

Autoreferat

Przedstawiający dorobek i osiągnięcie naukowe w szczególności
określone w art. 16 ust.2 Ustawy 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.)

dr Katarzyna Majewska

Zawartość

1. Imię i Nazwisko	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.	3
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych.....	3
4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy 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.):	4
a) tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego, ...	4
b) wykaz wybranego cyklu publikacji	4
c) Omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.	5
Wstęp	5
Omówienie wyników i dyskusja	7
Podsumowanie	18
Podsumowanie własnych oryginalnych osiągnięć	18
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych (artystycznych).	19

1. Imię i Nazwisko

Katarzyna Majewska

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

2011 **stopień doktora nauk technicznych w zakresie mechaniki, specjalność: dynamika konstrukcji**

Tytuł rozprawy doktorskiej: „***Wpływ aktywacji elementów z magnetyczną pamięcią kształtu na wybrane cechy dynamiki konstrukcji***”

Instytut Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku,
Zakład Mechaniki Struktur Inteligentnych,

Promotor rozprawy: prof. dr hab. inż. Wiesław Ostachowicz

2004 **stopień magistra, kierunek: fizyka 5-letnia, specjalność: fizyka biomedyczna**

Tytuł pracy magisterskiej: „***Holografia optyczna ultradźwiękowej fali cylindrycznej***”

Uniwersytet Gdański, Wydział Matematyki, Fizyki i Informatyki,

Promotor pracy: prof. dr hab. Piotr Kwiek

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych.

Miejsce zatrudnienia:

1. Instytut Maszyn Przepływowych im. Roberta Szwalskiego Polskiej Akademii Nauk (IMP PAN),
Ośrodek Mechaniki Maszyn, Zakład Mechaniki Struktur Inteligentnych, ul. Fiszer 14, 80-231
Gdańsk

Historia zatrudnienia:

01.03.2011 – obecnie: **adiunkt**

20.02.2009 – 28.02.2011: **asystent**

01.06.2007 – 19.02.2009: **asystent** (1/2 etatu)

01.12.2005 – 31.05.2007: **asystent**

01.09.2005 – 30.11.2005: **specjalista**

Członek (Reprezentant Adiunktów i Asystentów) Rady Naukowej IMP PAN Gdańsk, 2007-2018

2. Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica (AGH), al. Mickiewicza 30,
30-059 Kraków

Historia zatrudnienia:

01.06.2007 – 19.02.2009: **samodzielny referent techniczny** (1/2 etatu)

3. Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk (IO PAN), Zakład Dynamiki Morza,
ul. Powstańców Warszawy 55, 81-712 Sopot,

Historia zatrudnienia (stażu zawodowego):

07.02.2005 – 06.08.2005: **fizyk**

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy 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.):

a) tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego,

Jako osiągnięcie naukowe uzyskane po otrzymaniu stopnia naukowego doktora, stanowiące znaczący wkład autora w rozwój określonej dyscypliny naukowej, wskazuję cykl **10** publikacji powiązanych tematycznie pod zbiorczym tytułem:

***Opracowanie metod diagnostyki elementów konstrukcji
na bazie systemów czujników światłowodowych typu FBG i technik termograficznych***

b) wykaz wybranego cyklu publikacji

Wybrany cykl publikacji powiązanych tematycznie składa się z **10** pozycji. W skład cyklu wchodzi:

- [H1] Artur Król, **Katarzyna Majewska (55%)**, Magdalena Mieloszyk, Lech Murawski, Wiesław Ostachowicz, Adam Weintrit: *Fibre Bragg Grating sensor grids for Structural Health Monitoring of the foremast of STS Dar Młodzieży*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, Vol. 227(8), pp. 1665–1680, 2012. (IF: **0,633 – 2012 r.**)
- [H2] **Katarzyna Majewska (65%)**, Magdalena Mieloszyk, Wiesław Ostachowicz, Artur Król: *Experimental method of strain/stress measurements on tall sailing ships using Fibre Bragg Grating sensors*, Applied Ocean Research, Vol. 47, pp. 270–283, 2014. (IF: **1,287 – 2014 r.**)
- [H3] **Katarzyna Majewska (50%)**, Szymon Opoka, Paweł Kudela, Wiesław Ostachowicz: *Novel FBG rosette for determining impact location in thin plate-like structure*, IOP Publishing, Journal of Physics: Conference Series 628, 012118, doi:10.1088/1742-6596/628/1/012118, 2015. (**Web of Sciences, Scopus, Google Scholar**)
- [H4] **Katarzyna Majewska (70%)**, Magdalena Mieloszyk, Wiesław Ostachowicz: *Elasto-acoustic Wave Source Localization in Composite Plate-like Structure Using Multi-rosetts Sensing*, Proc. 11th International Workshop of Structural Health Monitoring 2017, Stanford, USA, pp. 731-738, 2017. (**Scopus, Google Scholar**)
- [H5] **Katarzyna Majewska (70%)**, Magdalena Mieloszyk, Michał Jurek, Wiesław Ostachowicz: *Multi-rosettes sensing analysis for an impact assessment in composite plate-like structure*, Proc. SPIE Conf. Smart Structures and Materials + Nondestructive Evaluation and Health Monitoring, Vol. 10600, Article No. 1060002, Denver, Colorado, USA, 2018. (**Web of Science, Scopus, Google Scholar**)
- [H6] **Katarzyna Majewska (70%)**, Magdalena Mieloszyk, Wiesław Ostachowicz: *Glass fibre composite elements with embedded fibre Bragg grating sensors inspected by thermography techniques*, e-journal of NDT, ISSN 1435-4934, 2016. (**Scopus, Google Scholar**)
- [H7] **Katarzyna Majewska (70%)**, Magdalena Mieloszyk, Wiesław Ostachowicz: *Active thermography as a tool for internal composite structure observation and evaluation*, International Journal of Structural Integrity, Vol. 9, Issue 6, 779-792, 2018. (**Web of Science, Scopus, Google Scholar**)

- [H8] Rohan Soman, **Katarzyna Majewska (30%)**, Magdalena Mieloszyk, Wiesław Ostachowicz: *Damage Assessment in Composite Beam Using Infrared Thermography, Optical Sensors, and Terahertz Technique*, Journal of Nondestructive Evaluation, Diagnostics and Prognostics of Engineering Systems, 1(3), 031001 (19pp), 2018. (**Google Scholar**)
- [H9] **Katarzyna Majewska (70%)**, Magdalena Mieloszyk, Wiesław Ostachowicz: *Infrared thermography application for analyzes of internal structure damage due to moisture and temperature influence*, Proc. SPIE Conference Smart Structures and Materials + Nondestructive Evaluation and Health Monitoring, Vol. 10972 Article No. 1097210, Denver, Colorado, USA, 2019. (**Google Scholar**)
- [H10] **Katarzyna Majewska (65%)**, Michał Jurek, Magdalena Mieloszyk, Wiesław Ostachowicz: *Temperature and humidity influence on glass fibre reinforced polymer samples under NDT and SHM studies*, e-journal of NDT, ISBN: 978-3-00-060359-4, 2018.

Prowadzone przeze mnie badania mają charakter interdyscyplinarny, w związku z tym, na cykl publikacji powiązanych tematycznie składają się prace, których jestem współautorką. Ze względu na szeroki zakres prowadzonych badań i ich charakter wszystkie prace powstały w kilkusobowych zespołach badawczych. Mój udział merytoryczny w tworzeniu każdej pracy był znaczący. Zajmowałam się przeprowadzeniem badań literaturowych, sformułowaniem problemu badawczego/ naukowego, opracowaniem metodyki badań, planu badań, przygotowaniem próbek i stanowisk pomiarowych umożliwiającących przeprowadzenie badań eksperymentalnych, przeprowadzeniem badań eksperymentalnych, przygotowaniem założeń i opracowaniem algorytmów (także ich programowaniem) przetwarzania sygnałów, opracowaniem, analizą i interpretacją wyników badań, przygotowaniem tekstu, rysunków i tabel zawartych w manuskryptach. Dodatkowo w artykułach z listy JCR jestem autorką odpowiedzialną za otrzymanie zgód na zamieszczenie zdjęć wykorzystanych w artykułach oraz za udzielenie odpowiedzi na pytania recenzentów.

Oświadczenia wszystkich współautorów publikacji, potwierdzające ich indywidualny wkład w powstanie dorobku zostały zamieszczone w załączniku 5.

- c) Omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Wstęp

Dzisiejszy postęp i rozwój technologiczny konstrukcji inżynierskich prowadzi do stosowania rozwiązań z wykorzystaniem coraz to bardziej zaawansowanych materiałów. Wytworzenie materiału może zostać zrealizowane poprzez próbę zmniejszenia jego ciężaru czy obniżenie kosztów jego produkcji (skutkujące niekiedy obniżeniem jakości wykonania) co w efekcie może wpłynąć na bezpieczeństwo i niezawodność projektowanej konstrukcji. Skutkiem tego wzrosnąć może prawdopodobieństwo pojawienia się wad wewnętrznych, mogących pojawić się na skutek wielu czynników produkcyjnych (np. lokalne zanieczyszczenia, błędy operatora) czy środowiskowych (np. nagłe zmiany temperatury, wilgotność) a także od np. uderzeń. W konsekwencji takie ukryte wady materiałowe mogą prowadzić do uszkodzenia konstrukcji, awarii, wysokokosztowych napraw czy nawet ich wycofania z dalszej eksploatacji. Dlatego równocześnie z postępem i rozwojem technologicznym w tematyce materiałów następuje postęp i rozwój metod diagnostycznych

pozwalających na podwyższenie poziomu bezpieczeństwa konstrukcji i ich użytkowników a także ochronie środowiska.

