Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku Białej
Wydział Zarządzania i Transportu
Katedra Modelowania Komputerowego

Autoreferat

Łukasz Drąg

Łukasz Drąg

Bielsko-Biała, 2017

1. Dane osobowe

1) Imię i nazwisko: **Łukasz Drąg**

2) Stopień naukowy: **doktor nauk technicznych**

3) Miejsce i adres zatrudnienia:

Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

Wydział Zarządzania i Transportu

Katedra Modelowania Komputerowego

ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała

tel. 338279221

ldrag@ath.bielsko.pl

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe - z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

2000 – inż. Inżynierii Środowiska, specjalność Monitoring i Metody Komputerowe

Politechnika Łódzka filia w Bielsku-Białej, Wydział Inżynierii Włókienniczej i Ochrony Środowiska, 14.02.2000 r.

2002 – mgr inż. Włókiennictwa, specjalność Inżynieria Środowiska w Przemyśle

Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Inżynierii Włókienniczej i Ochrony Środowiska, 01.03.2002 r.

2008 – doktor nauk technicznych w dyscyplinie Budowa i Eksploatacja Maszyn, specjalność Metody Komputerowe

Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Katedra Mechaniki i Metod Komputerowych, temat pracy: „*Wpływ modeli ruchu pojazdów na obliczeniową emisję zanieczyszczeń*", 05.12.2008 r.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

01.11.2003 – 28.02.2009	asystent na Wydziale Budowy Maszyn i Informatyki, Katedra Mechaniki i Metod Komputerowych
01.03.2009 – 30.06.2009	adiunkt na Wydziale Budowy Maszyn i Informatyki, Katedra Mechaniki i Metod Komputerowych
01.07.2009 – 30.06.2016	adiunkt na Wydziale Zarządzania i Informatyki, Katedra Transportu i Informatyki

01.07.2016 – nadal	adiunkt na Wydziale Zarządzania i Transportu, Katedra Modelowania Komputerowego
01.01.2011 – 31.12.2015	Koordynator Projektu ATH Łączy „*Droga do wspólnego celu - gospodarki opartej na wiedzy*" ds. praktycznych elementów nauczania na kierunku Transport na Wydziale Zarządzania i Transportu

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art.16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2013 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 poz. 1311)

a) tytuł osiągnięcia naukowego

Jako osiągniecie naukowe w rozumieniu Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. z późniejszymi zmianami, art. 16 pkt 2 przedstawiam monografię pt.:

Modelowanie lin, riserów i żurawi metodą sztywnych elementów skończonych

b) autor, tytuł, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy

Łukasz Drąg, „*Modelowanie lin, riserów i żurawi metodą sztywnych elementów skończonych*", 2017, Wydawnictwo Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej, s. 154

Recenzenci wydawniczy:

dr hab. inż. Andrzej Maczyński, prof. ATH
Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej
dr hab. inż. Piotr Pawełko
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

c) omówienie celu naukowego ww. pracy i osiąganych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Cel naukowy pracy

Wydobycie surowców naturalnych z dna mórz i oceanów za pomocą urządzeń montowanych na platformach i statkach znajdujących się z dala od lądu wymaga zastosowania zaawansowanych technologicznie instalacji offshorowych. Podczas ich montażu korzysta się ze specjalnie zaprojektowanych do tego celu konstrukcji, w tym żurawi pokładowych. Muszą być one przystosowane do transportowania elementów składowych instalacji z uwzględnieniem oddziaływania na nie ekstremalnych warunków zewnętrznych występujących na morzu. Uwzględnienie w trakcie projektowania urządzeń techniki morskiej niekorzystnego wpływu czynników pochodzących od falowania, wiatru i prądów morskich jest elementem kluczowym. Zapewnia bowiem prowadzenie prac na morzu z zachowaniem odpowiedniego bezpieczeństwa. Od wielu lat produkcja urządzeń i instalacji służących do transportowania surowców naturalnych z dna morza na etapie projektowania wspierana jest przez oprogramowanie komputerowe. Tworzeniem i rozwojem tego typu programów zajmują się liczne ośrodki przemysłowe i naukowe na świecie. Powstające profesjonalne pakiety mają na ogół dodatkowe moduły dedykowane obliczeniom dynamiki układów w środowisku wodnym. Duże pakiety zazwyczaj są kupowane przez większe firmy. Zastosowanie rozbudowanych środowisk symulacyjnych wymaga zespołu osób o dużej wiedzy teoretycznej z zakresu mechaniki, metod obliczeniowych i informatyki. Przygotowanie modelu w pakiecie komercyjnym oraz wykonanie obliczeń uwzględniających wiele konfiguracji urządzenia i wariantów jego obciążeń jest zadaniem czasochłonnym. W związku z tym ciągle w małych i średnich przedsiębiorstwach pojawia się zapotrzebowanie na dedykowane konkretnym potrzebom programy komputerowe, które uwzględniałyby specyficzne dla danej grupy urządzeń wymagania i cechowałby się niedużym stopniem skomplikowania. Dlatego poszukiwanie nowych, efektywnych numerycznie metod obliczeniowych umożliwiających uwzględnienie rzeczywistych warunków eksploatacji urządzeń jest zadaniem nadal aktualnym.

Celem naukowym pracy było opracowanie nowego sformułowania metody sztywnych elementów skończonych (MSES) w zastosowaniach do modelowania wiotkich układów przestrzennych, takich jak liny i raisery oraz programów komputerowych, które w oparciu o zaproponowane modele matematyczne mogą być stosowane w analizie dynamiki i sterowaniu urządzeń offshorowych.

Zaproponowana w monografii habilitacyjnej autorska modyfikacja metody sztywnych elementów skończonych (MSES_II) umożliwia eliminację ścinania i ewentualnych odkształceń wzdłużnych oraz skręcania, nie wymagając przy tym wprowadzenia znaczących zmian w algorytmie generowania równań ruchu. Takie podejście umożliwia zastosowanie większego kroku całkowania podczas modelowania ruchu badanych układów, przez co metoda może być stosowana do rozwiązywania zadań optymalizacji dynamicznej i generowania zbiorów uczących dla sztucznych sieci neuronowych.

