

prof. dr hab. inż. Zbigniew Kotulski
Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN
02-106 Warszawa, ul. Pawińskiego 5B

Warszawa, 19.09.2011 r.

RECENZJA

dorobku naukowego i rozprawy habilitacyjnej
pana doktora. inżyniera Rafała Stockiego zatytułowanej
„Analiza niezawodności i optymalizacja odpornościowa złożonych konstrukcji
i procesów technologicznych”.

1. Wprowadzenie

Niniejsza recenzja została opracowana na wniosek Dyrektora Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN, informującego pismem z dnia 01.06.2011 r. o powołaniu mnie (uchwałą z dnia 21 marca 2011 r.) przez Radę Naukową IPPT PAN na recenzenta w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego, w dziedzinie nauk technicznych i dyscyplinie naukowej mechanika, dla doktora inżyniera Rafała Stockiego, asystenta w Pracowni Niezawodności i Optymalizacji Zakładu Metod Komputerowych w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki PAN.

Ocena dorobku dokonana jest na podstawie nadesłanej dokumentacji przewodu habilitacyjnego, na którą składają się: egzemplarz rozprawy habilitacyjnej pt. Analiza niezawodności i optymalizacja odpornościowa złożonych konstrukcji i procesów technologicznych, kopie najważniejszych publikacji w liczbie wybranych przez Habilitanta, w tym 6 prac wraz z oświadczeniami współautorów o ich wkładzie merytorycznym i 7 prac bez takich oświadczeń, oraz plik dokumentów niezbędnych do uzasadnienia wniosku o nadanie stopnia doktora habilitowanego. Do nadesłanych materiałów dołączone są też 3 listy rekomendacyjne uczonych zagranicznych współpracujących z doktorem Rafałem Stockim w projektach międzynarodowych.

2. Informacje o Habilitancie

Dr inż. Rafał Stocki ukończył w marcu 1995 r. studia na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej uzyskując tytuł zawodowy magistra inżyniera budownictwa (specjalizacja: Teoria Konstrukcji). Doktorat w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie

naukowej Mechanika uzyskał w 1999 r. w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki PAN na podstawie rozprawy doktorskiej zatytułowanej „Niezwadność optymalizacyjna konstrukcji prętowych w zakresie dużych przemieszczeń – teoria i program komputerowy”, której promotorem był prof. Michał Kleiber.

Jego kariera naukowa jest związana z Instytutem Podstawowych Problemów Techniki PAN, gdzie w latach 1995-1999 odbywał studia doktoranckie, a od 1998 roku jest zatrudniony w Zakładzie Metod Komputerowych na stanowiskach, kolejno, programisty (do roku 2000), adiunkta (2000-2009) i asystenta (od 2009).

3. Zestawienie publikacji Habilitanta i ich cytowania

Dorobek publikacyjny Habilitanta jest obszerny. Dr inż. Rafał Stocki jest autorem łącznie ponad 50 publikacji naukowych, w tym ponad 40 po doktoracie. Ogromna większość tych prac jest napisana w języku angielskim i opublikowana zagranicą. Na publikacje doktora Rafała Stockiego składa się:

- 2 rozprawy opublikowane w Pracach IPPT (rozprawa doktorska w 1999 roku i habilitacyjna w 2010 roku);
- 15 artykułów w recenzowanych czasopismach (2 przed doktoratem), w tym 9 w czasopismach z Listy Filadelfijskiej (w tym 1 przed doktoratem), z których 6 jest za 32 punkty, 1 za 27 pkt. oraz 2 za 20 pkt. Jedna z tych prac jest autorska (CAMES), pozostałe współautorskie (2 prace z jednym współautorem, 5 z dwoma współautorami, 6 z trzema i 1 z czterema współautorami), gdzie w 6 pracach doktor R. Stocki jest pierwszym współautorem, a w 3 kolejność autorów jest alfabetyczna;
- 3 rozdziały w monografiach w języku angielskim (w tym 1 w wyd. Taylor&Francis);
- 27 prac wydrukowanych w materiałach konferencyjnych (24 w języku angielskim, 6 przed doktoratem), z których 16 przedstawionych zostało na konferencjach zagranicznych;
- 9 raportów przygotowanych w ramach projektów badawczych.

