

Załącznik 2

Autoreferat zawierający opis dorobku i osiągnięć naukowych
w języku polskim

Autoreferat

Andrzej Młyniec

**Analizy wieloskalowe jako narzędzie do
przewidywania trwałości i funkcjonalności
komponentów w trakcie eksploatacji technicznych
środków transportu**

Katedra Robotyki i Mechatroniki
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH

Kraków 2016

SPIS TREŚCI

1. Informacje podstawowe
 - 1.1. Imię i Nazwisko
 - 1.2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej
 - 1.3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych
 - 1.4. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach badawczo-rozwojowych
 - 1.5. Wskazanie osiągnięcia naukowego wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14.03.2003 o stopniach naukowych i tytule naukowym
2. Osiągnięcia naukowe stanowiące podstawę habilitacji
 - 2.1. Wykaz publikacji będących podstawą habilitacji
 - 2.2. Prezentacja wyników i streszczenie prac stanowiących podstawę habilitacji
 - 2.2.1. Wstęp do prac stanowiących podstawę habilitacji
 - 2.2.2. Szczegółowe omówienie celu naukowego poszczególnych prac oraz osiągniętych wyników
3. Pozostałe osiągnięcia naukowe
 - 3.1. Działalność naukowa oraz wykaz publikacji przed uzyskaniem stopnia doktora
 - 3.2. Działalność naukowa oraz wykaz publikacji, innych niż stanowiące podstawę habilitacji, po uzyskaniu stopnia doktora
 - 3.2.1. Wykaz publikacji innych niż przedstawione w punkcie 2.1 oraz 3.1.
 - 3.3. Prowadzenie oraz udział w projektach badawczych i badawczo-rozwojowych
 - 3.4. Udział w szkoleniach, konferencjach krajowych i międzynarodowych, w tym spis artykułów konferencyjnych
 - 3.4.1. Spis artykułów konferencyjnych
 - 3.4.2. Udział w krajowych i międzynarodowych konferencjach
 - 3.4.3. Przebyte szkolenia i kursy
 - 3.5. Recenzje prac naukowych
 - 3.6. Staże naukowe krajowe i zagraniczne
 - 3.7. Współpraca naukowa krajowa i zagraniczna
 - 3.7.1. Współpraca krajowa
 - 3.7.2. Współpraca zagraniczna
 - 3.7.3. Przynależność do organizacji naukowych
4. Nagrody i wyróżnienia
5. Dalsze plany badawcze

1. INFORMACJE PODSTAWOWE

1.1. Imię i Nazwisko

Andrzej Młyniec

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

- o Dyplom ukończenia Studium Doskonalenia Dydaktycznego na Wydziale Humanistycznym Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie 2013 r.
- o Dyplom doktora nauk technicznych – Katedra Robotyki i Mechatroniki Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, specjalność: mechanika kompozytów, Kraków 2011 r. Tytuł rozprawy doktorskiej: „Analiza właściwości kompozytowych tworzyw sztucznych w aspekcie ich trwałości“.
- o Dyplom magistra inżyniera – Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, specjalność: Automatyka i Metrologia, Kraków 2004 r.
- o Dyplom technika elektronika – specjalizacja: Elektroniczne Maszyny i Systemy Cyfrowe, Zespół Szkół Mechaniczno-Elektrycznych w Tarnowie 1999 r.

1.3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- o 10.2012 – obecnie, adiunkt w Katedrze Robotyki i Mechatroniki **Akademii Górniczo-Hutniczej** w Krakowie
- o 10.2011 – 09.2012 asystent w Katedrze Robotyki i Mechatroniki **Akademii Górniczo-Hutniczej** w Krakowie
- o 10.2010 – 09.2011 starszy referent techniczny w Katedrze Robotyki i Mechatroniki **Akademii Górniczo-Hutniczej** w Krakowie

1.4. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach badawczo-rozwojowych

- o 04.2006 – obecnie **Centrum Techniczne Delphi Poland S.A.** w Krakowie. Stanowiska kolejno: Inżynier produktu, Inżynier ds. symulacji numerycznych, Inżynier d.s. symulacji numerycznych w zaawansowanych projektach rozwojowych, Koordynator współpracy z Uczelniami.

1.5. Wskazanie osiągnięcia naukowego wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14.03.2003 o stopniach naukowych i tytule naukowym

Podstawę niniejszej habilitacji stanowi cykl publikacji powiązanych tematycznie przedstawionych jako osiągnięcie naukowe w punkcie 2.1. (P-1 – P-9) o wspólnym tytule:

„Analizy wieloskalowe jako narzędzie do przewidywania trwałości i funkcjonalności komponentów w trakcie eksploatacji technicznych środków transportu”

2. OSIĄGNIĘCIA NAUKOWE STANOWIĄCE PODSTAWĘ HABILITACJI

2.1. Wykaz publikacji będących podstawą habilitacji

P-1. **Młyniec A (75%)**, Morawska-Chochol A, Kloch K, Uhl T (2014). Phenomenological and chemomechanical modeling of the thermomechanical stability of liquid silicone rubbers. *Polymer Degradation and Stability*, 99, 290–297.

(Elsevier; **IF₂₀₁₄ = 3,163**; **MNiSW₂₀₁₄ = 35 pkt**)

P-2. **Młyniec A (50%)**, Ambroziński Ł, Paćko P, Bednarz J, Staszewski WJ, Uhl T, (2014) Adaptive de-icing system – numerical simulations and laboratory experimental validation, *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, 46, 4: 997–1008.