Warto tutaj podkreślić, że sformułowana w monografii modyfikacja MSES_II jest kontynuacją prowadzonych od wielu lat w ośrodkach gdańskim przez Prof. Wittbrodta oraz bielskim przez Prof. Adamiec-Wójcik i Prof. Wojciecha prac, zmierzających do opracowania prostej w interpretacji, łatwej w implementacji komputerowej, metody umożliwiającej analizę dynamiki układów o zmiennej konfiguracji, o wiotkich członach.

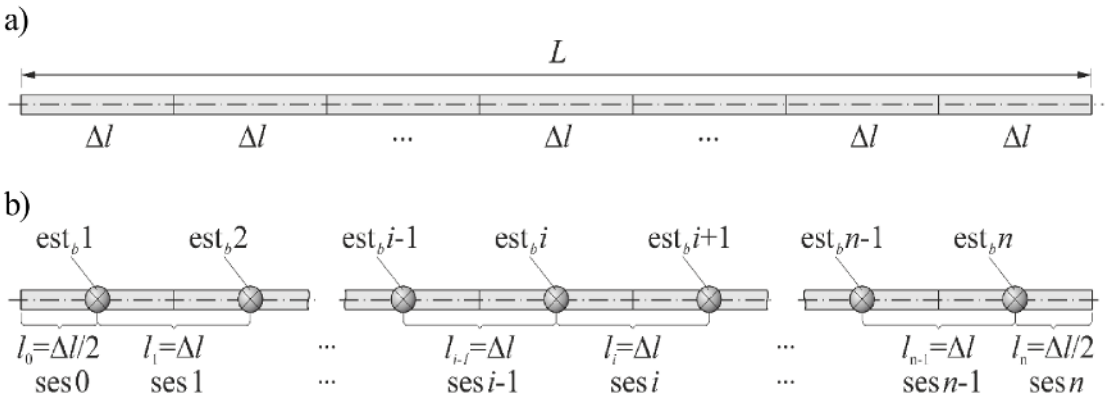
Osiągnięte wyniki

W części poświęconej opisowi autorskiej modyfikacji MSES_II scharakteryzowano dwa wcześniejsze sformułowania metody sztywnych elementów skończonych: klasyczne MSES (Prof. Kruszewski i Prof. Wittbrodt) i zaproponowana przez Prof. Wojciecha modyfikację MSES_I. W klasycznym podejściu ruch elementu sztywnego (ses) opisywany jest przez sześć stopni swobody. Przemieszczenia translacyjne odpowiadają odkształceniom wzdłużnym i ścinaniu, a rotacyjne związane są ze skręcaniem i zginaniem w dwóch kierunkach. Zaletą jest stosowanie współrzędnych absolutnych, a w efekcie diagonalna blokowa macierz mas. Wadą może być konieczność uwzględnienia względnych przemieszczeń translacyjnych i co za tym idzie, pojawienie się dużych współczynników sztywności wzdłużnej i ścinania. Przy gęstym podziale na ses, prowadzi to do pojawienia się wysokich częstości drgań własnych w analizowanych układach. Nie jest to znaczącym problemem w zadaniach statycznych i przy obliczaniu częstości drgań własnych analizowanych układów. Modyfikacja MSES_I (tożsama w sensie idei z metodą segmentów) pozwala na analizowanie ruchu członów wiotkich przy pominięciu współczynników sztywności translacyjnej, co umożliwia stosowanie znacznie większego kroku całkowania równań ruchu. Jednak wadą tej modyfikacji jest pełna macierz mas. Ponadto, nie zawsze pominiecie np. podatności wzdłużnej jest dopuszczalne z technicznego punktu widzenia.

Zaproponowana w monografii modyfikacja MSES_II umożliwia zachowanie zalet obu dotychczas używanych sformułowań MSES. Świadomie w niej zrezygnowano z uwzględnienia

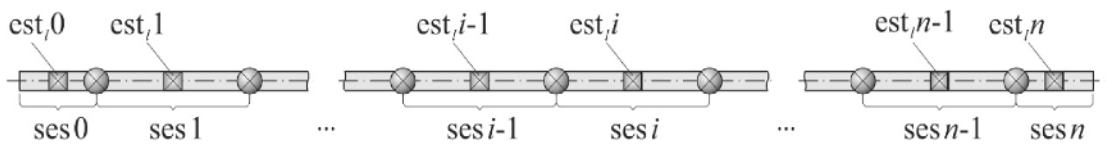
ścinania, pozostawiając jednak możliwość uwzględnienia podatności wzdłużnej członów. W zagadnieniach związanych z analizą drgań lin i riserów, a także żurawi jest to dopuszczalne. Za najważniejsze uznano uwzględnienie zginania i odkształceń wzdłużnych.

W proponowanym podejściu podział członu podatnego odbywa się w pierwszych dwóch etapach identycznie jak w klasycznej MSES, w efekcie których otrzymuje się podział członu na sztywne elementy skończone (ses) przejmujące cechy bezwładnościowe oraz elementy sprężysto tłumiące (est) odwzorowujące cechy podatnościowe i tłumiące. W etapie pierwszym (zwanym podziałem pierwotnym) jednorodny człon podatny o długości L dzieli się na n równych segmentów, a w etapie drugim (zwanym podziałem wtórnym), w środku elementów z podziału pierwotnego, umieszcza się est ⊗ odwzorowujące podatność i tłumienie segmentów pierwotnych (rys. 1).