Tematyka prac pana doktora Rafała Stockiego w czasie jego całej kariery naukowej dotyczy metod obliczeniowych mechaniki konstrukcji, a zwłaszcza metod teorii niezawadności i optymalizacji. Znaczna część tych prac jest związana z tematem rozprawy habilitacyjnej. Są też wśród jego prac artykuły poruszające zarówno tematy ogólniejsze, związane z mechaniką komputerową, jak i prace poświęcone zagadnieniom szczegółowym odległym tematycznie od zakresu rozprawy habilitacyjnej (dotyczy to np. szczególnych metod stochastycznych lub prac powstałych w ramach międzynarodowych projektów badawczych).

Warto zaznaczyć, że mimo faktu, iż rozprawa doktorska pana R. Stockiego dotyczyła również metod obliczeniowych mechaniki, to jej tematyka jest rozłączna z tematem rozprawy habilitacyjnej (obie prace są opublikowane w Pracach IPPT i są dostępne na stronie internetowej IPPT PAN).

W dokumentacji Habilitant załączył następujące materiały: 6 artykułów opublikowanych w latach 2002-2009 zawierających wyniki stanowiące treść rozprawy habilitacyjnej wraz z załączonymi oświadczeniami współautorów o ich wkładzie merytorycznym do publikacji, w tym 2 prace opublikowane w *CAMES* (6pkt.), 3 prace z wydawnictw Elsevier (*Advances in Engineering Sciences* – 27 pkt., *Journal of Statistical Planning and Inference* – 20 pkt. i *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering* – 32 pkt.) i 1 z *Taylor&Francis* (*Int. J. of Crashworthiness* – 20 pkt.), a także 7 innych publikacji z lat 1999-2010 wybranych z obszernego dorobku naukowego (6 artykułów z czasopism i 1 publikacja konferencyjna). Z oświadczeń współautorów dotyczących prac związanych bezpośrednio z habilitacją wynika, że rola pana doktora Rafała Stockiego w ich powstaniu była decydująca lub znaczna. Ocena wyników zawartych w tych pracach zostanie przedstawiona w punkcie dotyczącym oceny rozprawy habilitacyjnej, a opinia o pozostałych pracach – w punkcie oceniającym pozostały dorobek naukowy habilitanta.

W dorobku publikacyjnym dr R. Stockiego, w okresie po uzyskaniu stopnia doktora tylko jedna praca jest jego pracą autorską, pozostałe 36 artykułów w czasopismach, rozdziałów w książkach i prac konferencyjnych to prace zespołowe, co jest jednak sytuacją naturalną w przypadku dziedziny nauk obliczeniowych i technicznych, w których praca przebiega nad złożonymi problemami technologicznymi i w których powstają obszerne kody programowe. Jak wynika z kolejności autorów w publikacjach i z załączonych oświadczeń współautorów, udział pana doktora Rafała Stockiego w ich przygotowaniu był decydujący lub znaczny. Świadczy o umiejętności organizowania pracy zespołowej przez Habilitanta. W serwisie **ISI Web of Science** prace pana Rafała Stockiego cytowane są 80 razy, a h-index wynosi 5.

W bazie danych **Scopus – Elsevier** notowanych jest 14 artykułów Habilitanta, 10 prac jest cytowanych. Łączna liczba cytowań wynosi 94, a współczynnik Hirscha $h=4$. W bazie danych **Google-Scholar** jest notowanych 27, prac, a łączna liczba cytowań wynosi 134. Współczynnik Hirscha wynosi 5, g-index 11.