(IOS Press; **IF₂₀₁₄ = 0,815**; **MNiSW₂₀₁₄ = 15 pkt**)

P-3. **Młyniec A (70%)**, Korta J, Kudelski R, Uhl, T (2014). The influence of the laminate thickness, stacking sequence and thermal aging on the static and dynamic behavior of carbon/epoxy composites. *Composite Structures*, 118, 208–216.

(Elsevier; **IF₂₀₁₄ = 3,318**; **MNiSW₂₀₁₄ = 40 pkt**)

P-4. **Młyniec A (80%)**, Korta J, Uhl T (2016). Structurally based constitutive model of epoxy adhesives incorporating the influence of post-curing and thermolysis. *Composites Part B: Engineering*. 86, 160-167.

(Elsevier; **IF₂₀₁₄ = 2,983**; **MNiSW₂₀₁₅ = 40 pkt**)

- P-5. **Mlyniec A (70%)**, Mazur L, Tomaszewski A K, Uhl T (2015). Viscoelasticity and failure of collagen nanofibrils: 3D Coarse-Grained simulation studies. *Soft Materials*. 13(1), 47-58.
(Taylor & Francis; **IF₂₀₁₄ = 1,244**; MNiSW₂₀₁₅ = **20 pkt**)
- P-6. **Mlyniec A (70%)**, Tomaszewski A K, Spiesz E, Uhl T (2015). Molecular-based nonlinear viscoelastic chemomechanical model incorporating thermal denaturation kinetics of collagen fibrous biomaterials. *Polymer Degradation and Stability*. 119, 87-95.
(Elsevier; **IF₂₀₁₄ = 3,163**; MNiSW₂₀₁₅ = **35 pkt**)
- P-7. Ekiert M, **Mlyniec A (40%)**, Uhl T (2015). Zastosowanie reaktywnego pola siłowego ReaxFF w badaniu degradacji materiałów polimerowych, Rozdział w monografii, Zastosowania Technologii Informatycznych Teoria i Praktyka (MNiSW₂₀₁₄ = **4 pkt**)
- P-8. Ekiert M, **Mlyniec A (40%)**, Uhl T (2015). The influence of degradation on the viscosity and molecular mass of poly(lactide acid) biopolymer, *Diagnostics* 16, 4, 63-70 (MNiSW₂₀₁₅ = **11 pkt**)
- P-9. **Mlyniec A (60%)**, Ekiert M, Morawska-Chochol A, Uhl T (2016). Influence of density and environmental factors on decomposition kinetics of amorphous polylactide - Reactive molecular dynamics studies. *Journal of Molecular Graphics and Modelling*; in press, DOI: 10.1016/j.jmgm.2016.04.010,
(Elsevier, **IF₂₀₁₄ = 1,722**; MNiSW₂₀₁₅ = **25 pkt**).

Przedstawione powyżej publikacje (P-1 – P-9) będące podstawą habilitacji stanowią:

- o sumę Impact Factor równą **16,408**
- o sumę punktów MNiSW równą **225**

2.2. Prezentacja wyników i streszczenie prac stanowiących podstawę habilitacji

2.2.1. Wstęp do prac stanowiących podstawę habilitacji oraz cel badań habilitacyjnych

Rozwój środków transportu, wciąż rosnące wymagania dotyczące niezawodności pojazdów oraz ograniczenia zanieczyszczenia środowiska napędzają rozwój nowych metod obliczeniowych, służących do oceny niezawodności i trwałości komponentów oraz nowych materiałów inżynierskich, w tym lekkich i łatwych w formowaniu materiałów kompozytowych. Efektem tego jest rosnące zapotrzebowanie nie tylko na nowe metody przewidywania funkcjonalności komponentów ale również długoterminowej trwałości tych komponentów. Funkcjonalność komponentów w przemyśle samochodowym zależy od stabilności właściwości mechanicznych takich jak m.in. sztywności czy tłumienia. Komponenty pracujące w podwyższonych temperaturach, podwyższonej wilgotności oraz poddane oddziaływaniu różnych substancji chemicznych są szczególnie narażone na zmiany właściwości mechanicznych które mogą spowodować częściową lub całkowitą utratę funkcjonalności a tym samym zmianę właściwości eksploatacyjnych środków transportu. Zmiany właściwości mechanicznych wywoływane są przez procesy zachodzące na różnych skalach przestrzennych. W związku z tym, do przewidywania starzenia się komponentów konieczne jest opracowanie nowych wieloskalowych metod analiz wytrzymałościowych uwzględniających zarówno zjawiska występujące w skali makroskopowej jak i zjawiska występujące w skali mikroskopowej oraz molekularnej. W ramach prowadzonych badań podjęto temat przewidywania trwałości oraz zmian funkcjonalności komponentów w przemyśle technicznych środków transportu. Zjawiska te analizowane były na przykładach z przemysłu samochodowego oraz lotniczego. W przypadku komponentów samochodowych utworzone zostały modele wieloskalowe uwzględniające zmiany właściwości mechanicznych materiałów inżynierskich. W przypadku struktur lotniczych, modele opisujące zarówno zjawiska falowe, zjawisko piezoelektryczne oraz mechanikę pękania lodu w skali makroskopowej jak i zjawisko dekohezji na granicy płyta-lód, posłużyły do oceny zmiany odpowiedzi dynamicznej układu wynikającej z oblodzenia struktury co ma istotny związek z bezpieczeństwem w transporcie.