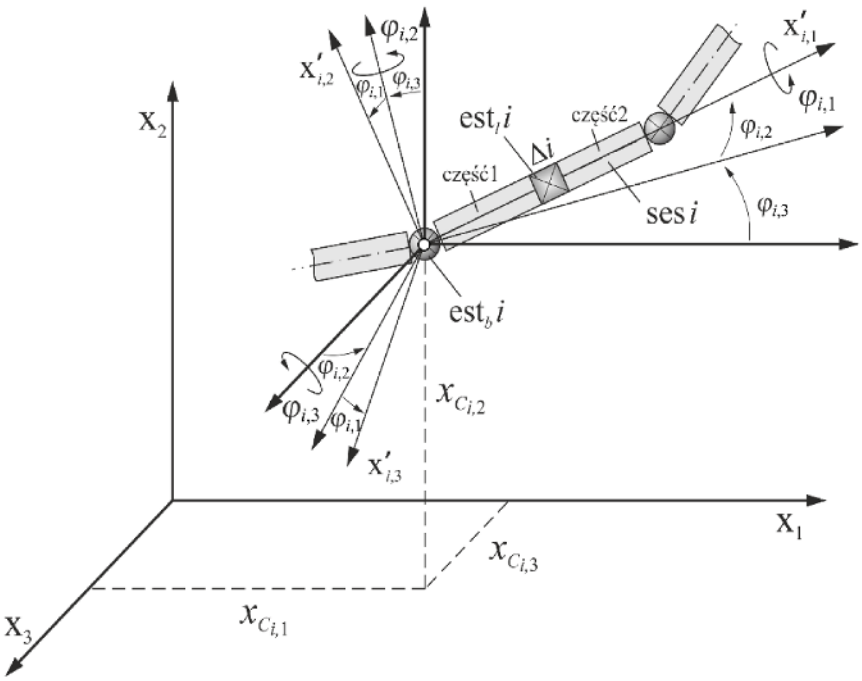
Rys. 1. Pierwsze dwa etapy podziału członu podatnego na ses i est– sformułowanie klasyczne:
a) na segmenty, $\Delta l = L/n$, gdzie: L – długość członu, n – liczba elementów
b) na ses i est ⊗

Po etapie podziału wtórnego dokonuje się uzupełnienia (etap trzeci), polegającego na umieszczeniu w środkach ses, elementów sprężysto-tłumiących (est ⊠) odwzorowujących ich podatność wzdłużną (rys. 2).



Rys. 2. Trzeci etap podziału członu podatnego na ses i est – wprowadzenie est ⊠ odwzorowujących podatność wzdłużną elementów (modyfikacja MSES_II).

Ruch elementów (w dalszych rozważaniach będą nazywane sztywnymi pomimo występowania est z podatnością wzdłużną) jest opisywany w przestrzeni za pomocą współrzędnych $(x_{i,1}, x_{i,2}, x_{i,3})$ początku elementu A_i, kątów Eulera ZYX $(\varphi_{i,3}, \varphi_{i,2}, \varphi_{i,1})$ oraz przemieszczenia Δ_i (rys. 3).



Rys. 3. Współrzędne uogólnione ses *i*

Ruch części 1 elementu określają współrzędne wektora:

$$\mathbf{q}_i^{(1)} = \left[x_{i,1}, x_{i,2}, x_{i,3}, \varphi_{i,3}, \varphi_{i,2}, \varphi_{i,1}\right]^T, \tag{1.1}$$

a części 2, współrzędne wektora:

$$\mathbf{q}_i = \mathbf{q}_i^{(2)} = \left[x_{i,1}, x_{i,2}, x_{i,3}, \varphi_{i,3}, \varphi_{i,2}, \varphi_{i,1}, \Delta_i\right]^T, \tag{1.2}$$

będącego zarazem wektorem współrzędnych uogólnionych całego elementu. Przedstawione w monografii habilitacyjnej podejście jest uogólnieniem na układy przestrzenne modelu płaskiego, którego pierwotne sformułowanie przedstawiono w pracy (Wittbrodt i inni, 2003).

Równania ruchu układu wyprowadzano z równań Lagrange'a II rodzaju, przy użyciu metody transformacji jednorodnych. Ze względu na to, że obliczanie elementów macierzy mas i wektorów otrzymywanych w wyniku wyznaczania pochodnych energii kinetycznej według tego podejścia jest bardzo czasochłonne, do obliczenia ich elementów zaproponowano wzory analityczne. Przeprowadzone eksperymenty numeryczne potwierdziły, że obliczanie elementów macierzy mas i wektora sił odśrodkowych, Coriolisa i żyroskopowych według analitycznych wzorów podanych w monografii dla $n > 10$ powoduje co najmniej stukrotne zmniejszenie czasu obliczeń, w porównaniu do obliczeń wykonywanych z użyciem śladu macierzy.

Do odwzorowania zginania i skręcania przez est $\otimes$ sformułowano nowe wzory na momenty pochodzące od zginania i skręcania w elementach sprężysto tłumiących, również przy nieliniowych związkach fizycznych opisujących właściwości materiałowe. Siły i momenty

wynikające z odkształceń obliczone w układach lokalnych zostają wprowadzone do równań ruchu poszczególnych elementów i po wykonaniu niezbędnych transformacji, jako siły uogólnione.

Zastosowanie w nowej modyfikacji MSES_II współrzędnych absolutnych do opisu dynamiki członów podatnych wymagało sformułowania równań więzów geometrycznych, bowiem do układu równań ruchu wprowadzone są reakcje więzów przemieszczeniowych. Zastosowanie postaci przyspieszeniowej równań więzów wymagało użycia odpowiednich formuł stabilizujących.

W monografii na potrzeby formułowania modeli do analizy dynamiki członów wiotkich, takich jak liny i raisery zanurzone w wodzie, do opisu oddziaływania wody na elementy zastosowano równania Morisona. Umożliwiają one uwzględnienie sił pochodzących od prądów morskich, wyporu, oporu hydrodynamicznego i inercji. Uwzględnienie środowiska wodnego w równaniach ruchu jest realizowane poprzez korektę macierzy mas o wodę stowarzyszoną (masę dodaną) oraz wprowadzenie do wektora prawych stron równań ruchu, sił odpowiedzialnych za oddziaływanie wody.

Istotną cechą proponowanej modyfikacji MSES_II opisu członu wiotkiego jest możliwość łatwej redukcji liczby współrzędnych uogólnionych opisujących ruch elementów sztywnych. Ich liczba i odpowiadające im współczynniki sztywności est, wpływają istotnie na czas obliczeń komputerowych. Dlatego sprawa redukcji zbędnych (z punktu widzenia rozpatrywanego zagadnienia) stopni swobody elementów nabiera istotnego znaczenia. W pracy podano przykłady postępowania, prowadzącego do eliminacji wybranych współrzędnych uogólnionych, oraz algorytm umożliwiający opracowanie programu komputerowego, do analizy dynamiki członów podatnych dla dowolnej ich konfiguracji.