Najczęściej cytowane prace pana doktora Rafała Stockiego to (w nawiasie liczba cytowań):

1. M. Kleiber, J. Rojek, R. Stocki, Reliability assessment for sheet metal forming operations. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol.191, pp.4511-4532, 2002.
(27 wg ISI Web of Knowledge, 29 wg Google Scholar, 30 wg Scopus);
2. M. Liefvendahl, R. Stocki, A study on algorithms for optimization of Latin hypercubes, *Journal of Statistical Planning and Inference*, vol. 136, pp. 3231-3247, 2006.
(20 wg ISI Web of Knowledge, 41 wg Google Scholar, 29 wg Scopus);
3. R. Stocki, K. Kolanek, S. Jendo, M. Kleiber, Study on discrete optimization techniques in reliability-based optimization of truss structures, *Computers & Structures*, vol.79, pp. 2235-2247, 2001.
(17 wg ISI Web of Knowledge, 13 wg Google Scholar, 13 wg Scopus);
4. M. Kleiber, A. Siemaszko, R. Stocki, Interactive stability-oriented reliability-based design optimization, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol.168, pp. 243-253, 1999.
(14 wg ISI Web of Knowledge, 18 wg Google Scholar, 10 wg Scopus).

W bazie danych o zawartości polskich czasopism technicznych **BazTech** znajduje się 5 odwołań do artykułów Habilitanta (4 artykuły z *CAMES* i rozprawa habilitacyjna wydrukowana w *Pracach IPPT*). 9 prac jest zrecenzowanych w *Zentralblatt MATH*, 1 w *MathSciNet*. Liczba Erdosa = 6

R. Stocki coauthored with Mattias Liefvendahl MR2256226

Mattias Liefvendahl coauthored with Rickard E. Bensow MR2207366

Rickard E. Bensow coauthored with Mats G. Larson MR2149925 (2006e:65209)

Mats G. Larson coauthored with Roy D. Williams MR1692630 (2000m:65103)

Roy D. Williams coauthored with Gutti Jogesh Babu MR2526177

Gutti Jogesh Babu coauthored with Paul Erdős MR0404171 (53 #7974)

Rozprawa habilitacyjna dostępna w całości na stronie Prac IPPT w ciągu ostatniego miesiąca (11 sierpnia-15 września) była wyświetlana 900 razy i pobierana 35 razy (4 miejsce wśród wszystkich Prac IPPT dostępnych na stronie pisma).

Podsumowując, doktor Rafał Stocki w czasie 13 lat swej aktywnej działalności publikacyjnej (od 1998) napisał ponad 50 artykułów, w większości w języku angielskim i opublikowanych zagranicą, w tym 9 prac w renomowanych czasopismach z listy filadelfijskiej oraz 3 rozdziały w książkach. Jego prace są licznie cytowane w poważnych publikacjach

naukowych. Według recenzenta, jest to dorobek publikacyjny znacznie przekraczający minimum wymagane w przewodach habilitacyjnych, a jego jakość jest potwierdzona obiektywnymi współczynnikami bibliometrycznymi (punktacja czasopism wg Ministerstwa, liczba cytowań i h-indeks). Na uwagę zasługuje duża liczba publikacji po uzyskaniu stopnia doktora i systematyczność w publikowaniu potwierdzająca aktywność naukową habilitanta.

4. Opinia o dorobku naukowym

Działalność naukową Habilitanta, po uzyskaniu stopnia doktora, można sklasyfikować dwojako. Z jednej strony jest to tworzenie i analiza nowych metod stochastycznych badania konstrukcji inżynierskich, ze szczególnym uwzględnieniem aspektu obliczeniowego tych metod, z drugiej zaś rozwiązywanie konkretnych problemów w wybranych zagadnieniach technologicznych. Oczywiście te dwa aspekty badań łączą się w konkretnych publikacjach, w szczególności w samej rozprawie habilitacyjnej. W swojej ocenie dorobku doktora Rafała Stockiego przyjmę klasyfikacje zagadnień badawczych zgodną z zaproponowanymi przez Habilitanta punktami autoreferatu, odzwierciedlającymi odpowiednie aspekty prowadzonych badań.

A. Problematyka optymalizacji niezawodnościowej konstrukcji prętowych jest kontynuacją prac prowadzonych w ramach rozprawy doktorskiej. Po doktoracie powstały prace, w których poprawiona została efektywność numeryczna metod, w szczególności metod dla zagadnienia dyskretno-ciągłego, uwzględniającego, obok dyskretnych, również zmienne projektowe o wartościach z pewnego przedziału. W pracy z K. Dolińskim zaproponowano uwzględnienie w optymalizacji niezawodnościowej oprócz parametrów koncentracji (średnie, stałe) także parametrów rozproszenia charakteryzujących jakość materiału i dokładność montażu.

