człowieka z przednim zderzakiem samochodowym z zastosowaniem optymalizacji odpornościowej do identyfikacji parametrów modelu tak, aby wyniki symulacji były możliwie bliskie wynikom testów laboratoryjnych.

W rozdziale siódmym Autor przedstawia przykład, dotyczący analizy niezawodnościowej procesów głębokiego tłoczenia blach. Bardzo starannie i poprawnie modeluje, za pomocą metody elementów skończonych, nieliniowy proces tłoczenia uwzględniając duże odkształcenia sprężysto-plastyczne, zjawisko kontaktu, tarcia i silnie nieliniowe związki konstytutywne. Poprawnie analizuje też kryteria przyjmowane przy projektowaniu tego procesu, korzystając z wykresów odkształceń granicznych.

Ważnym osiągnięciem Autora jest też opracowanie programów komputerowych realizujących omawiane w pracy obliczenia. W rozdziale ósmym Autor prezentuje pakiet obliczeniowy STAND (Stochastic ANalysis and Design). Pakiet ten jest od wielu lat rozwijany w Pracowni Niezawodności i Optymalizacji Zakładu Metod Komputerowych w IPPT PAN pod kierownictwem Autora. Godne podkreślenia jest przyjęcie obiektowo zorientowanej architektury oprogramowania, opracowanie efektywnych metod komunikacji z modułami zewnętrznymi (głównie pakietami MES) oraz staranność w tworzeniu interfejsu użytkownika.

We wnioskach końcowych Autor podsumowuje pracę eksponując elementy oryginalne, a także stawia nowe zadania naukowe będące dalszym rozwinięciem prowadzonych badań. Zadania te mogą być tematami przyszłych prac doktorskich. Wyekspozowanie takich zadań jest szczególnie ważne przy ocenie pracy jako rozprawy habilitacyjnej.

W trzech załącznikach Autor w przystępny sposób przytacza podstawowe informacje dotyczące:

- komputerowej analizy niezawodności (dodatek A),
- algorytmów tworzenia optymalnych łacińskich hiperkostek (dodatek B),
- metod dyskretyzacji pól losowych (dodatek C).

Załączniki te mają wprawdzie charakter podręcznikowy i w monografii naukowej mógłby być pominięty, ale ich umieszczenie uważam za uzasadnione. Ułatwiają lekturę i analizę zasadniczej części monografii.

Uwagi:

1. Ważnym elementem rozprawy są przykłady techniczne, dotyczące analizy niezawodnościowej i optymalizacji wybranych elementów konstrukcji samochodowych, poddanych próbom zderzeniowym oraz analizy niezawodnościowej procesów głębokiego tłoczenia blach. Przy prezentacji tych przykładów należałoby moim zdaniem więcej uwagi poświęcić dyskusji przyjmowanych modeli. Czym kierowano się przyjmując: poszczególne zmienne losowe w modelach, ich rozkłady prawdopodobieństwa, parametry rozkładów (wartość średnia, wariancja), wielkości decyzyjne, ograniczenia, czy wreszcie kryteria? Brak takiej dyskusji może być usprawiedliwiony jedynie przy przykładach

testowych (np.: podpunkt 5.2.4 str. 158-159). Jakie inne kryteria należałoby brać pod uwagę w procesie optymalizacji rozważanego elementu ramy samochodowej?

2. Szkoda, że Autor poprawnie określając ogólne sformułowania teoretyczne i algorytmy numeryczne, uwzględnił w swoich modelach i analizach tylko zmiany parametrów opisane w postaci zmiennych losowych (nie zmieniających się w czasie). W technice przyczynami różnych katastrof i awarii są na ogół procesy losowo zmienne w czasie (krótkotrwałe np. uderzenia jak i długotrwałe np. procesy zmęczeniowe). Przeprowadzenie stosownych analiz symulacyjnych jest wtedy znacznie trudniejsze. W dodatku C poświęconym metodom dyskretyzacji pól losowych Autor zauważa tą problematykę. W rozprawie habilitacyjnej powinna być jednak dyskusja nad uwzględnieniem w modelowaniu oddziaływań w postaci pól losowych czy przynajmniej procesów stochastycznych. Jak można by takie rozszerzenie zrealizować?

Praca jest starannie zredagowana i napisana poprawnym językiem. Drobne usterki, głównie stylistyczne takie jak:

- str. 169³ – określenie „wytrzymałość zderzeniowa” jest moim zdaniem nieuzasadnionym neologizmem,
- str. 170¹² – określenie „uderzająca masa” jest w mechanice niepoprawne!!! Masa jest własnością ciała i nie uderza!!!
- str. 183¹⁰ – czy na rys. 6.13 jest „tylna rama zawieszenia pojazdu”? Na str. 202₁₁ ta sama część jest nazwana jako „tylna rama pojazdu”!!!

zaznaczyłem bezpośrednio w tekście pracy.