Do ważnych osiągnięć szczegółowo omówionych w monografii należy zaliczyć przeprowadzenie kompleksowej weryfikacji i walidacji opracowanych modeli oraz programów komputerowych poprzez porównanie wyników otrzymanych proponowaną metodą z wynikami uzyskanymi przez innych autorów, innymi metodami i z wynikami badań eksperymentalnych w zakresie:

- bez uwzględnienia środowiska wodnego:
  - ugięć linii łańcuchowej (porównanie z rozwiązaniem analitycznym),
  - trajektorii końca liny przy dużych ugięciach (porównanie z wynikami otrzymanymi w komercyjnym pakiecie według metody elementów skończonych),

– drgań wymuszonych podatnego członu manipulatora (porównanie z wynikami literaturowymi),

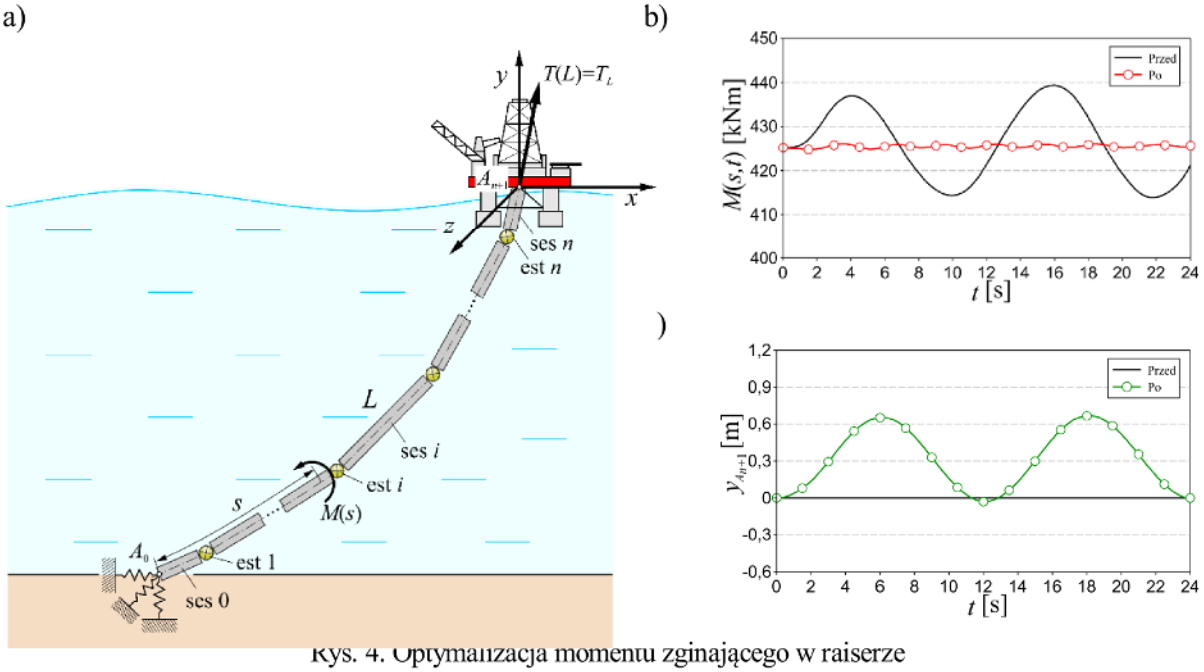
- z uwzględnieniem środowiska wodnego:
  – trajektorii i kształtu liny przy dużych ugięciach (porównanie z wynikami otrzymanymi w oprogramowaniu Abaqus, metodą elementów skończonych),
  – maksymalnych wartości momentu zginającego w riserze (porównanie z wynikami otrzymanymi przy zastosowaniu metod różnic skończonych i elementów skończonych),
  – częstości drgań własnych riserów, obciążonych siłą napinającą (porównanie z wynikami literaturowymi),
  – trajektorii końca i kształtu risera, w przypadku wymuszenia okresowego (porównanie z wynikami eksperymentu).

Uzyskane według przedstawionej w monografii modyfikacji MSES_II wyniki wskazują, że są one zbliżone do otrzymywanych w sposób analityczny, innymi metodami (metoda elementów skończonych i różnic skończonych), przy zastosowaniu pakietów komercyjnych, czy pomiarów. We wszystkich analizowanych przypadkach (linii łańcuchowej, lin, manipulatorów i riserów) badano również wpływ liczby n elementów, na które dzielony był człon podatny, na dokładność otrzymywanych wyników. Zaobserwowano zbieżność metody, oraz sformułowano wniosek, że już przy podziale członu podatnego na $n >= 20$ elementów otrzymuje się wyniki z różnicą nie przekraczając a 1 % w odniesieniu do wyników obliczeń innymi metodami lub pomiarów.

Na podstawie przeprowadzonej kompleksowej weryfikacji opracowanych modeli, algorytmów i programów komputerowych można wnioskować że proponowane w monografii metody modelowania umożliwiają poprawne odwzorowanie zachowania wiotkich struktur (lin, riserów). Ponadto, sformułowana modyfikacja MSES_II jest efektywna numerycznie i może być stosowana w zagadnieniach optymalizacji dynamicznej, której istotną cechą jest konieczność całkowania równań ruchu układu w każdym kroku optymalizacji.

W monografii podano przykłady formułowania modeli dynamiki z zastosowaniem proponowanej modyfikacji MSES_II. W pierwszym z nich (przestrzennym modelu raisera) pominięto skręcanie i odkształcenia wzdłużne. Założono, że dolny koniec risera jest unieruchomiony za pomocą trzech sprężyn o dużych wartościach współczynnika sztywności, a połączony z platformą drugi koniec może podlegać ruchom poziomym i pionowym wywołanych falowaniem. Kompensacja ruchów pionowych jest względnie łatwa, bowiem większość platform i statków jest wyposażona w układy HCS (*Heave Compensation System*).