Do prac w tej tematyce należą dwie z najczęściej cytowanych publikacji Habilitanta (3 i 4 pozycja). Można na tej podstawie ocenić doktorat Rafała Stockiego jako wartościowy, zawierający wyniki zauważone i docenione w społeczności naukowej, a dla samego Autora będący solidną podstawą dalszej kariery naukowej.

B. Niezawodność procesów głębokiego tłoczenia blach. Tej tematyce poświęcona jest najczęściej cytowana praca Habilitanta, napisana wspólnie z profesorami Kleiberem i Rojkiem. Jego rolą było opracowanie i implementacja algorytmu analizy niezawodnościowej oraz analiza stochastyczna zagadnienia. Praca ta była pierwszą pracą poświęconą

wykorzystaniu komputerowych metod analizy niezawodności do oceny jakości tłoczenia blach.

C. Optymalizacja odpornościowa konstrukcji. Również i w zakresie tej tematyki oryginalnym dokonaniem Habilitanta jest propozycja stosowania planów eksperymentów opartych na optymalnych hiperkostkach łacińskich i technice krigingu. Ciekawą ilustracją praktyczną opracowanych metod jest rozwiązanie dużego problemu obliczeniowego (ponad 60 zmiennych losowych) odpornościowej minimalizacji amplitudy drgań wału sprężarki (praca 4 autorów, wyniki jej nie zostały włączone do rozprawy habilitacyjnej).

D. Nowoczesne metody symulacji losowych. To zagadnienie jest w zasadzie tematem wszystkich prac Habilitanta. Wśród proponowanych metod najważniejszą jest metoda polegająca na wykorzystaniu optymalnej hiperkostki łacińskiej do ustalenia punktów obliczeniowych. Tej tematyce poświęcona jest jedyna praca autorska doktora R. Stockiego, w której zaproponował wykorzystanie optymalnej hiperkostki łacińskiej do poprawy efektywności optymalizacji niezawodnościowej. Również tej tematyki dotyczy druga w kolejności z najczęściej cytowanych prac, napisana wspólnie z M. Liefvendahlem, w której autorzy zajmują się badaniem różnych metod tworzenia planów eksperymentów na podstawie optymalnych hiperkostek łacińskich, metod prowadzących do zmniejszenia liczby punktów próbnych przy zachowaniu zakładanej dokładności obliczeń.

E. Metoda powierzchni odpowiedzi w analizie niezawodności i optymalizacji. W zakresie tej problematyki Habilitant zaproponował użycie do aproksymacji funkcji awarii w adaptacyjnej metodzie *importance sampling* użycie metody ważonej regresji liniowej, co zostało przedstawione w publikacji w *Int. J. of Crashworthiness* (z listy ISI). Z kolei w publikacji przedstawionej na prestiżowej konferencji *8th IFToMM Int. Conf. on Rotordynamics* pokazał, że zmodyfikowana aproksymująca metoda *krigingu* zwiększa efektywność rozwiązania problemu optymalizacji odpornościowej.

F. Analiza stochastyczna w zagadnieniach odporności zderzeniowej pojazdów. Doktor Rafał Stocki uczestniczył w projekcie *IP 6FP APROSYS*, w którym brał udział w przygotowaniu raportów z badań (metody symulacji losowych, analiza niezawodności i optymalizacja odpornościowa elementów konstrukcji samochodów podlegających zderzeniom). Rezultatem projektu była też publikacja w *Advances in Engineering Software* (z listy ISI), w której wykorzystano algorytm klasyfikacji wyników uzyskanych z eksperymentów numerycznych generowanych z użyciem optymalnych kostek łacińskich, do celów analizy jakościowej zgniatania elementu tylnej ramy pojazdu.