W początkowej fazie badań we współpracy z centrum badawczo-rozwojowym Delphi Poland S.A. w Krakowie, przeprowadziłem badania eksperymentalne oraz utworzyłem

wieloskalowe chemomechaniczne modele konstytutywne materiału silikonowego używanego powszechnie w przemyśle samochodowym do produkcji wszelkiego rodzaju uszczelnień oraz wibroizolatorów. Motywacją do podjęcia tego tematu był brak metod przewidywania zachowania mechanicznego materiałów polimerowych poddanych działaniu podwyższonej temperatury oraz obciążenia zewnętrznego, koniecznych do analizy trwałości produkowanych komponentów. Oddziaływanie powyższych czynników środowiskowych prowadzi do nieodwracalnych zmian strukturalnych wynikających z reakcji wtórnego sieciowania materiału zachodzącego w materiałach podczas eksploatacji w podwyższonych temperaturach, a ich uwzględnienie jest kluczowe dla oceny trwałości projektowanych komponentów i tym samym niezawodności pojazdów.

Chronologicznie kolejnym zagadnieniem podjętym przeze mnie po nadaniu stopnia doktora było opracowanie metod wykrywania i usuwania lodu ze struktur aluminiowych. Przeprowadzone badania symulacyjne oraz walidacja eksperymentalna pozwoliły na opracowanie nowego adaptacyjnego systemu wykorzystującego fale ultradźwiękowe do wykrywania i usuwania lodu ze skrzydeł samolotu. Modele wykorzystane w opisanych badaniach uwzględniały równania konstytutywne opisujące sprężyste zachowanie się płyty aluminiowej i lodu, mechanikę pęknięcia kruchej warstwy lodu oraz modele kohezyjne opisujące zjawiska na granicy lód-aluminium. Wyniki powyższej pracy zostaną szczegółowo opisane w kolejnym rozdziale autoreferatu.

Kolejnym zagadnieniem podjętym we współpracy z przemysłem technicznych środków transportu były badania dotyczące trwałości i funkcjonalności komponentów wykonanych z nowoczesnych materiałów kompozytowych łączonych za pomocą klejów epoksydowych. Analizy te obejmują badania eksperymentalne struktur kompozytowych pracujących w podwyższonych temperaturach oraz badania eksperymentalne i symulacyjne połączeń klejonych, poddanych długotrwałemu oddziaływaniu podwyższonej temperatury występującej powszechnie w trakcie eksploatacji pojazdów samochodowych. W ramach pierwszej części projektu podjęty został temat wpływu: grubości laminatów, ułożenia warstw kompozytu oraz starzenia temperaturowego któremu poddane są komponenty pracujące w podwyższonych temperaturach, na ich właściwości statyczne i dynamiczne. Po wykonaniu szeregu badań kompozytów węglowych, wykonano badania wytrzymałościowe połączeń klejonych struktur kompozytowych poddanych uprzednio przyspieszonemu starzeniu przy użyciu cykli temperaturowo-wilgotnościowych aby następnie zaproponować wieloskalowy chemomechaniczny model konstytutywny materiału epoksydowego pracującego w podwyższonych temperaturach. Opracowanie tego modelu, uwzględniającego procesy

molekularne zachodzące w materiale, umożliwia przewidywanie trwałości tych struktur w trakcie eksploatacji w niekorzystnych warunkach środowiskowych jakie często mają miejsce w procesie eksploatacji osprzętu silników samochodowych czy też lotniczych w czasie startu i lądowania.

Dalsze badania dotyczące trwałości oraz zmian funkcjonalności komponentów z przemysłu transportowego poświęcone były włóknom naturalnym stanowiącym alternatywę dla tradycyjnych włókien wzmacniających, oraz biodegradowalnym osnowom polimerowym na bazie polilaktydu. Najnowsze wskazania oraz regulacje prawne dotyczące biodegradowalności produktów po ich „cyklu życia” przemysłowego, sprawiają iż producenci komponentów samochodowych zwracają się w kierunku biotworzyw. Zastosowanie polimerów biodegradowalnych oraz polimerowych włókien naturalnych niesie za sobą konieczność przewidywania trwałości komponentów wykonanych z tych materiałów w warunkach eksploatacyjnych przy użyciu metod wielkoskalowych jeszcze przed fazą badań eksperymentalnych. Ma to na celu nie tylko oszacowanie trwałości danego rozwiązania konstrukcyjnego ale także analizę wpływu warunków eksploatacji na proces starzenia się biotworzyw i utraty ich właściwości mechanicznych jeszcze przed rozpoczęciem procesu projektowania komponentu. Zagadnienie to jest szczególnie istotne gdyż temperatury eksploatacyjne w pojazdach samochodowych są bliskie temperaturze zeszklenia biotworzyw czy denaturacji termicznej włókien naturalnych. Badania trwałości komponentów wykonanych z biomateriałów rozpocząłem od utworzenia wielkoskalowych modeli włókien naturalnych, które posłużyły do oceny wpływu wody na ich właściwości mechaniczne które następnie wykorzystane zostały w modelu konstytutywnym materiału uwzględniającym stabilność jego właściwości podczas pracy w podwyższonych temperaturach. Do badań symulacyjnych nad trwałością komponentów wykonanych z włókien naturalnych oraz tworzyw biodegradowalnych, wykorzystano wieloskalowe metody modelowania wychodząc od metody dynamiki molekularnej, która pozwala na uwzględnienie procesów zachodzących w skali molekularnej materiału polimerowego.