Moim **zdaniem poziom pracy odpowiada ustawowym wymaganiom stawianym rozprawie habilitacyjnej**, gdyż stanowi znaczny wkład Autora w rozwój dyscypliny naukowej „mechanika”. Wkład ten polega na:

- opracowaniu ogólnych sformułowań teoretycznych i algorytmów numerycznych, które umożliwiają
 - wyznaczenie parametrów rozkładu prawdopodobieństwa odpowiedzi złożonych układów konstrukcyjnych,
 - analizę niezawodności w tym oszacowanie prawdopodobieństwa awarii konstrukcji bądź procesu technologicznego,
 - optymalizację „odpornościową”, gdzie oprócz wartości średnich wybranych kryteriów minimalizuje się także wariancję tych kryteriów,
- opracowaniu programów komputerowych, realizujących omawiane w pracy algorytmy obliczeniowe w postaci pakietu STAND z obiektowo zorientowaną architekturą oprogramowania, efektywnymi metodami komunikacji z modułami zewnętrznymi (głównie pakietami MES) oraz „przyjaznym” interfejsem użytkownika,
- pozytywnym zweryfikowaniu zaproponowanych sformułowań teoretycznych, algorytmów numerycznych i oprogramowania poprzez przykłady, dotyczące analizy niezawodnościowej i optymalizacji wybranych elementów konstrukcji samochodowych, poddanych próbom zderzeniowym i analizie niezawodnościowej procesów głębokiego tłoczenia blach.

Ocena dorobku naukowego

Dorobek naukowy dr inż. Rafała Stockiego dotyczy zastosowań komputerów we wspomaganiu prac inżynierskich, w tym głównie analiz obliczeniowych i można go zakwalifikować do dyscypliny *mechanika*. Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora dorobek ten został znacznie powiększony.

Na dorobek dr inż. Rafała Stockiego składa się:

- 2 monografie (opiniowana rozprawa habilitacyjna i opublikowana w *Pracach IPPT* - rozprawa doktorska)
- 15 artykułów w czasopismach naukowych (13 po doktoracie),
- 3 rozdziały w monografiach naukowych (3 po doktoracie),
- 27 prac opublikowanych w materiałach konferencyjnych (21 po doktoracie),
- 9 niepublikowanych opracowań naukowych wykonanych na zamówienie instytucji naukowych i podmiotów gospodarczych,

Dr inż. Rafał Stocki publikuje w następujących czasopismach naukowych i naukowo-technicznych:

- *Computer & Structures (Pergamon)* – 1
- *Mechanical Systems and Signal Processing (Elsevier)* – 2
- *Nonlinear Dynamics (Springer)* – 1
- *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering (Elsevier)* – 1
- *Advances in Engineering Software (Elsevier)* – 1
- *International Journal of Crashworthiness (Springer)* – 1
- *Journal of Statistical Planning and Inference (Elsevier)* – 1
- *Engineering Transactions (IPPT PAN)* – 1
- *Computer Assisted Mechanics and Engineering Science (IPPT PAN)* – 5
- *Steel Grips* – 1

W działalności naukowo-badawczej dr inż. Rafała Stockiego wyróżnić można następujące nurty:

- *Rozwój metod optymalizacji konstrukcji*. Dr inż. Rafał Stocki koncentruje się metodach optymalizacji niezawodnościowej i odpornościowej. Efektem badań z zakresu optymalizacji niezawodnościowej, prowadzonych pod kierunkiem prof. Michała Kleibera, jest przedstawiona jako rozprawa doktorska, niezawodnościowa optymalizacja konstrukcji prętowych w zakresie dużych przemieszczeń. Rozprawa doktorska została obroniona w 1999r w IPPT PAN. Efektem badań z zakresu optymalizacji odpornościowej, prowadzonych od pobytu w firmie Mecalog (2001-2003) w ramach projektu badawczego UE FP6 - APROSYS, jest opublikowana w 2010r rozprawa habilitacyjna, w której dr inż. Rafał Stocki formułuje ogólną koncepcję optymalizacji „odpornościowej” wraz z propozycją efektywnych algorytmów i przykładami zastosowań w optymalizacji wybranych elementów konstrukcji samochodowych poddanych próbom zderzeniowym oraz optymalizacji procesów głębokiego tłoczenia blach.
- *Niezawodnościowa analiza złożonych konstrukcji i procesów technologicznych*. Efektem tych badań, prowadzonych technikami symulacji komputerowej z zastosowaniem metody Monte Carlo i metod przyspieszonego szacowania momentów statystycznych odpowiedzi układów stochastycznych a zwłaszcza metod wykorzystujących optymalne łańciskie hiperkostki, jest opracowanie

efektywnych algorytmów do wyznaczania parametrów rozkładu prawdopodobieństwa odpowiedzi złożonych układów.