G. Identyfikacja uszkodzeń wałów obrotowych urządzeń wirnikowych. Tematyka jest nowa wśród zainteresowań naukowych doktora R. Stockiego i nie jest ona przedmiotem rozprawy habilitacyjnej. Zaproponowana metoda identyfikacji uszkodzeń polegała na porównaniu obserwowanych drgań wału z wzorcami takich drgań uzyskanymi dla różnych położeń szczeliny (uszkodzenia) zapisanymi w bazie giętno-skrętno-wzdłużnych odpowiedzi drganiowych wału. Wyniki były przedmiotem dwóch prac z Listy Filadelfijskiej i prezentacji na konferencjach międzynarodowych.

H. Programowanie obiektowe. Kody komputerowe realizujące metody numeryczne opracowane przez Habilitanta są istotną częścią Jego dorobku naukowego. Doktor R. Stocki opracował wiele takich programów, zwłaszcza w czasie udziału w projektach badawczych i pobytu na stażach zagranicznych. Najważniejszym osiągnięciem jest jego praca (od 2004 roku) nad programem STAND do analizy stochastycznej konstrukcji (zwłaszcza analizy niezawodności i optymalizacji odpornościowej), zawierającego mechanizmy interaktywnego definiowania zadania i integracji z zewnętrznymi modułami obliczeniowymi.

Podsumowując tę część recenzji chciałbym stwierdzić, że dorobek naukowy Habilitanta jest wartościowy i różnorodny, zarówno pod względem tematyki (różnorodne zagadnienia obliczeniowe mechaniki z uwzględnieniem czynników losowych), jak i formy (publikacje o charakterze teoretycznym dotyczące metod obliczeniowych, publikacje dotyczące rozwiązania zagadnień o charakterze praktycznym, pakiety oprogramowania). Znaczna część tych wyników, w tym także artykułu z Listy Filadelfijskiej, nie dotyczy bezpośrednio tematyki rozprawy habilitacyjnej i świadczy o szerokich zainteresowaniach naukowych doktora Rafała Stockiego, a także gotowości podejmowania nowych badań naukowych. Uważam, że Jego dorobek naukowy spełnia formalne i zwyczajowe wymogi stawiane w przewodach habilitacyjnych, także dodatkowe wymogi przyjęte przez Radę Naukową IPPT PAN.

5. Opinia o rozprawie habilitacyjnej

Rozprawa habilitacyjna dr inż. Rafała Stockiego pt. **Analiza niezawodności i optymalizacja odpornościowa złożonych konstrukcji i procesów technologicznych** została opublikowana w serii wydawniczej *Prace IPPT – IFTR Reports* jako zeszyt **2** w roku **2010**, ISBN 978-83-89687-58-6.

Rozprawa liczy 337 stron, zawiera 8 rozdziałów, podsumowanie, trzy dodatki, zastawienie skrótów i bibliografię. Bibliografia liczy 279 pozycji, wśród których są 2 prace autorstwa (w tym doktorat) i 16 współautorstwa Habilitanta.

Rozdział 1 zawiera cel i zakres pracy oraz przegląd literatury dotyczącej ogólnych zagadnień omawianych w pracy; literaturę dotyczącą zagadnień szczegółowych omówiono w odpowiednich rozdziałach pracy.

Rozdział 2 poświęcony jest sformułowaniu zadania optymalizacji konstrukcji o parametrach losowych w sformułowaniu niezawodnościowym i odpornościowym. W obu przypadkach omówiono i przeanalizowano strategie rozwiązania zadania, uwzględniając ich efektywność obliczeniową i aspekty aplikacyjne. Za bardziej realistyczną Habilitant uznał optymalizację odpornościową, a dla niej za najodpowiedniejszą strategię nazwaną aproksymacją funkcji celu i ograniczeń odpornościowych.

W rozdziale 3 omówiono metody powierzchni odpowiedzi w zastosowaniu do komputerowego modelowania zachowania układów konstrukcyjnych. Przedstawiono metody aproksymacji, z których przez Aurora najwyżej oceniona została metoda *krigingu* i aproksymacji lokalnej, i które to metody stały się podstawą proponowanych w pracy algorytmów analizy niezawodności oraz optymalizacji odpornościowej.