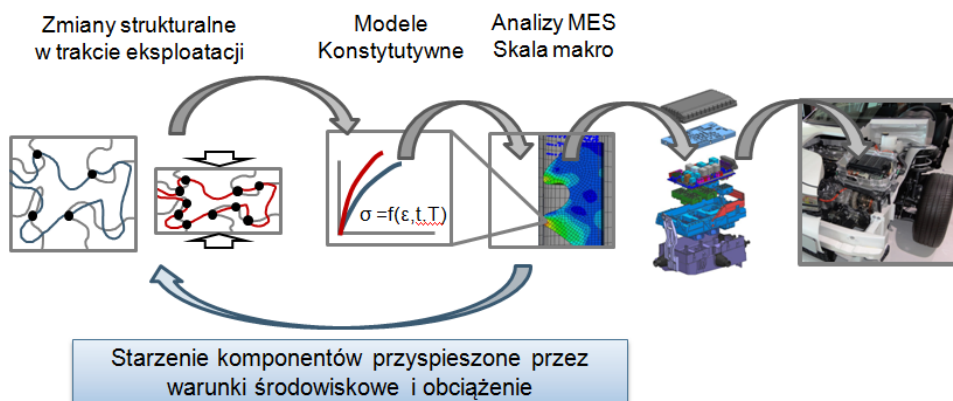
Prace opisane szczegółowo poniżej, stanowiące podstawę do oceny dorobku w procesie habilitacyjnym, są owocem nieustającej współpracy z przemysłem technicznych środków transportu i stanowią odpowiedź na rosnące zapotrzebowanie na badania eksperymentalne oraz symulacyjne trwałości oraz funkcjonalności komponentów w trakcie ich eksploatacji.

2.2.2. Szczegółowe omówienie celu naukowego poszczególnych prac oraz osiągniętych wyników

Współcześnie projektowane komponenty w przemyśle produkcji środków transportu po procesie wirtualnego prototypowania oraz wykonaniu pierwszych komponentów produkcyjnych poddawane są procesowi walidacji. Wymagania stawiane komponentom zależą od ich funkcji i umiejscowienia w pojeździe. Wymagania te są szczegółowo określone przez normy producentów pojazdów. Komponenty pracujące w komorze silnika, oprócz testów funkcjonalnych poddawane są wielorakim testom mechanicznym i środowiskowym zaczynając od prostych statycznych testów wytrzymałościowych poprzez testy dynamiczne odporności na wibracje oraz obciążenia udarowe aż do testów starzenia środowiskowego. Starzenie komponentów samochodowych symuluje się za pomocą starzenia w podwyższonej temperaturze oraz za pomocą cykli temperaturowo-wilgotnościowych. Tworzywa sztuczne i materiały kompozytowe, zwłaszcza te bazujące na polimerach z grupy poliestrów (np. politereftalan butylenu - PBT) są szczególnie podatne na hydrolizę która zachodzi gdy materiał poddawany jest oddziaływaniu temperatury przekraczającej jego temperaturę zeszklenia (w przypadku materiału na bazie PBT: około 70 °C) w obecności wody lub podwyższonej wilgotności. Dla tego typu materiałów najczęściej stosuje się testy temperaturowo-wilgotnościowe. Z kolei materiały nie wchodzące w reakcje chemiczne z wodą, jak np. materiały silikonowe, używane na uszczelki czy izolatory, poddawane są testom długotrwałej odporności na działanie wysokich temperatur. Najczęściej stosowanym testem temperaturowym stosowanym w procesie walidacji komponentów samochodowych jest test w komorze klimatycznej trwający 500 h w temperaturze 175°C. Zastosowanie temperatury wyższej niż przeciętna temperatura pracy komponentów w komorze silnika, pozwala na oszacowanie trwałości komponentów w okresie czasu znacznie przekraczającym okresy gwarancyjne komponentów samochodowych i jest powszechnie stosowaną praktyką przemysłową. Komponenty poddane takim testom muszą nie tylko nie wykazywać zewnętrznych oznak uszkodzenia ale przede wszystkim zachowywać pełną funkcjonalność przez cały „czas życia produktu”. W publikacji [P-1] podjęto temat przewidywania właściwości komponentów samochodowych wykonanych z ciekłego silikonu (Liquid Silicon Rubber-LSR) poddanych przyspieszonemu starzeniu przy użyciu starzenia wysokotemperaturowego. Do badań wybrano materiał ELASTOSIL LR3842/50 A/B z firmy Wacker-Chemie który jest używany do produkcji metodą wtrysku elementów uszczelniających oraz tłumiących drgania. Podczas procesu wtrysku, ciekły silikon ulega

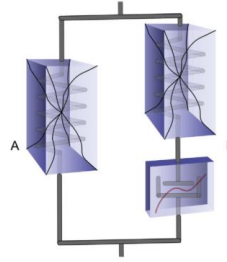
sieciowaniu od którego zależą właściwości mechaniczne wytwarzanych wyprasek. Jednak w związku z krótkim czasem cyklu produkcyjnego, materiał nie ulega w trakcie procesu pełnemu usieciowaniu, co wpływa na późniejsze zachowanie się gotowego wyrobu w podwyższonych temperaturach. Tak wytworzony komponent silikonowy, poddany działaniu podwyższonej temperatury w trakcie walidacji gotowych wyrobów, ulega późniejszemu sieciowaniu wtórnemu (post-curing). W rozpatrywanych komponentach, elementy silikonowe poddane są dodatkowo stałemu obciążeniu co wpływa na przebieg procesu sieciowania wtórnego oraz na finalne właściwości mechaniczne wyrobu. W ramach tego projektu przeprowadzony został szereg badań wytrzymałościowych próbek silikonowych starzonych pod obciążeniem w temperaturach 23, 125 i 175°C na podstawie których opracowałem wieloskalowe modele konstytutywne materiałów silikonowych.