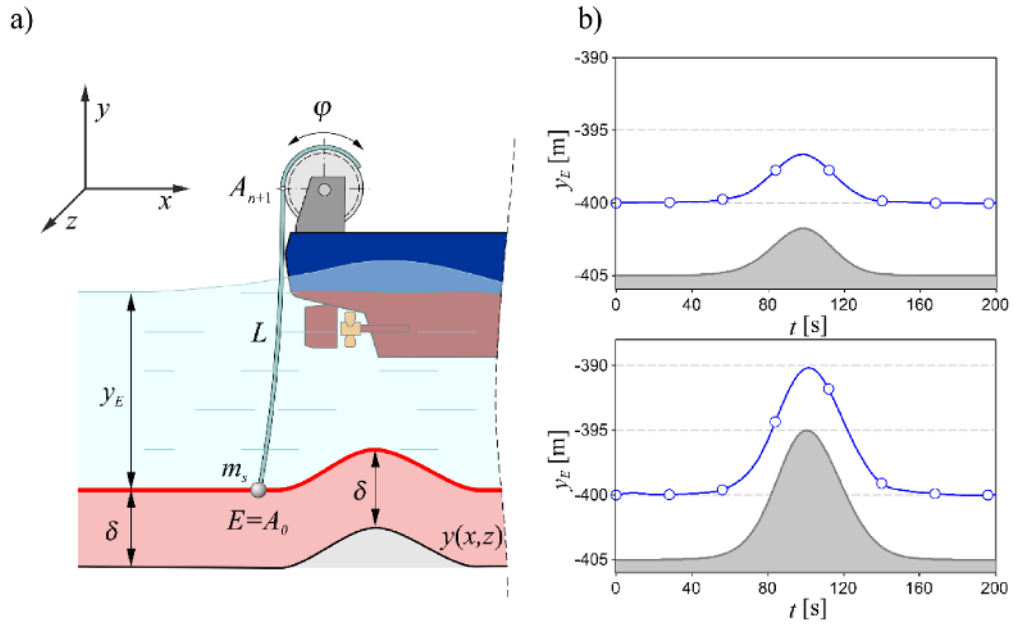
Natomiast kompensacja ruchów poziomych jest znacznie trudniejsza. W analizowanym przykładzie wykazano, że poprzez odpowiednie dobranie przebiegu pionowego przemieszczenia końca risera możliwe jest ograniczenie wpływu poziomych ruchów bazy na wartości momentu zginającego w wybranym punkcie risera (rys. 4).



Rys. 4. Optymalizacja momentu zginającego w raiserze
a) analizowany system; przebiegi: b) momentu zginającego $M(s,t)$ i c) przemieszczenia końca risera $y_{A_{n+1}}(t)$ (punku A_{n+1}) przed i po optymalizacji

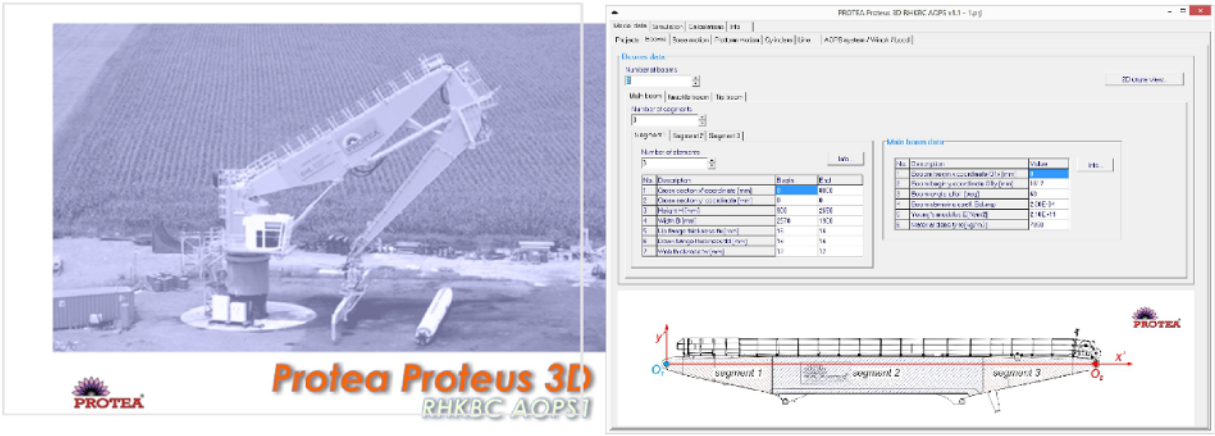
Kolejny przykład przedstawiony w pracy dotyczył modelu wiotkiej liny do końca której dołączono ładunek. Analizowano w nim stabilizację ładunku w warunkach falowania morskiego i przemieszczenia statku-bazy. Wyniki uzyskane z rozwiązania zadania optymalizacji użyto do opracowania sztucznej sieci neuronowej, która umożliwia dobór parametrów sterowania dla różnych konfiguracji urządzeń eksploatowanych w różnych warunkach na morzu. W opracowanym modelu liny przyjęto, że długość ostatniego ses jest zmienna. Przy dużych ruchach bazy, zmieniać się także może sama liczba elementów odwzorowujących kształt liny. Stabilizacja ładunku na zadanej głębokości, pomimo poziomego i pionowego ruchu statku, jest realizowana poprzez odpowiedni dobór funkcji określających obrót bębna wciągarki, powodujący wydłużenie lub skrócenie długości liny. Przy formułowaniu modelu pominięto odkształcenia wzdłużne elementów. Przemieszczenia i rotacje poszczególnych elementów opisują wektory o sześciu stopniach swobody. Jak wykazano w monografii odpowiedni dobór przebiegu kąta obrotu wciągarki zapewnia stabilizację ładunku, czyli utrzymywanie go, w zadanej odległości od dna morza. Do uogólnienia wyników optymalizacji zastosowano sieci neuronowe dwóch rodzajów:

radialne i sigmoidalne. Uzyskano dobre wyniki uczenia i uogólniania. Maksymalne odchylenie położenia ładunku od zadanej odległości od dna morza w każdym z analizowanych przypadków nie przekracza 0,15 m.



Rys. 5. Stabilizacji ładunku na zadanej głębokości a) analizowany system, b) położenie końca liny y_E (punktu $E = A_0$) po uogólnieniu wyników optymalizacji

Następny przykład, obrazujący potencjalne możliwości aplikacyjne proponowanej modyfikacji MSES_II, wiąże się ze sformułowaniem modelu i implementacją programu komputerowego do analizy dynamiki żurawia typu Knuckle Boom (KB) wyposażonego w system zabezpieczający przed przeciążeniami AOPS (*Active Overload Protection System)* - rys. 6.