Rozdział 4 z kolei poświęcono problemowi estymacji momentów statystycznych odpowiedzi konstrukcji. W tym wypadku za najbardziej uniwersalne uznano metody symulacyjne, w szczególności metodę *descriptive sampling*. Zastosowano próbki losowe punktów o rozkładzie równomiernym i niezależnie generowane oraz generowanych z wykorzystaniem hiperkostek łącińskich. Zbadano własności estymatorów wartości średniej i wariancji. Badania przeprowadzone w tym rozdziale pomogły ustalić zasadę wyboru wielkości próbki w zadaniu optymalizacji odpornościowej.

W rozdziale 5 zaproponowano dwa algorytmy symulacji losowych wykorzystujące hiperkostki łącińskie do zastosowania w problemach analizy niezawodności z zaszumioną funkcją graniczną. Pierwszy z nich służyć ma do szacowania prawdopodobieństwa awarii konstrukcji modelowanych za pomocą elementów skończonych, drugi jest przeznaczony do szacowania niezawodności konstrukcji bez użycia metod powierzchni odpowiedzi. Metody te zostały następnie wykorzystane w rozdziale 6 do analizy niezawodności i optymalizacji odpornościowej w kilku problemach związanych z wytrzymałością zderzeniową. Było to zagadnienie dynamicznie zgniatanej belki cienkościennej, w której modelu uwzględniono losowe awarie połączeń zgrzewanych, oraz problem zgniatania elementu tylnej ramy pojazdu.

W rozdziale tym opisano też zastosowanie metody optymalizacji odpornościowej do kalibracji parametrów modelu numerycznego symulacji standardowych testów zderzeniowych.

Rozdział 7 pracy poświęcony jest również praktycznym problemom technologicznym, jakim jest proces tłoczenia blach i analiza niezawodności tego procesu. Zaproponowano dla niego funkcję graniczną, która jest oparta na analizie wykresu odkształceń granicznych i jest nieróżniczkowalna. Przedstawiono przykład numeryczny symulacji tłoczenia wykonany adaptacyjną metodą *Monte Carlo* z wykorzystaniem pojęcia rozmytego prawdopodobieństwa awarii.

Ostatni w pracy rozdział 8 dotyczy aspektów obliczeniowych i implementacyjnych algorytmów analizy niezawodności oraz optymalizacji konstrukcji. Omówiono tutaj zarówno wykorzystanie autorskiego rozwiązania zawartego w programie *STAND*, jak i modułów zewnętrznych z komercyjnych pakietów metody elementów skończonych *ABAQUS* i *RADIOSS*.

W obszernych dodatkach, liczących ponad **50** stron, przedstawiono zestawienie wiadomości teoretycznych wykorzystywanych w rozprawie, a dotyczących komputerowej analizy niezawodności konstrukcji, takich jak sformułowanie zagadnienia analizy niezawodności, metody transformacji zmiennych losowych, poszukiwania punktu projektowego i symulacji losowych. Wśród metod popularnych i znanych z literatury są tam też omówione metody, w których rozwoju uczestniczył Habilitant, np. wykorzystanie optymalnej hiperkostki łącińskiej do znajdowania układu punktów w eksperymencie numerycznym lub metody dyskretyzacji pól losowych.

Za najważniejszą zaletę rozprawy habilitacyjnej uważam przeprowadzenie przez Autora, dla wielu metod i przykładów, pełnego cyklu użycia procedury numerycznej: od opracowania metody matematycznej, poprzez jej zaprogramowanie, optymalizację, włączenie do większego, profesjonalnego pakietu obliczeniowego, aż do wykonania za pomocą takiego pakietu obliczeń numerycznych dla poważnego zagadnienia technologicznego, związanego z zastosowaniem przemysłowym. Można tu powiedzieć, że użycie w tytule sformułowań o złożoności analizowanych konstrukcji i procesów technologicznych jest w pełni uzasadnione.