Niezwykle ważnym jest, aby czas, potrzebny na wykonanie rutynowych kontroli obiektów (np. samolotów, turbin wiatrowych, mostów, statków, samochodów), skrócić do niezbędnego minimum, w przeciwnym razie obserwowany jest wzrost kosztów kontroli i niezadowolenie klienta (operatora). Obecnie w diagnostyce konstrukcji stosowanych jest kilka metod nieniszczących (z ang. *Nondestructive testing*, NDT) oraz tzw. metody monitorowania stanu technicznego konstrukcji (z ang. *Structural Health Monitoring*, SHM) polegające na różnorodnych strategiach wykrywania i monitorowania uszkodzeń. Istotą metod diagnostyki stanu technicznego konstrukcji jest ciągła lub okresowa obserwacja obiektu bądź permanentne zintegrowanie sieci czujników obiektem. Zebrane i przeanalizowane dane, otrzymane dzięki prowadzonym badaniom/ obserwacjom, pozwalają na dopuszczenie (lub nie) konstrukcji do dalszej eksploatacji.

Odpowiednio zastosowane metody NDT i SHM mają za zadanie ocenić stan techniczny konstrukcji. W zagadnieniach oceny stanu technicznego wyróżnia się następujące poziomy diagnostyczne: detekcja (wykrycie uszkodzenia), lokalizacja (określenie położenia wykrytego uszkodzenia), identyfikacja (sklasyfikowanie typu/ rodzaju/ wielkości wykrytego uszkodzenia), prognozowanie (określenie czasu dalszej bezpiecznej pracy konstrukcji z wykrytym uszkodzeniem). Tworzenie metod diagnostycznych określających stopień degradacji elementów konstrukcji, które narażone są na różne warunki eksploatacyjne (środowiskowe, obciążeniowe) jest istotne ze względu na spadek wytrzymałości mechanicznej konstrukcji związanej z pojawieniem się i rozwojem uszkodzenia. Tworzenie metod diagnostycznych pozwala na zapewnienie bezpiecznego poziomu użytkowania obiektu oraz ochrony środowiska – niewykryte na czas uszkodzenie może prowadzić do zniszczenia konstrukcji, ofiar w ludziach czy skażenia środowiska.

Podjęta przeze mnie tematyka badawcza, prowadzona po obronie doktoratu, skupia się wokół diagnostyki elementów konstrukcji w oparciu o systemy czujników światłowodowych typu FBG oraz techniki termograficzne. Przedstawione osiągnięcie naukowe dotyczy diagnostyki (monitorowania i oceny stanu technicznego) konstrukcji w oparciu o zjawiska związane z propagacją fal optycznych (z zakresu długości 1510 nm – 1590 nm) oraz fal podczerwonych (z zakresu długości 780 nm – 1 mm) oraz możliwości stworzenia, w oparciu o wymienione techniki, metod służących do oceny stopnia degradacji elementów konstrukcji wykonanych z materiałów izotropowych (stopy metali) i anizotropowych (laminaty oraz kompozyty przekładkowe (z ang. *sandwich*)). W niniejszym autoreferacie, określenie laminat dotyczy kompozytu włóknistego składającego się z dwóch głównych komponentów – wzmocnienia w postaci włókien (np. szklanych, węglowych) oraz osnowy (np. żywicy epoksydowej). Natomiast określenie kompozyt przekładkowy dotyczy materiału składającego się z dwóch okładzin (np. laminatów) i znajdującego się pomiędzy nimi rdzenia wykonanego z lekkiego materiału (np. lekkie drewno, struktura typu plaster miodu). Pojęcie 'degradacja elementów konstrukcji' dotyczy delaminacji (rozwarstwienia), uszkodzenia termicznego, zanieczyszczenia (wilgoć, zanieczyszczenia produkcyjne) wprowadzonego do materiału podczas procesu wytwarzania czy eksploatacji, a które mogą prowadzić do nieodwracalnych zmian w materiale.

Zarówno izotropowe jak i anizotropowe elementy konstrukcji, mające zastosowanie w konstrukcjach przemysłu morskiego (np. statki, turbiny wiatrowe), lotniczego (np. samoloty), transportowego (np. samochody), sportowego (np. narty, rakiety) są narażone na wpływ środowiska w jakim pracują. Środowisko o dużej wilgotności i zasoleniu (np. morskie) ma silne właściwości korozyjne, powodujące powstawanie korozji w elementach wytworzonych ze stopów metali. Również materiały kompozytowe nie są odporne na działanie wilgoci oraz zmian temperatur. Jednoczesne

działanie wilgoci i temperatury przyczynia się do tak zwanych procesów starzeniowych elementów konstrukcji.

Jak wspomniano, osiągnięcie naukowe dotyczy diagnostyki konstrukcji w oparciu o zjawiska związane z propagacją fal optycznych a także fal podczerwonych oraz możliwości opracowania metod służących do oceny stopnia degradacji elementów konstrukcji.

Pierwsza metoda – propagacja fal optycznych – dotycząca zastosowania czujników światłowodowych typu FBG bazuje na analizie i interpretacji zmian długości fali Bragga odbitych od czujników. Siatka dyfrakcyjna, umiejscowiona na strukturze rdzenia światłowodu, rejestruje zmiany współczynnika załamania światła wzdłuż rdzenia. Zmiany długości fali świetlnej są wprost proporcjonalne do zmian temperatury i odkształcenia, które można powiązać z detekcją, lokalizacją, wielkością uszkodzenia lub choćby ze zmianą poziomu odkształcenia (z poziomu bezpiecznego do niebezpiecznego). Metoda oparta o czujniki światłowodowe typu FBG jest metodą kontaktową, co wynika z faktu, że czujniki te zostają bądź naklejone na powierzchnie badanego elementu konstrukcji bądź są do niego wbudowane na etapie produkcji.

Dруга metoda – propagacja fal podczerwonych – dotycząca zastosowania kamer termowizyjnych bazuje na rejestracji fal podczerwonych, emitowanych przez ciała o temperaturze wyższej od zera bezwzględnego, i w konsekwencji zmianie tego promieniowania na obraz widzialny. Wyróżnia się termografię pasywną i aktywną. W przypadku termografii pasywnej rejestrowane i analizowane jest promieniowanie podczerwone będące konsekwencją normalnego użytkowania badanego obiektu. Zmiana rozkładu temperatur związana jest z procesami technologicznymi jakim poddany jest badany obiekt, bądź konsekwencją jego pracy. Natomiast istotą termografii aktywnej jest analiza termicznej odpowiedzi badanego obiektu na wzbudzenie termiczne zewnętrznym impulsem cieplnym, zakładając, że wystąpienie defektu/ uszkodzenia wpływa na zmianę rozkładu temperatury na powierzchni badanego obiektu. Stosowane są różnorodne źródła fali cieplnej (np. ultradźwięki, lampy błyskowe, nagrzewnice, światło laserowe), jak również sygnały wymuszenia (ciągłe, impulsowe, modulowane). Osiągnięcie naukowe, w zakresie termografii, skupia się na termografii aktywnej wykorzystującej źródło fali cieplnej w postaci ultradźwięków (metoda kontaktowa) i/ lub lamp błyskowych (metoda bezkontaktowa).

Teza

Możliwe jest opracowanie efektywnych metod diagnostyki elementów konstrukcji (wykonanych z materiałów izotropowych lub anizotropowych) bazujących na systemach czujników światłowodowych typu FBG i technikach termograficznych.

Omówienie wyników i dyskusja

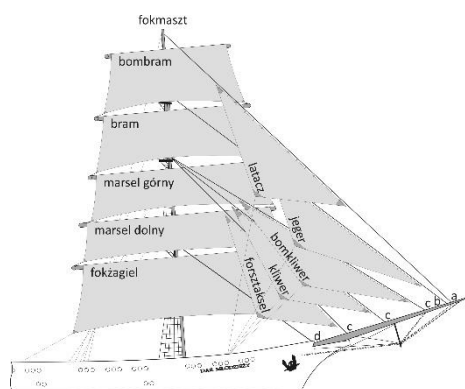
Bezpieczeństwo nawigacji, niezależnie od wielkości i typów statku, opiera się na: stanie technicznym statków, urządzeń nawigacyjnych i sygnalizacyjnych, ratownictwie i ochronie przeciwpożarowej, a także odpowiednio i dobrze wyszkolonej załodze. Chociaż statki są wyposażone w zaawansowane urządzenia, takie jak automatyczne urządzenie nawigacyjne i bezzałogowa maszynownia, nadal zdarzają się różnego rodzaju wypadki. Bezpieczeństwo stanowi kluczową kwestię ograniczającą rozwój statków. Główne przyczyny (za Międzynarodową Organizacją Morską (IMO)), wypadków są następujące: awaria statku, środowisko zewnętrzne oraz czynnik ludzki. W przypadku monitorowania stanu technicznego żaglowców należy również wziąć pod uwagę takielunek (maszty, reje, żagle, olinowanie). Seria niefortunnych wypadków jakie miały miejsce na żaglowych statkach szkolnych (z ang. *Sail Training Ship*, STS): barkentyna STS Pogoria, bryg STS Fryderyk Chopin, bark STS Kruzensztern) w latach 2009 – 2010 spowodowała zainteresowanie podniesieniem bezpieczeństwa na innym szkolnym statku żaglowym STS Dar Młodzieży. W ramach

prac w projekcie MONIT *Monitorowanie stanu technicznego konstrukcji i ocena jej żywotności*, projekt kluczowy POIG.01.01.02-00-013/08 oraz we współpracy z Akademią Morską w Gdyni, podjęto się zadania polegającego na określeniu wpływu liczby i konfiguracji żagli na odkształcenie fokmasztu (pierwszy maszt od strony dziubu) podczas normalnej eksploatacji statku [H1, H2].



Rys. 1. STS Dar Młodzieży z zaznaczonym miejscem montażu i układem czujników światłowodowych typu FBG powyżej platformy saling, [H2].