Rys. 6. Program komputerowy do analizy dynamiki żurawia Knuckle Boom

W modelu żurawia przedstawionym w monografii, uwzględniono: możliwość ruchu statku-bazy, na którym montowany jest żuraw, obrót względem nieodkształcalnej kolumny, wywołany przez moment lub kinematycznie oraz podatności: giętną i skrętną obu wysięgników, wzdłużną siłowników oraz podatność układu linowego. Ładunek zaczepiony do

końca liny traktowany jest jako masa skupiona. Prowadzenie wielogodzinnych prac programistycznych nad komputerową implementacją modelu matematycznego, oraz konsultacje ze specjalistami z firmy Protea Sp. z o. o. zajmującymi się projektowaniem żurawi, zaowocowały powstaniem dedykowanego programu komputerowego. Umożliwia on obliczanie ugięć statycznych i naprężeń w wysięgnikach w dowolnej (dopuszczalnej) konfiguracji geometrycznej układu, symulacje ruchu żurawia dla zdefiniowanych funkcji napędowych, oraz ugięć i obciążeń w trakcie ruchu żurawia, w szczególności do określenia wskaźnika przeciążenia w układzie linowym. Jest on także wykorzystywany do symulacji pracy żurawia podczas wykonywania prac przeładunkowych w warunkach falowania morskiego oraz testowania systemu przeciążeniowego w sytuacji nadzwyczajnej, np. podczas zaczepienia haka o burtę statku dostawczego. Opracowany model i program sformułowano tak, aby jego szczególnym przypadkiem był żuraw jednoczłonowy (o jednym wysięgniku). Model żurawia jednoczłonowego był weryfikowany pomiarowo. Otrzymano akceptowalną zgodność wyników pomiarów i obliczeń.

Opracowane programy komputerowe bazujące na MSES_II i wykonane z ich użyciem symulacje numeryczne, umożliwiły wskazanie zalet i wad proponowanej metody. Do najważniejszych korzyści wynikających z zastosowania proponowanej modyfikacji należy zaliczyć:

- diagonalną (blokowo-diagonalna) postać macierzy mas i współczynników reakcji więzów,
- pominiecie ścinania, pozwalające na stosowanie większych kroków całkowania,
- możliwość pominięcia skręcania i odkształceń wzdłużnych, bez potrzeby istotnej modyfikacji równań ruchu układu.

Niedogodności metody wiążą się z :

- generowaniem i rozwiązywaniem większej liczby równań różniczkowych niż w klasycznym sformułowaniu MSES, spowodowane wprowadzeniem równań więzów,
- koniecznością stosowania metod stabilizacji równań więzów geometrycznych w postaci przyspieszeniowej,
- użyciem większej liczby stopni swobody do opisu położenia ses niż w sformułowaniu MSES_I.

Możliwe zastosowania

Wybrane przykłady zastosowań modyfikacji MSES_II do modelowania urządzeń offshore zamieszczono w 5 rozdziale monografii. Obejmują one sformułowanie modeli i zastosowanie opracowanych na ich podstawie programów komputerowych do: ograniczenia wpływu poziomych ruchów jednostki (platformy lub statku) na wartości momentów zginających w wybranym punkcie raisera, stabilizacji położenia ładunku na zadanej wysokości nad dnem morza i analizy dynamiki żurawi offshore eksploatowanych w ekstremalnych warunkach na morzu.

Omówione powyżej przykłady nie wyczerpują wszystkich potencjalnych możliwości aplikacyjnych zaproponowanej modyfikacji MSES_II. Rozwijana od ponad 40 lat MSES jak dotąd nie doczekała się jednak całościowego ujęcia w postaci pakietu obliczeniowego. Dlatego kolejnym, naturalnym krokiem rozwoju tej metody, przyczyniającym się do jej popularyzacji, powinno być podjęcie działań związanych z implementacją modeli matematycznych i utworzenie komputerowej biblioteki. Po uzupełnieniu o interfejs graficzny mogłaby ona zostać przekształcona w komercyjny program do modelowania dynamiki urządzeń techniki morskiej.

Szczególną nadzieję wiąże się z użyciem modyfikacji MSES_II do opracowania autorskich programów służących do modelowania dynamiki różnego typu żurawi offshorowych.

W zakończeniu, chciałbym podkreślić, że przedstawiona do oceny monografia bazuje na autorskich bądź współautorskich publikacjach [II.A2-II.A5]. Nie jest jednak tylko ich zbiorczym przedstawieniem. W monografii przedstawiono szczegółowo wyprowadzenia równań ruchu układów wiotkich, szczególnie przy uwzględnieniu oddziaływania środowiska wodnego. W artykułach, które z natury rzeczy są skrótowe, nie było miejsca na ten stopień szczegółowości. Oryginalnym, nie publikowanym wcześniej, jest również podrozdział 5.3 monografii dotyczący żurawi typu Knuckle Boom. Również weryfikacja opracowanych modeli jest pełniejsza niż w każdym ze wspomnianych wcześniej artykułów.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych

W mojej pracy naukowej można wyodrębnić trzy podstawowe okresy związane z tematyką:

- 2004 – 2012 modelowania ruchu pojazdów w sieciach komunikacyjnych oraz emisji i dyspersji zanieczyszczeń pochodzenia motoryzacyjnego,
- 2012 – 2017 modelowania dynamiki układów wiotkich (lin, riserów) z uwzględnieniem oddziaływania środowiska wodnego,
- 2014 – obecnie modelowania i wykonywania oprogramowania do symulacji statyki i dynamiki żurawi jedno i dwuwysięgnikowych dla potrzeb firmy Protea Sp. z o. o., zajmującej się projektowaniem i produkcją urządzeń offshorowych.