Spośród metod numerycznych zaproponowanych i rozwijanych przez Habilitanta za najważniejszą uważam pomysł wykorzystania optymalnych kostek łącińskich do planowania eksperymentów numerycznych. Metoda ta pozwoliła zwiększyć efektywność obliczeń dla wielu konkretnych przykładów konstrukcji i dla szeregu problemów obliczeniowych mechaniki przedstawionych w rozprawie habilitacyjnej. Należą do nich: algorytmy analizy

niezawodności konstrukcji i algorytmny optymalizacji odpornościowej konstrukcji. Zaproponowana też została przybliżona metoda optymalizacji niezawodnościowej konstrukcji wykorzystująca optymalne kostki łącińskie do przeszukania przestrzeni zmiennych projektowych.

Oprócz wyżej wymienionej metody, Habilitant zaproponował szereg innych udoskonaleń algorytmów numerycznych zwiększających ich wydajność i dokładność. Są to na przykład: użycie zmodyfikowanej wersji *krigingu* w metodzie polegającej na zastosowaniu optymalizacji odpornościowej do aproksymacji momentów statystycznych funkcji celu, użycie metody ważonej regresji liniowej do aproksymacji funkcji awarii w adaptacyjnej metodzie *importance sampling* wykorzystanej do analizy niezawodności oraz zastosowanie sformułowania optymalizacji odpornościowej w zadaniu kalibracji parametrów modelu numerycznego używanego w komputerowej symulacji standardowych testów zderzeniowych.

Wśród aspektów aplikacyjnych rozprawy, na podkreślenie zasługuje rozwiązanie szeregu poważnych zadań technologicznych, w których znaczenie ma nie tylko metoda zastosowana do rozwiązania, ale także samo rozwiązanie uzyskane za jej pomocą. Pod tym względem szczególnie należy docenić rozwiązania uzyskane dla projektowania elementów konstrukcji samochodowych pochłaniających energię, gdzie Habilitant przeprowadził analizę niezawodności oraz optymalizację odpornościową.

Równie interesujące wyniki doktor Rafał Stocki uzyskał dla procesu głębokiego tłoczenia blach. W tym wypadku sformułował on problem analizy niezawodności tego procesu i uczestniczył w procesie jego rozwiązania.

Najważniejszym osiągnięciem Habilitanta w zakresie opracowywania nowego oprogramowania jest praca nad programem *STAND*, w którym zaimplementowano wszystkie autorskie algorytmy wykorzystywane w obliczeniach przeprowadzonych dla celów przygotowania rozprawy habilitacyjnej, w tym moduły: optymalizacji odpornościowej, powierzchni odpowiedzi, zaawansowanych metod analizy niezawodności oraz symulacji losowych wykorzystujących koncepcję optymalnych hiperkostek łącińskich. W każdym z tych modułów zaproponowano szereg szczególnych rozwiązań, np. dla zadania optymalizacji odpornościowej jest to podstawowa metoda aproksymacji wspomagająca technikę *krigingu*, metoda aproksymacji statystyk dla szacowania momentów statystycznych funkcji celu oraz metoda aproksymacji funkcji celu i ograniczeń odpornościowych.

Rozprawa habilitacyjna jest bardzo starannie przygotowana i zredagowana i właściwie nie ma usterek redakcyjnych, które należałoby tu przestawić. Wyniki badań przedstawione w rozprawie zostały pośrednio zweryfikowane przez fakt ich publikacji w renomowanych

czasopismach, raportach projektów badawczych i prezentacjach na ważnych konferencjach naukowych, a także przez liczne odniesienia do nich w pracach innych autorów. Doceniając rozległość badań przedstawionych w rozprawie habilitacyjnej i ich przekrojowy charakter w zasadzie nie mam uwag krytycznych dotyczących przedstawionych wyników. Jednak jako osoba zajmująca się przez wiele lat stochastycznym podejściem do mechaniki i symulacji komputerowych chciałbym stwierdzić, że brakuje mi w rozprawie głębszego (tzn. popartego twierdzeniami matematycznymi lub formalnymi stwierdzeniami) uzasadnienia stosowania optymalnych hiperkostek łacińskich w planowaniu eksperymentów numerycznych. W tej metodzie powstają zależne zmienne losowe, a dodatkowo wymaga ona ustalenia rozmiaru próbki przed wykonaniem obliczeń, zatem metoda ta nie funkcjonuje zgodnie z duchem klasycznych metod Monte Carlo, opartych na niezależnych zmiennych losowych i twierdzeniach granicznych rachunku prawdopodobieństwa. Myślę, że systematyczne przedstawienie podstaw teoretycznych stosowania tej metody byłoby silnym impulsem do jej rozwoju i upowszechnienia.