Celem przedstawionych w artykule [P-1] badań, było opracowanie wieloskalowych modeli konstytutywnych materiału silikonowego poddanego ścisłaniu które służą do analiz trwałości komponentów silikonowych pracujących w podwyższonych temperaturach. Opracowane modele uwzględniają nieliniową lepkosprężystość dla dużych odkształceń oraz kinetykę reakcji sieciowania silikonu co pozwala na analizę wpływu warunków eksploatacyjnych na funkcjonalność komponentów silikonowych pracujących w podwyższonych temperaturach (Rys.1).



Rys.1. Schemat modeli wieloskalowych używanych do analizy trwałości i funkcjonalności komponentów samochodowych w trakcie eksploatacji

Punktem wyjścia do utworzenia modeli wieloskalowych była teoria lepkosprężystości materiałów polimerowych. Wykorzystany model składa się z dwóch równolegle połączonych modeli: hipersprężystego modelu Arruda-Boyce (A) z szeregowym zestawieniem modelu Arruda-Boyce oraz modelu nieliniowej lepkości (B) (Rys.2).



Rys.2 . Reologiczna reprezentacja modelu Bergstrom-Boyce [P-1].

Model ten, znany w literaturze jako model Bergström-Boyce, umożliwia uwzględnienie nie tylko dużych odkształceń w zakresie nieliniowym ale również zjawiska rozpraszania energii podczas odkształceń cyklicznych, co było jednym z przedmiotów naszych badań. W celu rozszerzenia modelu o zjawiska zachodzące na poziomie molekularnym, wykorzystano zależność wywodzącą się z mechaniki statystycznej w której moduł Kirchhoffa jest proporcjonalny do stopnia usieciowania polimeru. Stopień usieciowania struktur polimerowych, nie jest jednak wartością stałą w trakcie eksploatacji. Zjawisko sieciowania wtórnego silikonów zachodzącego w podwyższonej temperaturze powoduje wzrost modułu sprężystości poprzecznej, a co za tym idzie, sztywności modelu hipersprężystego. Kinetyka procesu sieciowania opisana została za pomocą modelu Arrheniusa który opisuje zależność szybkości reakcji od temperatury. Równanie Arrheniusa zostało rozszerzone o wpływ deformacji próbki na szybkość reakcji, wynikający z faktu iż ściskanie materiału prowadzi do zmniejszenia objętości próbki oraz dostarczenia energii do systemu, a co za tym idzie zwiększenie prawdopodobieństwa zajścia reakcji chemicznej. W celu uwzględnienia wpływu stopnia usieciowania na właściwości tłumiące materiału, uzależniono współczynnik opisujący odporność na płynięcie (flow resistance) od lepkości i obciążenia zewnętrznego. Zastosowanie opracowanego modelu wielkoskalowego umożliwia przewidywanie zmian sztywności komponentów wykonanych z materiałów silikonowych oraz ich właściwości tłumiących, wynikających ze starzenia komponentów pod obciążeniem.

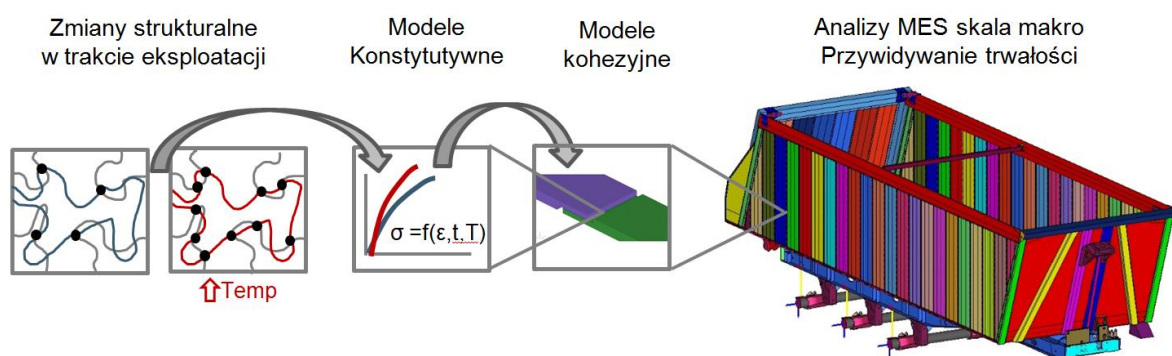
Opisane badania wykonane były we współpracy z Centrum Technicznym Delphi w Krakowie w ramach projektów: “Influence of the surface quality, seal compression and component aging on long term seal tightness” [Projekt nr.: 12d] oraz “Connector sealing effectiveness simulation” [Projekt nr 12h]. Opracowane modele wieloskalowe służą do analiz wytrzymałościowych komponentów wykonanych z materiału LSR i umożliwiają przewidywanie zachowania się komponentów w trakcie procesu walidacji.