Analizując opisane wcześniej wypadki statków żaglowych oraz w oparciu o wiedzę i doświadczenie kapitana (kpt. ż.w. Artur Król) wskazane zostało miejsce montażu czujników światłowodowych typu FBG (Rys. 1). Przed wypłynięciem w rejs przeprowadziłam proces montażu czujników światłowodowych typu FBG. Zaproponowano czujniki światłowodowe typu FBG ze względu na ich niewątpliwe zalety, takie jak lekkość, możliwość multipleksowania (wiele czujników na jednym włóknie optycznym), brak potrzeby kalibracji, odporność na korozyjne środowisko oraz niską tłumienność przesyłanego sygnału optycznego (duże odległości pomiędzy układem pomiarowym, a układem akwizycji danych). Proces klejenia czujników FBG przeprowadziłam nad salingiem (platforma w miejscu połączenia kolumny masztu ze stengą – około 26 m nad poziomem pokładu głównego) w miejscu mocowania trzech stalowych sztagów, na których rozpina się żagle (bomkliwer, kliwer i forsztaksel – Rys. 2) – szczegóły znajdują się na Rys. 6 w pracy [H1].



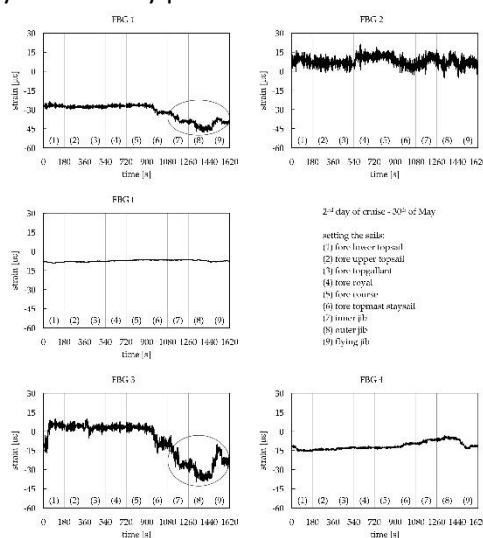
Nazwa żagla	
w jęz. polskim	w jęz. angielskim
bombram	royal
bram	topgallant
marsel górny	upper topsail
marsel dolny	lower topsail
fokżagiel	course
latacz	royal jib
jeger	flying jib
bomkliwer	outer jib
kliwer	inner jib
forsztaksel	fore topmast staysail

Rys. 2. Fokmaszt z żaglami rejowymi i kliwrami, a-d – sztagi (stalowe liny, na których rozpina się żagle), [H2].

Czujniki przyklejono w odpowiednio przygotowanym i wyznaczonym miejscu na fokmaszcie za pomocą kleju wytworzonego na bazie żywicy epoksydowej, następnie czujniki i fragmenty fokmasztu zabezpieczono 'łatami' wytworzonymi z włókna szklanego i żywicy epoksydowej. Zaproponowany układ pomiarowy składał się z następujących elementów: układu czujników światłowodowych typu FBG (sześć czujników do pomiaru odkształceń i jednego czujnika służącego do

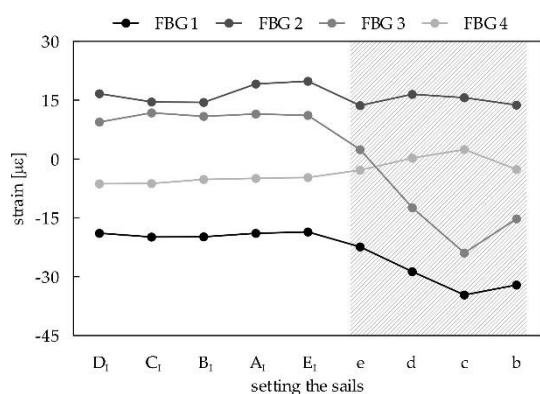
kompensacji temperaturowej) zamontowanych na fokmaszcie oraz układu do akwizycji danych pomiarowych (dwa czterokanałowe mierniki optyczne (z ang. *interrogator*)) w sali nawigatorów.

Przeprowadzone badania eksperymentalne dotyczyły określenia wielkości zmian poziomu odkształcenia fokmasztu na skutek normalnej eksploatacji statku (tj. podczas żaglowania). W szczególności rozważano następujące procesy: stawianie żagli, zdejmowanie żagli, zwrot przez rufę, kotwiczenie statku. Na statkach żaglowych najczęściej wykonywanymi akcjami są procesy stawiania/ zrzucania żagli, które znacząco wpływają na poziom odkształceń masztów. Poniżej przedstawiono przykładowy wynik otrzymany podczas procesu stawiania żagli (Rys. 3). Wyraźnie widać, że żagle rejowe (marsel dolny, marsel górny, bram, bombram i fokżagiel) wywołują niewielkie zmiany poziomu odkształcenia wzdłużnego masztu. Natomiast kliwry (forsztaksel, kliwer, bomkliwer i jeger) wywołują charakterystyczne zmiany poziomu odkształceń wzdłużnych masztu [H1].

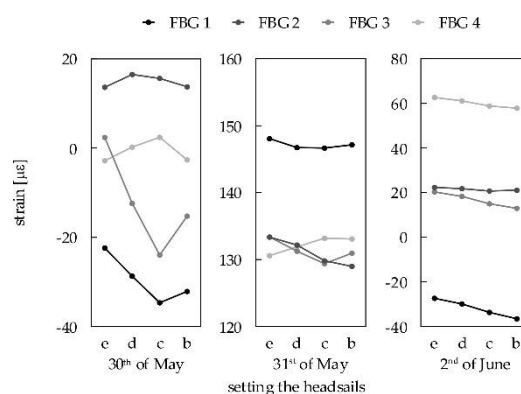


Rys. 3. Zmiany wartości odkształcenia wzdłużnego w czasie procesu stawiania żagli na fokmaszcie: (1) marsel dolny, (2) marsel górny, (3) bram, (4) bombram, (5) fokżagiel, (6) forsztaksel, (7) kliwer, (8) bomkliwer, (9) jeger, [H1].

Te charakterystyczne zmiany, w kolejnej pracy [H2], poddano wnikliwej analizie i otrzymano następujące wyniki, które zamieszczone na Rys. 4, Rys. 5.



Rys. 4. Średnie wartości odkształcenia policzone dla każdego etapu stawiania żagli, [H2].

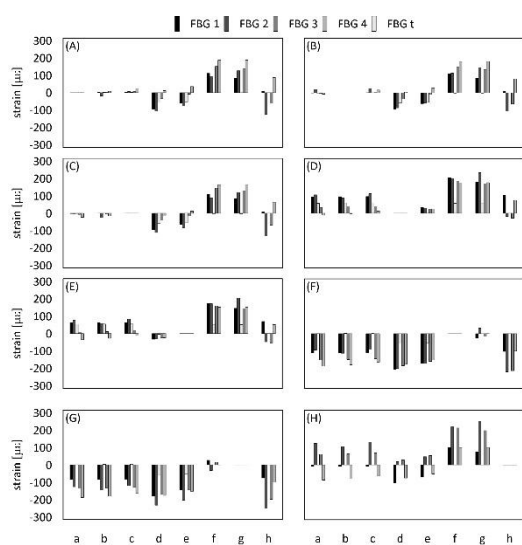


Rys. 5. Średnie wartości odkształcenia dla poszczególnych etapów stawiania kliwów (3 różne dni pomiarowe), [H2].

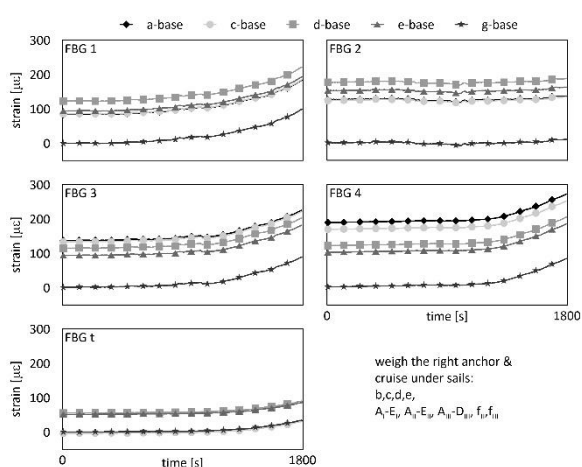
B₁ – marsel dolny, C₁ – marsel górny, B₁ – bram, A₁ – bombram, E₁ – fokżagiel, e – forsztaksel, d – kliwer, c – bomkliwer, b – jeger

Zmniejszenie poziomu odkształcenia masztu podczas procesu stawiania kliwrów (Rys. 4): forsztaksla, kliwra oraz bomkliwra, jest spowodowane lokalizacją miejsca zamocowania sztagów (oznaczonych 'c' na Rys. 2) na poziomie platformy saling, to jest około 1 m poniżej miejsca montowania czujników światłowodowych typu FBG. Natomiast postawienie jebra prowadzi do zmniejszenia wpływu postawionych uprzednio kliwrów – poziom odkształcenia zbliżony do poziomu bazowego. Efekt (prostowania się fokmasztu) związany jest z mocowaniem sztagu (oznaczony 'b' na Rys. 2) znajdującego się ponad kolejną platformą zwaną bramsaling (około 36 m nad poziomem pokładu głównego). Porównując średnie wartości odkształceń (Rys. 5) dla kilku wybranych pomiarów okazuje się, że stawianie tych żagli układa się w specyficzny trend.

Innym istotnym problemem, poruszonym w pracy [H2], jest problem wyboru odpowiedniej bazy tj. stanu referencyjnego, względem którego obliczane będą zmiany odkształceń. Dla specyficznej konstrukcji morskiej, jaką jest żaglowiec – wybór stanu referencyjnego jest niezwykle trudny. Trudność polega na tym, że: (i) udostępniony do badań żaglowiec STS Dar Młodzieży ma blisko 40 lat, (ii) co roku podczas zimowania żagle oraz część olinowania zostaje zdjęta, (iii) podczas przeglądów stoczniowych potwierdzających klasę statku, większość takielunku zostaje zdjęta. Ponowne założenie takielunku (częściowego czy całościowego) może powodować zmiany w charakterystyce zachowania masztów, a co będzie przekładało się na pomiary czujnikami światłowodowymi typu FBG. Dodatkowo, dla tego samego stanu morza (np. stan morza 0 wg. skali Douglasa – gładka powierzchnia morza), maszt będzie zachowywał się inaczej, gdy statek jest zacumowany, a inaczej gdy jest zakotwiczony. Rozważania na temat wyboru stanu referencyjnego oraz konsekwencji jego wyboru ilustrują Rys. 6 i Rys.7.