6. Opinia o udziale Habilitanta w projektach badawczych i współpracy z przemysłem

Udział habilitanta w projektach badawczych jest imponujący. Uczestniczył on, w latach 1996-2009, jako członek zespołu, w 11 grantach *KBN/MNiSW*. Ponadto kierował dwoma projektami krótkookresowymi finansowanymi przez francuską firmę zajmującą się modelowaniem komputerowym *IMAGINE S.A.*, uczestniczył w dwóch badawczych projektach europejskich, dwóch europejskich sieciach doskonałości i jednej sieci krajowej oraz bierze udział w pracach jednego projektu *POIG*. Efektem prac w tych projektach, oprócz publikacji naukowych, było oprogramowanie autorskie lub wkład do dużych systemów modelowania numerycznego rozwijanych przez producentów zewnętrznych obejmujący analizę i symulację stochastyczną, analizę niezawodności oraz optymalizację niezawodnościową i odpornościową w różnych rodzajach konstrukcji. Prace te były prowadzone również na rzecz firm produkujących oprogramowanie, zwłaszcza podczas pobytu Habilitanta na stażach zagranicznych (*Mecalog S.A.R.L.* we Francji w latach 2001-2003, *Imagine*, *Ontonix*, *Shell International Exploration and Production B.V.* w Holandii, *ESTACO* we Włoszech).

Działalność ta pokazuje, że doktor Rafał Stocki umiejętnie łączy naukową pracę koncepcyjną i badania symulacyjne z wdrożeniami wyników do praktyki, co jest nie do przecenienia w naukach technicznych.

7. Opinia o dorobku dydaktycznym oraz działalności społecznej i organizacyjnej w środowisku naukowo-technicznym

Habilitant nie ma dużego doświadczenia w prowadzeniu zajęć dydaktycznych, co jest jednak zrozumiałe ze względu na Jego pracę w instytucie badawczym. W swojej pracy miał okazję wygłaszać referaty na prestiżowych konferencjach i seminariach, więc ma umiejętność przedstawiania wykładów. Brał także udział w organizacji konferencji naukowych. Opracował polskie wersje dwóch programów edukacyjnych do nauki mechaniki budowli w czasie pobytu na Politechnice w Barcelonie.

Pan doktor Rafał Stocki nawiązał szerokie kontakty naukowe z uczonymi zagranicznymi. Przyniosły one w rezultacie wspólne projekty badawcze, w których uczestniczyli również inni pracownicy IPPT, Habilitant był liderem zespołu. Ich wynikiem były też projekty zlecane Pracowni Niezawodności i Optymalizacji i wspólne publikacje.

Obecnie Habilitant opiekuje się jednym doktorantem pracującym naukowo w dziedzinie optymalizacji odpornościowej procesów tłoczenia blach.

8. Opinia końcowa

Bardzo pozytywnie oceniam rozprawę habilitacyjną Pana dr inż. Rafała Stockiego. Uważam, że znacznie rozszerza ona wiedzę w zakresie analizy niezawodności i optymalizacji odpornościowej konstrukcji, a zwłaszcza ich aspektów obliczeniowych. Całokształt bogatego dorobku naukowego (uznanego w międzynarodowym środowisku naukowym), dydaktycznego i organizacyjnego świadczy o dojrzałości naukowej Pana doktora inżyniera Rafała Stockiego i Jego szerokiej wiedzy. Biorąc pod uwagę powyższe oceny rozprawy habilitacyjnej i dorobku naukowego stwierdzam, że Pan dr inż. Rafał Stocki w całej rozciągłości spełnia wymagania stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie: mechanika.



.....
prof. dr hab. inż. Zbigniew Kotulski