Kolejnym chronologicznie tematem badawczym podejmującym zagadnienie funkcjonalności komponentów w przemyśle technicznych środków transportu są badania symulacyjne oraz eksperymentalne metod wykrywania oraz usuwania oblodzenia struktur aluminiowych opisane w artykule [P-2]. Celem pracy było opracowanie metody wykrywania oraz usuwania oblodzenia struktur aluminiowych przy użyciu fal ultradźwiękowych. Opracowana metoda wykorzystująca fale Lamba może mieć zastosowanie w przemyśle lotniczym, gdzie pojawienie się oblodzenia np. na powierzchni sterowych skrzydeł może stanowić duże zagrożenie dla bezpieczeństwa lotu. Modele numeryczne wykorzystane w trakcie badań uwzględniały równania konstytutywne opisujące elektro-mechanikę przetworników piezoelektrycznych, sprężyste zachowanie się płyty aluminiowej i lodu, mechanikę pęknięcia kruchego warstwy lodu oraz modele kohezyjne opisujące zjawiska w skali niższej: na granicy płyta aluminiowa-lód. Równania opisujące zjawiska propagacji fal oraz proces delaminacji wraz z mechaniką pęknięcia rozwiązywane były przy użyciu metody całkowania jawnego (solver explicit), podczas gdy równania opisujące zjawisko piezoelektryczne rozwiązywane były za pomocą całkowania niejawnego (solver implicit znany w oprogramowaniu Abaqus jako „Standard”). Zastosowanie dwóch metod całkowania wymagało zdefiniowania ko-symulacji oraz sprzężenia przemieszczeniowych warunków brzegowych na granicy ośrodków. Wyniki badań symulacyjnych pokazały iż pojawienie się warstwy lodu owocuje zmianą czasu przelotu fali (ang. Time Of Flight – TOF) a w przypadku częściowego oblodzenia struktury – pojawieniem się fal odbitych wynikających z różnicy impedancji akustycznej płyty aluminiowej oraz lodu. Badania symulacyjne procesu odladzania pokazały iż możliwe jest wygenerowanie fal płytowych Lamba powodujących zniszczenie interface’u lód-płyta aluminiowa, jednak ograniczeniem może być zakres oddziaływania co postanowiliśmy sprawdzić w trakcie badań eksperymentalnych.

Badania eksperymentalne potwierdziły rozważania teoretyczne oraz wyniki symulacji udowadniając iż możliwe jest wykrycie oblodzenia struktury. Do oceny oblodzenia służą dwa wskaźniki: amplituda postaci asymetrycznej A_0 oraz czas przelotu fali symetrycznej S_0 . Dalsze badania, skoncentrowane na procesie odladzania za pomocą fal prowadzonych generujących naprężenia ścinające potwierdziły możliwość zastosowania tej metody do odladzania struktur aluminiowych. Istotnym ograniczeniem jest jednak fakt iż pomimo delaminacji na granicy lód-płyta aluminiowa, do usunięcia lodu potrzebny jest dodatkowy impuls pozwalający na skruszenie warstwy lodu. Zaobserwowano ponadto iż skuteczność odladzania zależy również od odległości od przetwornika oraz grubości lodu. Grubsze warstwy lodu szybciej ulegają oddzieleniu od płyty aluminiowej niż warstwy cienkie.

Odlodzenie całej struktury wymagać będzie zastosowania układu przetworników piezoelektrycznych ułożonych w odstępach zapewniających odlodzenie struktury na całej powierzchni. Rozwinięciem tego projektu, może być przyprowadzenie badań symulacyjnych (przy użyciu metod wielkoskalowych m.in. dynamiki molekularnej) wpływu różnych pokryć płyty aluminiowej oraz chropowatości na przebieg procesu delaminacji. Wykorzystanie metod modelowania wielkoskalowego od skali molekularnej do makroskopowej, pozwoli na optymalizację procesu obróbki powierzchniowej pokrycia skrzydeł na ich funkcjonalność w zmiennych warunkach środowiskowych.

Celem prac [P-3] oraz [P-4] była analiza wpływu starzenia temperaturowego na właściwości wytrzymałościowe klejonych komponentów samochodowych wykonanych z kompozytów węglowo-epoksydowych oraz opracowanie modeli wieloskalowych służących do przewidywania sztywności klejonych struktur kompozytowych używanych np. w produkcji naczip ciągników siodłowych (Rys.3).



Rys.3. Schemat modeli wieloskalowych używanych do analizy starzenia klejonych struktur kompozytowych.

Wysoko obciążone komponenty samochodowe, narażone są na działanie niekorzystnych czynników środowiskowych. Komponenty wykonane z kompozytów węglowo-epoksydowych, w związku z tym iż w praktyce przemysłowej zabezpieczane są przed oddziaływaniem wilgoci oraz promieniowania UV, narażone są głównie na oddziaływanie wysokich temperatur. W celu oceny trwałości i stabilności takich struktur, w praktyce przemysłowej stosuje się, podobnie jak w przypadku wspomnianych powyżej materiałów silikonowych, testy przyspieszonego starzenia w podwyższonych temperaturach. W opisywanych doświadczeniach wykorzystano starzenie laminatów węglowo-epoksydowych w temperaturze 175°C trwające 250 oraz 500 godzin. Starzeniu poddano laminaty o różnej grubości oraz różnym ułożeniu włókien wzmacniających. Do analizy