Rys. 6. Wpływ wyboru stanu referencyjnego na poziom zmian odkształcenia, [H2].



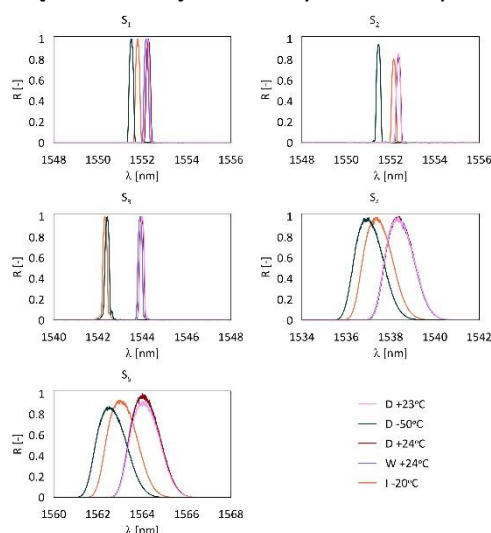
Rys. 7. Poziom zmian odkształceń ze względu na wybór stanu referencyjnego podczas procesu podnoszenia kotwicy i stawiania żagli, [H2].

Dokładny opis poszczególnych stanów referencyjnych znajduje się w Tab. 5 w pracy [H2].

Należy podkreślić, że omówione powyżej oraz szczegółowo w pracach [H1, H2] wyniki badań dotyczące możliwości zastosowania czujników światłowodowych typu FBG do określenia zmian poziomów odkształceń masztu żaglowca podczas normalnej eksploatacji są badaniami pionierskimi zarówno w skali kraju jak i na arenie międzynarodowej.

Na stan referencyjny ma wpływ nie tylko stan ‘zastany’ konstrukcji (jak pokazano w pracy [H2]) ale również sam czujnik światłowodowy typu FBG. W rzeczywistości czujnik światłowodowy typu FBG to filtr widmowy bazujący na zasadzie odbicia Bragga. W rdzeniu światłowodu znajduje się siatka dyfrakcyjna Bragga, od której odbija się pewna część fali optycznej o określonej długości fali (zwana falą Bragga), której zmiany mierzone są przez układ optyczny, a następnie rejestrowane przez *interrogator*. Typowe widmo optyczne odbite od czujnika zawiera jedno główne maksimum odpowiadające długości fali Bragga charakterystycznej dla danego czujnika typu FBG. Istnieje wiele parametrów mogących wpłynąć na charakter widma odbitego czujnika światłowodowego typu FBG.

W pracy [H3] zajmowałam się symulacjami numerycznymi mającymi na celu określenie ‘idealnych’ parametrów czujnika oraz odpowiedzią widma czujnika światłowodowego typu FBG na jednorodne pole odkształceń działające wzdłuż czujnika w zależności od parametrów siatki dyfrakcyjnej. Rozważałam następujące parametry: efektywny współczynnik załamania światła na siatce dyfrakcyjnej (Δn_{eff}), współczynnik załamania światła w materiale rdzenia światłowodu (n_0), długość siatki dyfrakcyjnej (L). Przeprowadzone symulacje numeryczne miały na celu określenie wpływu powyższych parametrów siatki dyfrakcyjnej na zdolność czujnika światłowodowego typu FBG do odpowiedzi na te zmiany (z ang. *reflectivity*). Przebadano cztery różne, możliwe do wystąpienia, przypadki wartości efektywnego współczynnika załamania światła na siatce dyfrakcyjnej (Δn_{eff}), trzy różne współczynniki załamania światła w materiale rdzenia światłowodu (n_0) oraz różną długość siatki dyfrakcyjnej (L) w zakresie od 0,25 mm do 40 mm (typowe długości siatek dyfrakcyjnych czujników światłowodowych typu FBG). Przeprowadzone przeze mnie badania pozwoliły na wyciągnięcie następujących wniosków: charakter widma czujnika światłowodowego typu FBG silnie zależy od efektywnego współczynnika załamania światła na siatce dyfrakcyjnej oraz długości siatki dyfrakcyjnej czujnika; współczynnik załamania światła w materiale rdzenia światłowodu wpływa, w niewielkim stopniu, na szerokość połowkową widma czujnika. Powyższe zasady zilustrowano na Rys. 8.

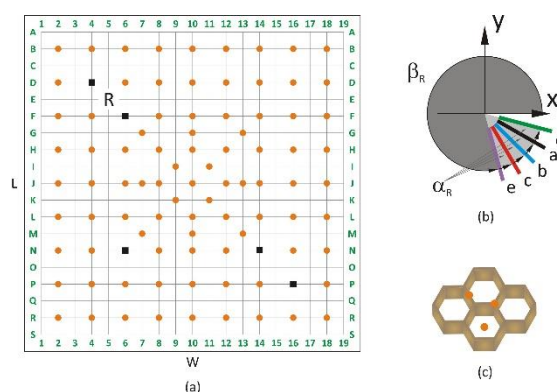


Rys. 8. Zmiany charakterystyk widmowych w zależności od warunków środowiskowych (D – sucho, W – mokro, I – lód) i długości siatki dyfrakcyjnej czujnika światłowodowego typu FBG (czujnik S₁-S₃ – 10 mm, czujnik S₄, S₅ – 1 mm), [H9].

Nowością jest próba znalezienia odpowiedzi na pytanie jakie parametry powinien posiadać ‘idealny’ czujnik światłowodowy typu FBG oraz przeprowadzenie porównań jego parametrów mających wpływ na kształt widma czujnika światłowodowego typu FBG, a w konsekwencji na zdolność czujnika światłowodowego typu FBG do odpowiedzi na zmiany zachodzące w analizowanym elemencie konstrukcji.

W pracy [H3] rozpoczęto również badania nad opracowaniem procedury kierunkowej lokalizacji punktu uderzenia (na płycie wykonanej z materiału kompozytowego o wzmocnieniu z włókien węglowych i osnowie polimerowej) na podstawie analizy zmian kierunków głównych odkształceń zmierzonych przez układ czujników światłowodowych typu FBG.

W pracach [H4, H5] kontynuowałam badania dotyczące lokalizacji miejsca obciążenia. Zakres badań rozszerzyłam o dodatkowe rodzaje wymuszeń (siła statyczna, uderzenie udarowe oraz wymuszenie falą sprężysto-akustyczną), stopień skomplikowania analizowanych elementów oraz określenie pola czułości różnych układów czujników światłowodowych typu FBG. Badania eksperymentalne przeprowadziłam na kompozycie przekładkowym wykonanym z dwóch laminatów szklano-epoksydowych (stanowiących okładziny) z rdzeniem komórkowym (Nomex®) o strukturze plastra miodu. Elementy kompozytu przekładkowego połączone zostały żywicą epoksydową. Zaproponowałam, aby na górnej powierzchni badanego obiektu przykleić układ pięć czujników światłowodowych typu FBG, jak pokazano na Rys. 9 (b), gdzie $\alpha_R = 15$ stopni. Tak rozmieszczone czujniki pozwoliły na przeanalizowanie wpływu lokalizacji obciążenia (Rys. 9 (a)) dla czterech indywidualnych rozet (R_{ebd} , R_{cba} , R_{ecb} , R_{bad}).



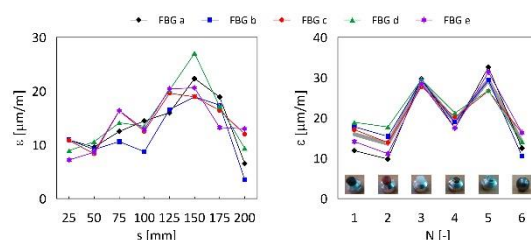
Rys. 9. (a) Układ analizowanych punktów, (b) układ czujników światłowodowych typu FBG, (c) punkty uderzenia w odniesieniu do struktury wewnętrznej kompozytu przekładkowego, [H5].

Rozpatrzono następujące przypadki: (i) obciążenie siłą statyczną 8 N [H4], (ii) uderzenie udarowe o energii 0,02 J oraz 0,04 J zrealizowane za pomocą stalowej kulki o średnicy 2,4 mm [H4], (iii) wymuszenie falą sprężysto-akustyczną modulowaną funkcją sinus o częstotliwości 1 Hz [H4], (iv) uderzenie udarowe o energii 0,03 J zrealizowane za pomocą młotka modalnego [H5]. Posługując się procedurą opisaną w pracach [H4, H5] określono pola czułości wszystkich analizowanych rozet [H4, H5] oraz poszczególnych czujników światłowodowych typu FBG [H5] w postaci znormalizowanych składowych tensora odkształceń (zdefiniowanych w układzie kartezjańskim) wyznaczonych z odkształceń pomiarowych. Podczas badań [H4] okazało się, że nie tylko właściwe naklejenie czujnika światłowodowego typu FBG czy jednorodność badanego materiału, ale także dokładna lokalizacja punktu obciążenia wpływa na odpowiedź układu czujników. Najprawdopodobniej, każdy indywidualny punkt pomiarowy, w tak skomplikowanej strukturze jaką jest kompozyt przekładkowy, ma swoje własne właściwości i dzięki nim zachowuje się w sposób szczególny powodując niejednoznaczność odpowiedzi układu czujników. W pracy [H5] przeanalizowałam dostępne końcówki młotka modalnego oraz porównałam otrzymane wyniki z wynikami dla stalowej kulki – Rys. 10 i Rys. 11 – podobna energia uderzenia udarowego. Skupiłam się również na niepewności pomiarowej powodowanej wewnętrzną strukturą kompozytu (rdzeń typu plaster miodu – Rys. 9(c)). Zarówno końcówka młotka modalnego jak i stalowa kulka mogły uderzyć w trzy różne charakterystyczne punkty rdzenia: w środek komórki, w pojedynczą ścianę komórki lub

w przecięcie trzech ścian komórki. Przeprowadzone przeze mnie porównanie pozwoliło oszacować niepewność pomiarową na poziomie 7%.