- *Zastosowanie metody elementów skończonych w analizach stochastycznych i optymalizacji „odpornościowej” złożonych konstrukcji i procesów technologicznych.* Efektem tych badań jest opracowanie pod kierunkiem Autora pakietu obliczeniowego STAND (Stochastic ANalysis and Design), którego ważnym elementem jest oprogramowanie efektywnych metod komunikacji z komercyjnymi pakietami MES. Wymiernym efektem jest też udział dr inż. Rafała Stockiego (w trakcie pobytu w firmie Mecalog) w rozwoju modułu M-Xplore. Moduł ten będący częścią komercyjnego pakietu MES - RADIOSS jest przeznaczony do analiz stochastycznych w środowisku systemu RADIOSS.

Dr Rafał Stocki jest wykonawcą lub współwykonawcą wielu niepublikowanych prac naukowo-badawczych w tym projektów finansowanych w ramach 6 Programu Ramowego Unii Europejskiej. Do najciekawszych należy:

- State-of-the-Art Report on Reliability Based Optimization (projekt badawczy UE FP6 - SAFERELNET, 2005)
- Methodologies and Algorithms for Reliability Analysis (projekt badawczy UE FP6 - APROSYS, 2005)
- Stochastic Failure Fatigue Analysis (projekt badawczy UE FP6 - PROHIPP, 2005)
- Methodologies and Algorithms for Robust Optimization (projekt badawczy UE FP6 - APROSYS, 2007)
- Complete demonstrators in various numerical codes along with procedural report for virtual testing implementation in pedestrian impacts (projekt badawczy UE FP6 - APROSYS, 2007).

Dorobek naukowo-badawczy dr inż. Rafała Stockiego charakteryzuje się więc dużą aktualnością tematyki, wysokim stopniem oryginalności oraz odpowiada potrzebom gospodarki. **Ogólna ocena tego dorobku naukowo-badawczego jest pozytywna.**

Ocena dorobku dydaktycznego i organizacyjnego

Dr inż. Rafał Stocki od początku swojej pracy w Pracowni Niezawodności i Optymalizacji Zakładu Metod Komputerowych w IPPT PAN uczestniczy w pracach organizacyjnych a także w działalności dydaktycznej.

Opracowuje polską wersję programów edukacyjnych do nauki mechaniki budowli (*Ed-beams, Ed-frames*). Programy te opracowuje w trakcie pobytu w Politechnice Katalońskiej w Barcelonie w *International Center for Numerical Methods in Engineering* (1996r) a następnie prezentuje je na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej.

Jest opiekunem naukowym jednej rozprawy doktorskiej poświęconej optymalizacji odpornościowej procesów tłoczenia blach.

Bierze czynny udział w realizacji wielu projektów badawczych w tym projektów europejskich współpracując z takimi ośrodkami zagranicznymi jak:

- Politechnika w Monachium (Niemcy) i firma RCP (projekt SAFERELNET),
- Uniwersytet w Aalborg (Dania) (projekt SAFERELNET),

- Uniwersytet w Crienfield (Anglia) (projekt APROSYS),
- Politechnika w Graz (Austria) (projekt APROSYS),
- Firma Mecalog (Francja) (projekt APROSYS).

Bierze czynny udział w organizacji dwóch konferencji: *36th Solid Mechanics Conference – SolMech’2008* oraz *Computational aspects of nonlinear structural systems with large rigid body motion – NATO Advanced Research Workshop - 2000*.

Działalność dydaktyczną i organizacyjną dr inż. Rafała Stockiego należy więc ocenić pozytywnie.

Opinia końcowa

Uważam, że **rozprawa habilitacyjna dr inż. Rafała Stockiego** pt.: *„Analiza niezawodności i optymalizacja odpornościowa złożonych konstrukcji i procesów technologicznych”*, **stanowi znaczny wkład Autora w rozwój dyscypliny naukowej „mechanika”**. **Znaczny jest też dorobek naukowy, dydaktyczny i organizacyjny Autora.**

Rozprawa i dorobek w pełni odpowiadają więc wymaganiom, określonym w ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, niezbędnym do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego.

Stawiam wniosek o dopuszczenie do kolokwium habilitacyjnego.