wpływu starzenia na właściwości mechaniczne materiału wykorzystano badania statyczne, badania dynamiczne (Dynamic Mechanical Analysis – DMA) oraz analizy dynamiczne struktury kompozytowej metodą laserowej wibrometrii dopplerowskiej (Laser Doppler Vibrometry – LDV). Wyniki badań statycznych kompozytów jednokierunkowych pokazały iż proces starzenia w temperaturze 175°C przebiega dwuetapowo. Początkowo obserwuje się wzrost wytrzymałości i modułu sprężystości próbek ze wzdluznym ulozeniem wlokien wynikający z polepszenia adhezji pomiędzy włóknami i osnową, aby po 500 godzinach zaobserwować znaczący spadek właściwości wytrzymałościowych związany z oksydacją osnowy oraz osłabieniem adhezji na granicy włókno-osnowa. Badania kompozytów z poprzecznym ulozeniem wlokien wykazały znaczący spadek modułów sprężystości oraz wytrzymałości. Podobny efekt zaobserwowano w przypadku próbek ze zbalansowanym i symetrycznym ulozeniem wlokien. Świadczy to o dominującej roli osnowy polimerowej w długoterminowej wytrzymałości rzeczywistych komponentów w produkcji których wykorzystuje się najczęściej zbalansowany i symetryczny - pozornie (quasi) izotropowy układ warstw. Porównanie wyników badań dynamicznych przeprowadzonych przy użyciu dwóch metod z wynikami badań statycznych pozwoliło wysunąć wnioski iż na stabilność tłumienia struktur kompozytowych epoksydowo-węglowych największy wpływ ma układ warstw kompozytu. Na uwagę zasługuje fakt iż przeprowadzone eksperymenty potwierdzają dominującą rolę adhezji pomiędzy włóknami a osnową w kompozytach o jednokierunkowym układzie wlokien wzmacniających podczas gdy za stabilność właściwości statycznych i dynamicznych struktur kompozytowych zbalansowanych i symetrycznych odpowiadają właściwości osnowy epoksydowej które w pewnym stopniu możemy modyfikować poprzez zmianę parametrów procesu wytwarzania kompozytu.

Przeprowadzona badania pozwoliły na przejście do drugiego etapu badań trwałości struktur kompozytowych opisanych w pracy [P-4] w ramach którego opracowałem model wieloskalowy starzenia połączeń klejonych (Rys.3). Kompozyty węglowo-epoksydowe charakteryzują się dużymi modułami sprężystości a co za tym idzie zazwyczaj bardzo małymi odkształceniami podczas eksploatacji struktur przenoszących obciążenia. Użycie połączeń klejonych, jako alternatywy dla tradycyjnych połączeń rozłącznych, niesie za sobą konieczność nie tylko przewidywania ich długoterminowej wytrzymałości ale również zmian sztywności połączenia, które w przypadku dużej liczby takich połączeń, może doprowadzić do utraty funkcjonalności spowodowanej nadmiernym odkształceniem struktury. W ramach tego projektu, opracowano metodologię przewidywania zmian zachowania mechanicznego połączeń klejonych wynikających z dwóch równoległe działających procesów zachodzących

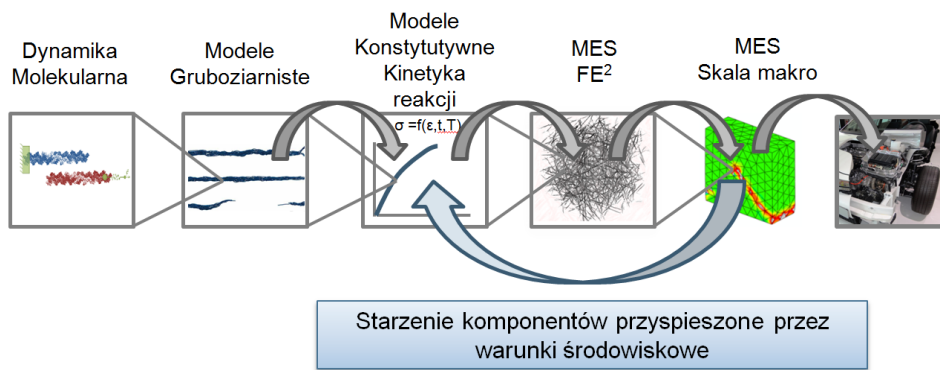
w materiale: sieciowania wtórnego (post-curing) oraz termolizy. Idea zaprezentowana w artykule [P-1], utworzenia modeli wielkoskalowych wiążących zasady mechaniki statystycznej z kinetyką reakcji chemicznych, została rozszerzona o wpływ drugiego procesu: rozkładu termicznego, który owocuje zmniejszeniem stopnia usieciowania materiału w czasie degradacji.