Rys. 10. Końcówki młotka modalnego (1-5), stalowa kulka (6), [H5].



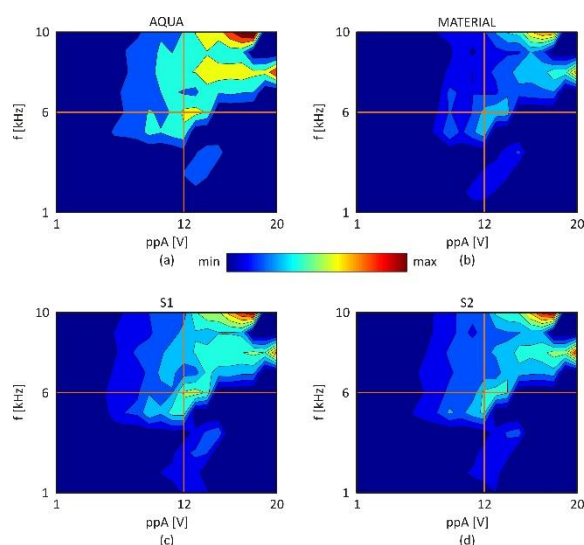
Rys. 11. Średnia wartość odkształcenia (w punkcie H8 – Rys. 9(a)): jako funkcja odległości spadania stalowej kulki (po lewej); jako funkcja rodzaju wymuszenia (po prawej), [H5].

Zaproponowałam również wskaźniki rozkładu czułości poszczególnych czujników oraz rozważanych układów czujników (rozet – o różnych kątach ułożenia czujników), [H5]. Wskaźnik ten obliczany jest jako stosunek wartości odkształcenia otrzymanej dla indywidualnego czujnika w odniesieniu do sumy wartości odkształcenia otrzymanej dla wszystkich czujników dla danego punktu pomiarowego. Przeprowadziłam porównanie wyników otrzymanych dla uderzeń udarowych realizowanych z pomocą stalowej kulki [H4] i młotka modalnego [H5] a na ich podstawie stworzyłam mapy aktywności czujnika (prawie dolne mapy Rys. 5, Rys. 15, Rys. 24 zamieszczonych w pracy [H5]), które wyraźnie pokazują, że dla wybranego typu wzbudzenia udarowego można wybrać preferowany układ czujników.

Nowością jest wybór układu czujników światłowodowych typu FBG, przeanalizowanie i porównanie znormalizowanych składowych tensora odkształceń obliczonych dla każdego czujnika indywidualnie jak i dla układów czujników dla różnych obciążeń, oszacowanie niepewności pomiarowej wynikającej z wyboru rdzenia badanego obiektu, przedstawienie wskaźników rozkładu pola czułości czujników (oraz rozet) w odniesieniu do rodzaju wymuszenia.

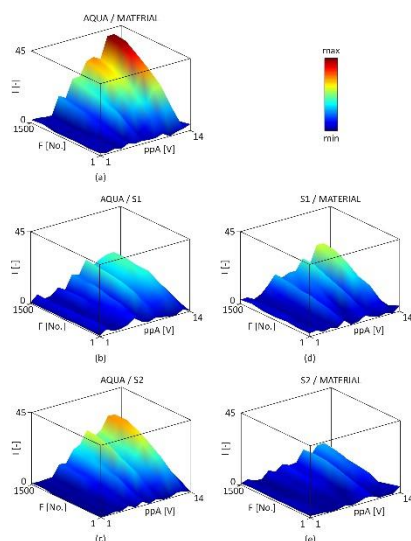
Innym tematem, poruszonym przeze mnie w osiągnięciu naukowym, jest możliwość zatapiania (wbudowywania) czujników światłowodowych typu FBG w elementy konstrukcji. Stosunek średnicy światłowodu (standardowo około 0,25 mm) do grubości pęczka włókien szklanych (standardowo 0,4 mm) wynosi około 0,6 i pozwala przypuszczać, że wbudowanie światłowodu w element konstrukcyjny nie zaburzy jego właściwości (np. materiałowych, wytrzymałościowych). Wybrane dwie prace [H6, H7] prezentują możliwość zastosowania metod termograficznych do obserwacji i oceny struktury wewnętrznej badanych obiektów, ze szczególnym uwzględnieniem miejsc wbudowania światłowodów i wprowadzenia zanieczyszczenia (w postaci kropli wody [H6, H7], kurzu [H7], pustki powstałej na skutek urwania i wysunięcia się światłowodu [H6, H7]). Wymienione uszkodzenia (zanieczyszczenia) zaproponowane zostały przez firmę CreeYacht, która zajmuje się wytwarzaniem konstrukcji (m.in. łodzi) z materiałów kompozytowych o wbrojeniu włóknami i osnowie polimerowej. Każde minimalne zanieczyszczenie może zostać wprowadzone w struktury materiału na skutek błędów w procesie produkcyjnym. Zanieczyszczenia mogą wywołać spadek wytrzymałości elementu. Dlatego ważnym aspektem jest wykrywanie, lokalizowanie oraz określenie wielkości zanieczyszczonego fragmentu elementu konstrukcji. Do badań zaproponowałam zastosowanie metod termografii aktywnej wykorzystującej źródło fali cieplnej w postaci ultradźwięków i/ lub lamp błyskowych. W pracy [H6] rozważałam wpływ wyboru parametrów wymuszenia ultradźwiękowego dla metody wibrotermograficznej. W oparciu o przeprowadzone eksperymenty i przeanalizowane przypadki, okazało się, że wymuszenie ultradźwiękowe sygnałem typu modulowany sinus

o częstotliwości 6 Hz i amplitudzie o wartości międzyszczytowej 12 V pozwala na najlepsze uwidocznienie wprowadzonych do materiału zmian (Rys. 12).



Rys. 12. Mapy rozkładu temperatur w zależności od parametrów wymuszenia dla wybranych obszarów: (a) kropla wody, (b) materiał rodzimy, (c, d) światłowody, [H6].

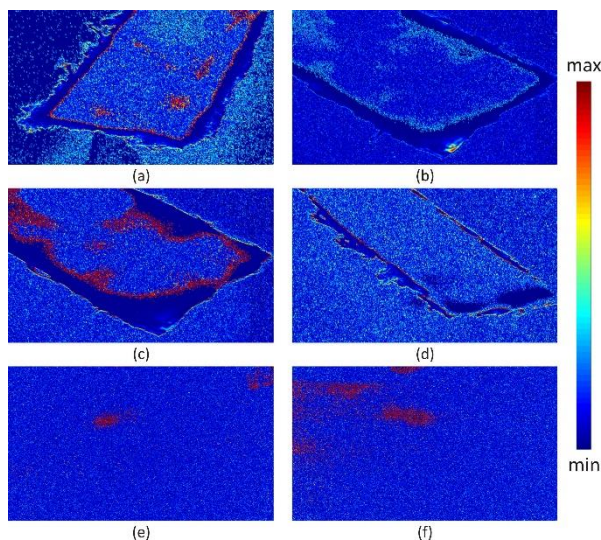
Ponadto zaproponowałam wskaźniki pozwalające na detekcję, lokalizację i określenie wielkości wtrącenia typu kropla wody, światłowód w laminacie szklanym (podobne parametry materiałowe światłowodu i włókien szklanych zbrojenia) – Rys. 13.



Rys. 13. Wskaźnik w funkcji parametrów wymuszenia i poszczególnych chwil czasowych, [H6].

W pracy [H6] pokazano (i stanowi to nowość), możliwość zastosowania termografii aktywnej (wymuszenie falą ultradźwiękową) do detekcji i lokalizacji miejsca wbudowania światłowodów, a także wtrącenia w postaci kropli wody (miejscowe zawilgocenie warstwy materiału w laminacie podczas procesu jego produkcji), przeanalizowano różne przypadki parametrów fali wymuszającej, zaproponowano wskaźniki pozwalające na odróżnienie wtrącenia typu kropla wody, światłowód od materiału rodzimego. Dodatkowo wykonano obliczenia mające na celu wskazanie zawartości objętościowej pojedynczego światłowodu i kropli wody w stosunku do objętości całej próbki: światłowód stanowi 7% natomiast kropla wody 0,5%.

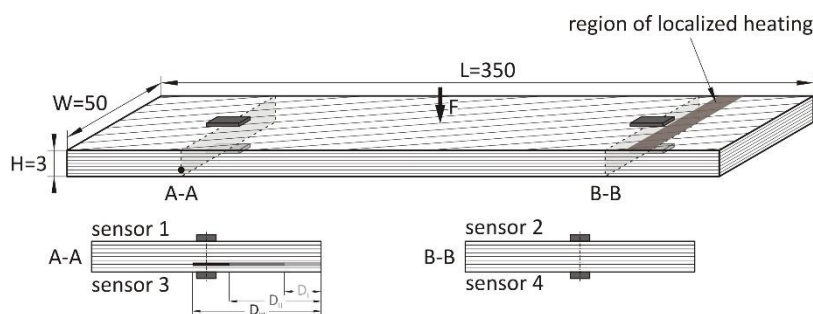
W pracy [H7] kontynuowano badania dotyczące zastosowania termografii aktywnej do detekcji i lokalizacji wtrąceń. Badania rozszerzono o inne przypadki wtrąceń (kurz, urwany światłowód) oraz inne metody wprowadzenia fali cieplnej (termografia optyczna – lampy błyskowe) do badanego obiektu. Analizowałam zarówno proces nagrzewania [H6, H7] jak i chłodzenia się próbki w powietrzu [H7], również uwzględniając wpływ chropowatości próbki. Zaproponowałam metodę filtracji sygnałów (w oparciu o pochodną przestrzenną pola temperatur) dla przypadku cienkich próbek – w których proces dyssypacji energii i chłodzenia się materiału zachodzi bardzo szybko – Rys. 14.