Swoją pracę naukową rozpocząłem pod koniec 2003 r. będąc uczestnikiem studiów doktoranckich na Wydziale Budowy Maszyn i Informatyki Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej. Na początku koncentrowała się ona wokół tematyki wykorzystania systemów informacji przestrzennej (SIP) w zadaniach modelowania i bilansowania emisji i dyspersji zanieczyszczeń z antropogennych punktowych i liniowych źródeł (II.E8 i II.E10). W rozdziale II.E10 książki *„Ochrona powietrza w teorii i praktyce”* omówione zostały wyniki prowadzonych badań z zastosowaniem dwóch koncepcji zastępczych źródeł emisji (punktowego i liniowego) w modelowaniu emisji i dyspersji zanieczyszczeń. Analizowano w nim wpływ przyjętej koncepcji źródła, w odniesieniu do emisji ze środków transportu, na uzyskiwane wyniki symulacji komputerowych (wartości stężenia zanieczyszczeń w zadanej odległości od drogi). Kolejne badania dotyczyły poszukiwania modelu ruchu pojazdu, który mógłby odzwierciedlać zachowanie pojazdów w rzeczywistych warunkach ruchu drogowego. Wyniki tych prac mają zastosowanie podczas opracowywania danych wejściowych dla modeli emisji związków szkodliwych spalin (II.L30÷II.L32).

W publikacjach II.E12 i II.L33 mojego współautorstwa przedstawiono wybrane przykłady analiz przestrzennych wykonanych z użyciem SIP, które mogą być zastosowane do oceny negatywnego wpływu transportu drogowego na środowisko. Uzyskiwane na ich podstawie mapy, obrazują obszary zabudowane, na których przekraczane są normy zanieczyszczenia powietrza. Poszczególne etapy modelowania i bilansowania emisji z silników pojazdów oraz opracowywania przestrzennych rozkładów stężenia zanieczyszczeń pochodzenia motoryzacyjnego w skali miasta według autorskiego, zintegrowanego systemu komputerowego przedstawiłem w artykule (II.E13).

W latach 2007–2008 uczestniczyłem w pracach zespołu badawczo-naukowego utworzonego w Zakładzie Modelowania i Monitoringu zajmującego się metodami oceny wyników obliczeń uzyskiwanych z wykorzystaniem modeli ruchu płynu do wyznaczania pola prędkości powietrza. Wyniki tych prac, realizowanych w ramach międzynarodowego projektu badawczego COST 732 pt. *„Quality Assurance and Improvement of Micro-Scale Meteorological Models"*, dotyczące walidacji wyników obliczeń z wykorzystaniem solvera STATCD i danych eksperymentalnych opublikowano w II.E9 i II.E14. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń wykazano, że przyjęty model mikroskalowy poprawnie odwzorowuje rzeczywisty przepływ. Obliczone wartości wskaźnika zgodności VDI, proponowanego przez Niemieckie Stowarzyszenie Inżynierów dla każdego ze zbioru danych walidacyjnych nie przekraczają wartości progowej. Referat mojego współautorstwa z tej tematyki wygłoszony na II Konferencji Naukowo-Technicznej Doktorantów i Młodych Naukowców na Politechnice Warszawskiej otrzymał nagrodę Marszałka Województwa Mazowieckiego.

Szczegółowe wyniki badań dotyczących wpływu modeli ruchu pojazdów na obliczeniową emisję zanieczyszczeń realizowanych w latach 2003-2008 zamieściłem w pracy doktorskiej (II.E1) i w monografii (II.E16). Przedstawiono w nich własny model dynamiki pojazdów jedno i wieloczłonowych uwzględniający opory ruchu i warunki zewnętrzne, w tym ukształtowanie infrastruktury drogowej. Model ten zastosowałem do określenia parametrów dynamiki pojazdów osobowych i ciężarowych. Zaproponowana metodologia identyfikacji wielkości wejściowych (przyspieszenia pojazdu) znajduje zastosowanie podczas definiowania danych wejściowych w mikroskopowych modelach ruchu pojazdów.

Po uzyskaniu w 2008 roku stopnia naukowego doktora moje prace naukowe dalej koncentrowały się wokół problematyki modelowania ruchu pojazdów samochodowych i emisji ze środków transportu drogowego w warunkach eksploatacji trakcyjnej. W wydanej przez WKŁ w 2009 r. współautorskiej monografii II.E17 zamieszczono wyniki prac zespołu naukowego, w których brałem udział, nad opracowaniem zintegrowanego modelu emisji i dyspersji zanieczyszczeń dla obszaru aglomeracji. Opracowane wówczas modele, metody i programy komputerowe mogą być z powodzeniem stosowane do symulacji rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w obszarach mezoskalowych.

Weryfikacją i walidacją mikroskopowych modeli ruchu, przydatnych w zadaniach bilansowania emisji, z uwzględnieniem zmiennych warunków dynamiki ruchu zajmowałem się w (II.E20÷II.E22 i II.E24). Dokonałem szczegółowej, ilościowej oceny wyników modelowania emisji, w kontekście uwzględnienia w symulacji ruchu pojazdu parametryzacji maksymalnego

przyspieszenia. Rozważania na temat uogólniania wyników symulacji otrzymanych z modelu dynamiki pojazdu z wykorzystaniem do tego celu sztucznych sieci neuronowych zamieściłem w artykule II.E26.

W okresie zimowym 2012 roku razem z moją dyplomantką prowadziłem szczegółowe badania eksperymentalne z użyciem przenośnej stacji monitoringu powietrza AQM 10, których celem było określenie zanieczyszczenie powietrza na wybranych otwartych i zamkniętych parkingach samochodowych zlokalizowanych w pobliżu wielkopowierzchniowych centrów handlowych (II.E25). Przeprowadzone badania i analizy stężenia zanieczyszczenia zarejestrowanych w obszarze infrastruktury parkingowej, na których dochodzi do zimnego rozruchu pojazdów, nie wykazały przekraczania dopuszczalnego poziomu zanieczyszczenia.

Od 2013 roku intensywnie współpracuję z Prof. Adamiec-Wójcik i Prof. Wojciechem, zajmującymi się od wielu lat tematyką modelowania dynamiki urządzeń offshorowych, z zastosowaniem metody sztywnych elementów skończonych. Wspólnie z nimi wykonałem szereg prac naukowych dotyczących opracowania nowych modeli i metod komputerowych, które mogą być użyte w analizie dynamiki układów o wiotkich członach (II.A2, II.A3 i II.E13).