Rys. 14. Wyniki filtracji sygnałów dla wibrotermografii: (a) urwany światłowód, (b) kropla wody (proces nagrzewania), (c) kropla wody (proces chłodzenia), (d) kurz; termografii optycznej: (e) kurz (chropowata powierzchnia próbki), (f) kurz (gładka powierzchnia próbki), [H7].

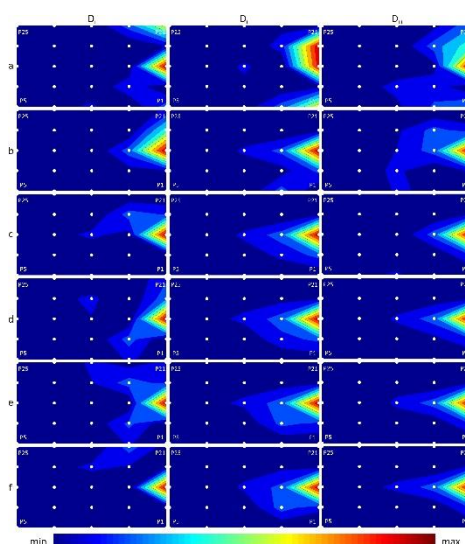
Nowością jest zastosowanie różnych technik termograficznych (wibrotermografia, termografia optyczna) do badań i analiz struktury wewnętrznej tego samego obiektu, a w konsekwencji tych samych zanieczyszczeń/ defektów. Takie podejście pozwala na wybór odpowiedniej metody dla wybranego analizowanego przypadku. Dodatkowo zastosowanie metod filtracji pozwoliło na dokładne wskazanie regionów z wtrąceniami.

W pracy [H8] uszkodzeniem, analizowanym za pomocą metod termografii (wibrotermografia), była delaminacja wprowadzona do prostokątnej ośmiowarstwowej próbki (laminat) z przyklejonymi na powierzchni czterema czujnikami światłowodowymi typu FBG. Uszkodzenie znajdowało się w obszarze pomiędzy parą czujników (Rys. 15). Analizowano możliwość detekcji, lokalizacji i określenia wielkości uszkodzenia. Rozważano trzy wielkości delaminacji ($D_I = 8$ mm, $D_{II} = 20$ mm, $D_{III} = 28$ mm) rozumiane jako długość uszkodzenia.



Rys. 15. Schemat badanej próbki, [H8].

W pracy [H8] wyznaczyłam charakterystyki materiałowe (prędkość nagrzewania materiału w czasie) zależne od parametrów wzbudzenia próbki falą ultradźwiękową (wibrotermografia), a także oszacowałam maksymalny poziom odcięcia (z ang. *threshold*) dający pewność, że powyżej tej wartości wpływ materiału został wyeliminowany. Zaproponowałam nową metodę filtracji (przetwarzania sygnałów), poprawiającą jakość lokalizacji i określenia wielkości uszkodzeń próbki, w oparciu o eliminację wpływu materiału i z zastosowaniem procesów normalizacyjnych. Takie podejście pozwoliło na określenie położenia, kształtu i wielkości wprowadzonej delaminacji – Rys. 16.



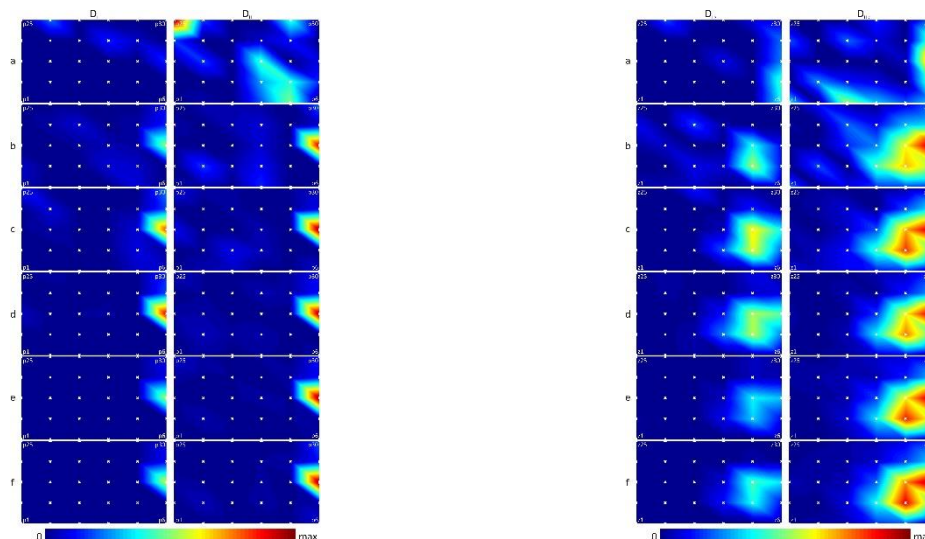
Rys. 16. Mapy etapów rozwoju uszkodzenia (delaminacji) dla różnych parametrów wymuszeń (oznaczonych a-f), [H8].

W tej samej pracy [H8] zajmowałam się również możliwością zastosowania wibrotermografii do detekcji i oceny stopnia uszkodzenia termicznego wywołanego lokalnym przegrzaniem laminatu.

Nowością jest zastosowanie nowych metod przetwarzania sygnałów otrzymanych z badań z wykorzystaniem wibrotermografii (różne parametry wzbudzenia fali cieplnej) do określenia położenia i określenia poszczególnych etapów rozwarstwienia (delaminacji). Dodatkowo możliwe jest również określenie miejsca przyklejenia czujnika światłowodowego typu FBG.

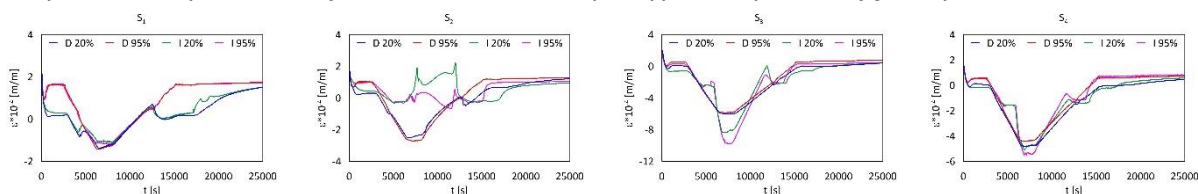
Opracowaną przeze mnie i opisaną w pracy [H8] metodę przetwarzania sygnałów dla wywołanej mechanicznie delaminacji zaimplementowałam do badań nad rozwojem delaminacji wywołanym na skutek termicznych cykli zmęczeniowych. Próbkę z wprowadzoną mechanicznie delaminacją (5 mm) umieszczona została w naczyniu z wodą i komorze środowiskowej i poddana 20 cyklom termicznym (zmiana temperatur w zakresie od -5°C do +20°C). Zaproponowany cykl zmęczeniowy pozwolił na swobodne zamarzanie i rozmarzanie próbki, a w efekcie na powiększenie się obszaru delaminacji. Zaproponowana metoda [H8, H9] oraz jej modyfikacja na potrzeby badań nad rozwojem delaminacji [H9] dała wyniki zaprezentowane na (Rys. 17) – porównanie podejścia standardowego [H8, H9] i zmodyfikowanego [H9].

Nowością jest zaproponowanie metod przetwarzania sygnałów, otrzymanych przy pomocy badań wibrotermograficznych, do oceny położenia i wielkości uszkodzenia (delaminacja) wywołanego za pomocą termicznych cykli zmęczeniowych. Możliwa jest również obserwacja procesu degradacji materiału rodzimego (bez delaminacji, zatopionego w naczyniu z wodą) na skutek cyklicznych zmian temperatury.



Rys. 17. Mapy obszaru delaminacji w podejściu standardowym (po lewej) i podejściu zmodyfikowanym (po prawej), [H9].

Praca [H9] jest niezwykle ważna, ze względu na zagadnienia absorpcji wilgoci, która jest jedną z najważniejszych przyczyn spadku właściwości mechanicznych elementów wykonanych z materiałów kompozytowych. Tworzone i rozwijane coraz to nowsze metody NDT i SHM mają pomagać w ocenie stopnia zdegradowania elementów konstrukcyjnych i podnosić poziom bezpieczeństwa zarówno tej konstrukcji jak i jego użytkowników. Ważnym jest również, aby znać stopień wpływu wilgoci na czujniki mające monitorować stan techniczny danego elementu konstrukcji. W pracy [H10] zajmowałam się jednoczesnym wpływem zmian temperatur (w zakresie od -20°C do $+30^{\circ}\text{C}$) i różnymi stopniami wilgotności na zachowanie się czujników światłowodowych typu FBG. Przeanalizowałam czułość i ograniczenia czujników znajdujących się w różnych warunkach środowiskowych (temperatura dodatnia/ ujemna, wilgotność względna niska/ wysoka, otoczenie suche /mokre), posiadających różne warunki brzegowe (swobodny, utwardzony – klejony lub wbudowany). Przykładowe wyniki dla czujników światłowodowych typu FBG prezentuję na Rys. 18.



Rys.18. Zmiana odkształcenia w czasie na skutek zmian temperatury czujnika swobodnego (S1), wplecionego w tkaninę (S2), przyklejonego (S3) i wbudowanego (S4) dla dwóch różnych warunków środowiskowych (D – sucho, I - mokro).