Analizą przemieszczeń raisera połączonego ze statkiem wydobywczym poruszającym się według zadanego przebiegu prędkości zajmowałem się w pracy (II.A2). Analizowano tam za pomocą własnych modeli i programów komputerowych wpływ prędkości statku na uzyskiwane wartości przemieszczeń końca raisera. Otrzymane wyniki symulacji wskazują na duży wpływ środowiska wodnego na kształt risera i położenie jego końca. Zaproponowany model 2D risera poddano szczegółowej weryfikacji i walidacji.

Tematyka eksploatacji risera, którego jeden z końców jest unieruchomiony, a drugi, będąc połączony ze statkiem-bazą, wykonuje określone ruchu poziome, była podejmowana przeze mnie w dwóch pracach: II.A3 – model 2D i II.A6 – model 3D. Zajmowałem się w nich zastosowaniem metod optymalizacji do redukcji momentu zginającego w wybranym punkcie raisera. Obliczenia wykonano z użyciem własnych i współautorskich modeli oraz programów komputerowych. W badaniach prowadzonych w II.A3 stosowano płaski model risera o 4 stopniach swobody (z uwzględnieniem odkształcenia wzdłużnego), a w II.A6 używano przestrzennego modelu o 5 stopniach swobody. W obu wymienionych pracach przedstawiono wyniki weryfikacji zaproponowanych modeli dynamiki.

Stabilizacją położenia ładunku na zadanej wysokości nad dnem morza w warunkach falowania morskiego zajmowałem się w (II.3, II.4 Z3.9 II.12, II.18). Wyniki przedstawione w II.3 i II.4 z użyciem zaproponowanej w II.4 nowej modyfikacji MSES_II dla układów przestrzennych, doprowadziły mnie do opracowania nowych modeli dynamiki,

które w połączeniu z metodami optymalizacji dynamicznej i sztucznej inteligencji mogą być z powodzeniem stosowane w sterowaniu w czasie rzeczywistym.

Na szczególną uwagę zasługują prace (II.2, II.3 i II.4), w których do modelowania struktur wiotkich (liny, raiserów) zanurzonych w wodzie używałem nowego sformułowania MSES_II. Do opisu sił inercji, wyporu i oporu wiskotycznego na elementy znajdujące się w wodzie stosowano równania Morisona.

Ważnym osiągnieciem naukowo-badawczym realizowanym na zlecenie firmy Protea Sp. z o. o. z siedzibą w Gdańsku i oddziałem produkcyjnym w Kluczborku były prace nad opracowaniem i weryfikacją modeli oraz programów komputerowych do modelowana statyki i dynamiki żurawi offshorowych z wykorzystaniem sformułowania MSES_II. Przy współpracy z projektantami żurawi pokładowych utworzono programy do analizy dynamiki według modeli 2D i 3D, żurawi jedno i dwu członowych, wyposażonych w system przeciążeniowy AOPS. Są one używane do testowania żurawi (obliczania ugięcia wysięgnika i współczynnika przeciążenia w układzie liniowym) podczas wykonywania typowych operacji załadunkowych na morzu (podnoszenie i opuszczanie ładunku siłownikami i/lub wciągarką, obrotu kolumny) oraz sytuacji nadzwyczajnych. Po przejściu pozytywnej weryfikacji i częściowej walidacji programy te są stosowane w praktyce projektowej przez konstruktorów ww. firmy. Wyniki obliczeń wykonane tymi programami zostały zaakceptowane przez towarzystwo klasyfikacyjne DNV, dopuszczające urządzenia offshore do eksploatacji na morzu. Ponadto jestem współwykonawcą programu używanego do obliczania przyspieszeń ładunku wywołanych falowaniem morza. Program umożliwia obliczenie maksymalnego przyspieszenia w wybranych punktach żurawia w zależności od typu jednostki, na której jest montowany, rodzaju akwenu i parametrów fali.

Literatura:

Adamiec-Wójcik I., Wittbrodt E., Wojciech S.: *Rigid finite element method in modelling of bending and longitudinal vibrations of ropes*. International Journal of Applied Mechanics and Engineering, vol. 17, no. 3, s. 665-676, 2012.

6. Podsumowanie parametryczne dorobku naukowego

Szczegółowe zestawienie całego mojego dorobku naukowego, okres 2004-2017, zostało przedstawione w poniższej tabeli. Obejmuje ono wykaz prac przed i po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych z uwzględnieniem liczby punktów nadawanych publikacjom przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Kryterium	**W całej pracy naukowej pkt/szt.**	**W tym po uzyskaniu stopnia doktora pkt/szt.**
Liczba wszystkich publikacji naukowych	43	31
Punktacja MNiSW	454	425
z uwzględnieniem udziałów	315,05	294,06
Sumaryczny IF	10,804	10,804
z uwzględnieniem udziałów	8,436	8,436
Publikacje w JCR	5	5
Publikacje wg Web of Science	6	6
liczba cytowań	7/2[1]	7/2[1]
indeks Hirsha	1	1
Publikacje wg Google Scholar	20	19
liczba cytowań	55	44
indeks Hirsha	4	3
Publikacje wg SCOPUS	9	9
liczba cytowań	9/4[1]	9/4[1]
indeks Hirsha	1	1
Publikacje wg Publish of Perish	22	18
liczba cytowań	66	47
indeks Hirsha	4	3
Monografie	3	3
Rozdziały w monografii	3	1
Artykuły w języku angielskim (inne niż JCR)	2	2
Artykuły w języku polskim	14	9
Referaty na konferencjach zagranicznych	4	4
Referaty na konferencjach krajowych w języku angielskim	6	6
Referaty na konferencjach krajowych w języku polskim	17	8
Publikacje z zakresu dydaktyki – monografie	1	1

[1] - bez autocytowań

Łączna liczba wszystkich publikacji w dorobku wynosi **43**, z czego **31** prac zostało opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych. Opublikowałem **4** monografie (w tym jedna dydaktyczna) i **21** artykułów. Jestem autorem lub współautorem **27** referatów. Baza Journal Citation Reports zawiera informacje o cytowaniach **5** moich publikacji. Ich sumaryczny *impact factor* bez i z uwzględnieniem procentowego udziału wynosi odpowiednio **10,804** i **8,436**.