Nowością jest określenie wpływu warunków środowiskowych (temperatura dodatnia/ ujemna, wilgotność względna niska/ wysoka, otoczenie suche/ mokre) oraz warunków brzegowych na zmiany odkształcenia czujnika światłowodowego typu FBG. Przeprowadzone przeze mnie badania wykazały, że czujniki światłowodowe typu FBG mogą być z powodzeniem stosowane w trudnych warunkach środowiskowych (z ang. *harsh environmental condition*).

Podsumowanie

Podsumowując, osiągnięcie naukowe dotyczy zagadnień związanych z monitorowaniem i oceną stanu technicznego konstrukcji w oparciu o zjawiska związane z propagacją fal elektromagnetycznych: fal optycznych oraz fal podczerwonych.

Zaproponowane metody oceny stopnia degradacji konstrukcji bazujące na propagacji fal optycznych w czujnikach światłowodowych typu FBG mogą być z powodzeniem wykorzystywane do obserwacji zmian poziomów odkształceń na skutek uszkodzeń mechanicznych (np. delaminacja), uderzeń udarowych czy chemicznych (np. zawilgocenia) w elementach konstrukcji wykonanych zarówno z materiałów izotropowych jak i anizotropowych. Zalety czujników światłowodowych typu FBG pozwalają na tworzenie systemów oceny stanu technicznego konstrukcji, do których dostęp jest utrudniony ze względu na umiejscowienie badanej konstrukcji. Można je stosować zarówno na powierzchni badanego obiektu (montaż przy pomocy np. kleju) jak i jako czujniki wbudowane w materiał wykonawczy elementu konstrukcji.

Zaproponowane metody oceny stopnia degradacji konstrukcji bazujące na propagacji fal podczerwonych mogą być z powodzeniem stosowane do detekcji, lokalizacji różnego rodzaju uszkodzeń (wtrąceń), które powodują lokalne zmiany pola temperatur. Metody termograficzne zostały również wykorzystane do określenia wielkości/ stopnia uszkodzenia: mechanicznego (delaminacji, pustki po wysuniętym światłowodzie), termicznego (rozwój delaminacji na skutek termicznych cykli zmęczenia) lub chemicznego (lokalne zawilgocenie).

Zaproponowana próba połączenia omawianych metod (bazującej na czujnikach światłowodowych typu FBG oraz termografii aktywnej) pozwala na kompleksową ocenę różnych elementów konstrukcji nie tylko w skali globalnej ale i lokalnej.

Wyniki przeprowadzonych badań pokazały, że możliwe jest opracowanie efektywnych metod diagnostyki elementów konstrukcji (wykonanych z materiałów izotropowych lub anizotropowych) bazujących na systemach czujników światłowodowych typu FBG i technikach termograficznych.

Dowiodło to słuszności sformułowanej tezy.

Uzyskane przez mnie wyniki badań stanowią element nowości oraz znaczący wkład w dyscyplinę mechaniki.

Podsumowanie własnych oryginalnych osiągnięć

Podsumowując, do moich oryginalnych osiągnięć powstałych podczas realizacji badań mogę zaliczyć:

- pionierskie zastosowanie czujników światłowodowych typu FBG do określenia zmian poziomów odkształceń masztu żaglowca (STS Dar Młodzieży) podczas normalnej eksploatacji;
- eksperymentalne określenie wpływu procesów: stawianie żagli, zdejmowanie żagli, zwrot przez rufę, kotwiczenie statku na poziom odkształcenia fokmasztu;
- omówienie wpływu wyboru stanu referencyjnego (bazowego) na zmiany poziomów odkształcenia;
- numeryczne wyznaczenie parametrów 'idealnego' czujnika światłowodowego typu FBG;
- zaproponowanie układu czujników światłowodowych typu FBG (pięć czujników realizujących układ czterech rozet) w zastosowaniu do detekcji i lokalizacji obciążeń (punktowa siła statyczna, wymuszenie udarowe, wymuszenie falą sprężysto-akustyczną modulowaną sinusem) w kompozycie przekładkowym;
- wyznaczenie wskaźników określających rejony (obszary) czułości zarówno dla indywidualnych czujników światłowodowych typu FBG jak i dla układów czujników w zależności od rodzaju obciążenia;

- oszacowanie niepewności pomiarowej czujników światłowodowych typu FBG, wynikającej ze struktury rdzenia kompozytu przekładkowego dla wymuszenia udarowego;
- zastosowanie termografii aktywnej i porównanie użyteczności zaproponowanych technik (wymuszenie falą ultradźwiękową – wibrotermografia, wymuszenie optyczne – lampy błyskowe) do detekcji i lokalizacji miejsca wbudowania światłowodów oraz wtrąceń w postaci kropli wody, kurzu;
- wyznaczenie wskaźników pozwalających na detekcję, lokalizację i określenie wielkości wtrącenia typu kropla wody, światłowodów w laminacie szklanym;
- opracowanie nowych metod przetwarzania sygnałów pozwalających na dokładne wskazanie zanieczyszczonych regionów (kropla wody, kurz, pustka po wysuniętym światłowodzie, delaminacja);
- analiza wpływu parametrów wzbudzenia fali ultradźwiękowej (wibrotermografia) na dokładność określenia miejsca położenia i etapów rozwoju delaminacji;
- zastosowanie metod termograficznych do detekcji i lokalizacji oraz wielkości i kierunku rozwoju uszkodzenia (delaminacji) wywołanego na skutek termicznych cykli zmęczenia;
- określenie wpływu warunków środowiskowych (temperatura dodatnia/ ujemna, wilgotność względna niska/ wysoka, otoczenie suche/ mokre) oraz warunków brzegowych na zmiany odkształcenia czujnika światłowodowego typu FBG.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych (artystycznych).

W nawiasach kwadratowych podano odniesienia do publikacji zamieszczonych w „Wykazie opublikowanych prac naukowych lub twórczych” – załącznik 4a.

1. Podczas odbywania stażu zawodowego w IO PAN w Sopocie miałam możliwość czynnego udziału w badaniach dotyczących sytuacji hydrologicznej akwenów Morza Bałtyckiego. Badanie prowadzone, podczas rejsów na statku badawczym s/y Oceania, polegały na rejestracji prądów morskich, temperatury, głębokości i zasolenia w celu określenia zmian w strukturze mas wodnych.
2. Zmodyfikowałam stanowisko badawcze, proponując dwa różne sposoby realizacji ‘inteligentnego podparcia’ łożyska wirnika 4RK firmy Bently Nevada: za pomocą siłownika z magnetyczną pamięcią kształtu (przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych) oraz za pomocą tłumika magnetoreologicznego (po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych) – szczegółowy opis w załączniku 4a.
3. Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych jako kierownik projektu MNiSW IUVENTUS Plus (jako kierownik) kontynuowałam tematykę dotyczącą wpływu aktywacji materiałów inteligentnych na dynamikę konstrukcji. W szczególności zajmowałam się zastosowaniem siłownika z magnetyczną pamięcią kształtu oraz tłumika magnetoreologicznego [K16].
4. Po obronie doktoratu [R1], dotyczącego tematyki stopów z magnetyczną pamięcią kształtu, rozpoczęłam badania eksperymentalne dotyczące czujników światłowodowych typu FBG do diagnostyki konstrukcji [M4], w tym konstrukcji morskich. Prowadziłam badania na statkach: STS Dar Młodzieży [H1, H2, M4], co szczegółowo opisano w osiągnięciu naukowym oraz MS Horyzont II [M3, M4, C4, C5, C6] w zakresie wyznaczenia charakterystyk statycznych i dynamicznych masztu sygnałowego statku podczas rejsu na wodach Zatoki Gdańskiej.
5. W ramach projektu Marii Słodowskiej-Curie „new MAterials and REliability in offshore WIND Turbines technology” (MARE-WINT) rozpoczęłam współpracę z dr. Rohan Soman dotyczącą zastosowania czujników światłowodowych do pomiarów zmian poziomów odkształceń

elementów konstrukcyjnych w oparciu o śledzenie zmian położenia osi obojętnej na skutek pojawienia się uszkodzenia. Metoda śledzenia zmiany położenia osi obojętnej bazująca na filtrze Kalmana została wykorzystana do detekcji uszkodzeń mechanicznych (delaminacja) i termicznych (lokalne przegrzanie). W ramach współpracy powstały wspólne publikacje [A3, A4, C8, K21, K22]. *(kopia artykułu [A4] znajduje się w załączniku 7)*

6. W ramach współpracy z dr Rohan Soman powstała ciekawa praca [K20] mająca na celu wypełnienia pewnego rodzaju luki pomiędzy teoretycznym, idealnym eksperymentem a jego rzeczywistym przeprowadzeniem. W pracy omawiane są takie aspekty jak: wybór obiektu badań, wybór warunków brzegowych i ich realizacja, wybór odpowiednich czujników i ich położenie, miejsce i rodzaj wzbudzenia, a także końcowe przetwarzanie otrzymanych danych. *(kopia artykułu [K20] znajduje się w załączniku 7)*
7. Prowadziłam (w ramach projektu PBS KOMPNDT *Nieinwazyjne metody oceny degradacji fizyko-chemicznej i mechanicznej elementów konstrukcji kompozytowych*) i nadal prowadzę (w ramach projektu NCN *Wpływ jednoczesnego oddziaływania temperatury i wilgotności na struktury anizotropowe: od teorii do badań doświadczalnych*) badania eksperymentalne (doskonalenie metod) dotyczące wbudowywania czujników światłowodowych typu FBG w strukturę laminatu o zbrojeniu włóknem szklanym lub węglowym [H6, H7, H9, C7, C12, K23].
8. Prowadziłam badania dotyczące zastosowania metod termografii (wibrotermografii i termografii optycznej) – większość badań została opisana w osiągnięciu naukowym, pozostałe prace to [C9, K21, K23, K27].
9. Czynnie uczestniczyłam w badaniach eksperymentalnych z wykorzystaniem spektroskopii THz prowadzonych na różnych obiektach: laminaty [A5, A6, A7, C7], kompozyty przekładkowe [C10], a także zastosowania spektroskopii THz do wykrywania światłowodów [C12, K19] czy zanieczyszczeń [K24, K26, K28, K29] wbudowanych w strukturę elementu konstrukcyjnego. *(kopia artykułu [A7] znajduje się w załączniku 7)*
10. Uczestniczyłam w badaniach eksperymentalnych dotyczących monitorowania podzespołów turbogeneratora domowej mikrośiłowni kogeneracyjnej ORC z wykorzystaniem czujników światłowodowych typu FBG, spektroskopii terahercowej i termografii. Badania prowadzono przy współpracy z Zakładem Dynamiki i Diagnostyki Turbin IMP PAN w laboratorium Mikrośiłowni Kogeneracyjnej „ORC” IMP PAN. Z przeprowadzonych badań wnioskować można, że z powodzeniem można stosować czujniki światłowodowe typu FBG do detekcji i lokalizacji wycieków płynu niskowrzącego w skutek nieszczelności połączenia elementów korpusu turbogeneratora [C11]. *(kopia artykułu [C11] znajduje się w załączniku 7)*
11. Przeprowadzone badania eksperymentalne dotyczące monitorowania stanu technicznego podzespołów turbogeneratora i nawiązana współpraca międzyzakładowa zaowocowała moim uczestnictwem w projekcie aplikacyjnym NCBiR *Uniwersalny Turbogazowy Układ Mikrokogeneracyjny (VoltAeris)*. Tematyka projektu dotyczy wytworzenia unikalnego w skali światowej układu mikrokogeneracyjnego i zastosowania metod opartych na czujnikach światłowodowych typu FBG do określenia wielkości naprężeń termicznych elementów kotła (temperatury ponad 800°C). Będą to badania unikatowe zarówno w skali kraju jak i na arenie międzynarodowej.
12. Uczestniczyłam w badaniach dotyczących zastosowania czujników światłowodowych typu FBG do modelu skrzydła samolotu o zmiennej geometrii elementami wykonawczymi ze stopu z pamięcią kształtu oraz siłowników z elementami wykonawczymi ze stopu z klasyczną pamięcią kształtu [K10].

13. Brałam udział w badaniach eksperymentalnych dotyczących zastosowania wibrometru laserowego do pomiarów propagacji fal sprężystych [K13, K14].
14. Brałam udział w badaniach kompozytu przekładkowego składającego się z okładzin wykonanych z laminatu szklanego i wypełnieniu w postaci pianki poliuretanowej z wbudowanym układem czujników światłowodowych typu FBG. Tego typu kompozyty przekładkowe stosuje się w konstrukcjach inżynierii lądowej (np. mosty). Badania dotyczyły zastosowania czujników do oceny zmian poziomów odkształceń wywołanych na skutek obciążenia typu skupiona masa oraz zmian temperatury otoczenia [K30].
15. Obecnie zatrudniona jestem w projekcie ERA-NET-Martec-II *Reliable and autonomous monitoring system for maritime structures* (powstałego na mocy współpracy polsko-niemieckiej), którego tematyka obejmuje opracowanie systemu monitorowania stanu technicznego, kompozytowych konstrukcji morskich, wykorzystujących metody impedancji elektromechanicznej oraz czujników światłowodowych typu FBG. We współpracy z polską firmą CreeYacht uczestniczę w badaniach dotyczących możliwości monitorowania stanu technicznego szybkiej łodzi patrolowej. W ramach projektu analizowane były możliwości zatopienia czujników światłowodowych typu FBG w złożoną strukturę kadłuba łodzi. W badaniach wstępnych wykonano panel testowy o budowie identycznej jak kadłub łodzi z wbudowanymi czujnikami, następnie w oparciu o analizy panelu zaprojektowany został układ czujników, który wbudowano w sterburtę łodzi. Do chwili obecnej sprawdzono działanie zaproponowanego układu czujników światłowodowych oraz jego na odpowiedzi na wymuszenia impulsowe [C12]. Planowane są również badania eksperymentalne na wodach Zatoki Gdańskiej.
16. Obecnie uczestniczę w badaniach, w ramach projektu NCN OPUS *Wpływ jednoczesnego oddziaływania temperatury i wilgotności na struktury anizotropowe: od teorii do badań doświadczalnych*, w których prowadzę analizy jednoczesnego wpływu temperatury (ujemnej/podwyższonej) oraz różnych poziomów wilgoci na elementy konstrukcyjne (wykonane z materiałów kompozytowych) z zastosowaniem metod bazujących na czujnikach światłowodowych typu FBG, termografii w podczerwieni oraz spektroskopii THz.
17. Biorę również udział w projekcie H2020 *Turbomachinery optimisation enabling flexible back-up power for the European energy transition*, którego celem jest zwiększenie trwałość elementów elektrowni, tak aby zmniejszyć negatywne oddziaływanie na środowisko.

Opisane w osiągnięciu naukowym oraz wymienione powyżej badania są aktualne, unikatowe oraz wpisują się w światowe trendy rozwoju technologicznego w zakresie nowych materiałów konstrukcyjnych i podnoszenia ich poziomu bezpieczeństwa. Badania będą kontynuowane.

W chwili obecnej zostały zgłoszone (przyjęte przez organizatorów konferencji) dwa kolejne referaty konferencyjne, których jestem współautorką:

- Magdalena Mieloszyk, **Katarzyna Majewska**, Wiesław Ostachowicz: *Studies of fibre reinforced polymer samples with embedded FBG sensors*, 13th International Conference on Damage Assessment of Structures DAMAS 2019, 9-10.07.2019, Porto, Portugal
- **Katarzyna Majewska**, Magdalena Mieloszyk, Wiesław Ostachowicz: *Fibre reinforced polymer structure under simultaneous temperature and humidity influence – FBG sensors, THz spectroscopy, and vibrothermography methods*, 12th International Workshop on Structural Health Monitoring IWSHM 2019, 10-12.09.2019, Stanford, USA (CA)

Na kolejnych stronach zamieściłam tabele zawierające zestawienia moich osiągnięć naukowych.

Tabela 1. Podsumowanie ważniejszych osiągnięć z podziałem na okres przed i po doktoracie

Nazwa osiągnięcia	Wartość wskaźnika przed obroną doktoratu	Wartość wskaźnika po obronie doktoratu	Sumaryczna wartość wskaźnika
Publikacje z listy Journal Citation Reports (JCR)	2	7 <u>W tym:</u> 2 – w osiągnięciu naukowym	9
Monografie	0	1 <u>W tym:</u> 1 – j. polski	1
Rozdziały w monografii	2 <u>W tym:</u> 1 – j. polski	1 <u>W tym:</u> 1 – j. angielski	3
Inne prace naukowe	14 <u>W tym:</u> 12 – j. angielski 6 – w bazie Web of Sciences	36 <u>W tym:</u> 35 – j. angielski 9 – w bazie Web of Sciences 8 – w osiągnięciu naukowym	50
Wygłoszenie referatów na konferencjach	12 <u>W tym:</u> 10 – j. angielski	17 <u>W tym:</u> 4 – plakaty 15 – j. angielski	29
Aktywny udział w konferencjach	13 <u>W tym:</u> 11 – j. angielski	35 <u>W tym:</u> 35 – j. angielski	48
Sumaryczny Impact Factor IF	3,608	20,824	24,432
Projekty badawcze międzynarodowe	1	5 <u>W tym:</u> 2 – H2020	6
Projekty badawcze krajowe	7	9 <u>W tym:</u> <u>1 jako kierownik</u>	16
Recenzje projektów	0	3 <u>W tym:</u> <u>1 międzynarodowy</u>	3
Recenzje do czasopism	1	60	61

Tabela 2. Podsumowanie wszystkich osiągnięć

Osiągnięcie	Wartość
Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR)	9
Zrealizowane oryginalne osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne i technologiczne	2
Udzielone patenty międzynarodowe i krajowe	BRAK
Wynalazki oraz wzory użytkowe i przemysłowe, które uzyskały ochronę i zostały wystawione na międzynarodowych lub krajowych wystawach lub targach	BRAK
Monografie, publikacje naukowe w czasopismach międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazie, o której mowa w pkt II A	47
Opracowania zbiorowe, katalogi zbiorów, dokumentacja prac badawczych, ekspertyz, utworów i dzieł artystycznych	55
Sumaryczny <i>impact factor</i> według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania	24,432
Liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science (WoS): wszystkich/bez samocytowań	60/48
Indeks Hirscha według bazy Web of Science (WoS)	5
Kierowanie międzynarodowymi i krajowymi projektami badawczymi oraz udział w takich projektach	19
Międzynarodowe i krajowe nagrody za działalność naukową albo artystyczną	5
Wygłoszenie referatów na międzynarodowych i krajowych konferencjach tematycznych	29
Uczestnictwo w programach europejskich oraz innych programach międzynarodowych i krajowych	8
Aktywny udział w międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych	48
Udział w komitetach organizacyjnych międzynarodowych i krajowych konferencji naukowych	2
Otrzymane nagrody i wyróżnienia inne niż wymienione w pkt II K	3
Udział w konsorcjach i sieciach badawczych	7
Kierowanie projektami realizowanymi we współpracy z naukowcami z innych ośrodków polskich i zagranicznych oraz we współpracy z przedsiębiorcami, innymi niż wymienione w pkt II J	BRAK
Udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism	BRAK
Członkostwo w międzynarodowych i krajowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych	3
Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki lub sztuki	3
Opieka naukowa nad studentami i lekarzami w toku specjalizacji	4
Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze opiekuna naukowego lub promotora pomocniczego	BRAK
Stáže w zagranicznych i krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich	4
Wykonane ekspertyzy lub inne opracowania na zamówienie	BRAK
Udział w zespołach eksperckich i konkursowych	2
Recenzowanie projektów międzynarodowych i krajowych	3
Recenzowanie publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych	61
Inne osiągnięcia, nie wymienione w pkt III A – III P	8

Podpis

Katarzyna Majewska