Celem prac opisanych w publikacji [P-4] było opracowanie modelu wielkoskalowego połączenia klejonego pozwalającego na przewidywanie zachowania mechanicznego połączenia poddanego dowolnemu cyklowi starzeniowemu używanemu w przemyśle środków transportu. Model konstytutywny utworzony został na podstawie modelu 8-łańcuchowego Arruda-Boyce (ang. 8-chain Arruda-Boyce model) w którym na efektywny moduł sprężystości poprzecznej wpływają: moduł Kirchhoffa wynikający z sieciowania wtórnego epoksydu oraz spadek modułu sprężystości poprzecznej wynikający ze zjawiska degradacji termicznej. Ponadto, model konstytutywny uzupełniono o wpływ podwyższonej temperatury na chwilowe właściwości mechaniczne połączenia klejonego. W trakcie badań rozważano wpływ cykli temperaturowo-wilgotnościowych wg normy USCAR w czasie których temperatura waha się w zakresie -40 , do $+85$ lub $+175^{\circ}\text{C}$. Z opracowanego modelu wynika iż klej epoksydowy poddany działaniu temperatury 85°C ulega sieciowaniu wtórnemu uzyskując pełne usieciowanie w czasie nie przekraczającym 5 godzin. O ile zjawisko sieciowania mogło zostać opisane za pomocą wzorów zaproponowanych w pracy P-1 o tyle zjawisko termolizy wymagało opracowania nowych modeli. Związane jest to z obserwacją wynikająca z badań eksperymentalnych iż proces rozkładu termicznego polimeru epoksydowego, jest procesem autokatalitycznym. Świadczy o tym spadek energii aktywacji w czasie trwania reakcji degradacji. Zmiana energii aktywacji, głównego parametru modelu Arrheniusa opisującego kinetykę reakcji chemicznej, jest przedmiotem moich dalszych prac badawczych opisanych w późniejszych artykułach. Przewidywania sztywności połączenia klejonego przy użyciu opracowanego modelu zostały porównane z wynikami badań eksperymentalnych ścinania połączeń klejonych. Wysoka zgodność wyników eksperymentalnych z rezultatami symulacji numerycznych potwierdziły iż opracowane modele mogą z powodzeniem być używane do przewidywania trwałości eksploatacyjnej klejonych struktur kompozytowych.

Opisane badania wykonywane były w ramach projektu IBS – "Innowacyjna budowa skrzyń naczep samowładowczych" [Projekt nr.: 6] finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Opracowane modele wieloskalowe klejów epoksydowych służą do przewidywania zmian właściwości połączeń klejonych oraz funkcjonalności komponentów w trakcie eksploatacji w podwyższonych temperaturach.

Alternatywą dla powszechnie stosowanych w przemyśle tworzyw syntetycznych są neutralne dla środowiska naturalnego biotworzywa. Komponenty wykonane z materiałów biodegradowalnych, po wycofaniu z eksploatacji w krótkim czasie będą ulegać rozkładowi do substancji występujących w środowisku naturalnym ograniczając tym samym zanieczyszczenie środowiska. Wiodący producenci części oraz koncerny samochodowe kładą obecnie olbrzymi nacisk na zastosowanie i rozwój nowych materiałów mających na celu ograniczenie nie tylko masy pojazdów ale także obciążenia środowiska wynikającego z kłopotliwego recyklingu komponentów wykonanych z tworzyw sztucznych. Owocuje to wzmocnionymi pracami nad przewidywaniem trwałości i funkcjonalności komponentów wykonanych z biodegradowalnych polimerów wzmocnianych włóknami naturalnymi. Kolejne prace przedstawione w cyklu publikacji habilitacyjnych dotyczą trwałości włókien naturalnych oraz polilaktydu - polimeru biodegradowalnego stanowiącego najbardziej obiecującą alternatywę dla tradycyjnych tworzyw sztucznych używanych w przemyśle technicznych środków transportu.

Badania nad trwałością i stabilnością włókien naturalnych, będących alternatywą dla włókien syntetycznych rozpocząłem od utworzenia modeli wieloskalowych uwzględniających zjawiska na różnych skalach przestrzennych [Rys. 4] co zostało opisane w artykule [P-5].



Rys.4. Schemat budowy modeli wieloskalowych używanych do analizy trwałości komponentów wykonanych z kompozytów wzmocnianych włóknami naturalnymi.

Za użyciem modeli wieloskalowych przemawia nie tylko złożona struktura włókien ale także fakt iż procesy zachodzące w skali molekularnej znacząco wpływają na właściwości mechaniczne włókien w wyższych skalach przestrzennych. Badania nad wykorzystaniem włókien naturalnych rozpocząłem od badania włókien kolagenowych. Włókna kolagenowe składają się z długich łańcuchów tropokolagenu połączonych ze sobą wiązaniami

kowalencyjnymi oraz wiązaniami wodorowymi których ilość zależy od stopnia nawodnienia materiału. Wiązania te, jak wynika z naszych badań symulacyjnych, wpływają na zachowanie lepkosprężyste materiału wywołując wzrost sztywności włókien wraz ze wzrostem prędkości odkształcenia. Tropokolagen składa się z trzech łańcuchów polipeptydów formujących potrójną helisę o średnicy około 1,5 nm połączonych głównie wiązaniami wodorowymi. Do zamodelowania struktury kolagenu w skali molekularnej użyłem metody Sterowanej Dynamiki Molekularnej (Steered Molecular Dynamics – SMD) gdzie przeprowadzone zostały testy rozciągania oraz ścinania tropokolagenu. W celu przejścia do wyższej skali przestrzennej utworzono modele gruboziarniste (Coarse Grained - CG). Parametry modelu CG uzyskane zostały przy użyciu inwersji Boltzmana. Na podstawie wyników eksperymentów „*in silico*” opracowany został model gruboziarnisty, w którym całe grupy aminokwasów zostały zastąpione ziarnami CG. Operacja ta pozwoliła na 43-krotne zmniejszenie stopni swobody systemu co umożliwiło utworzenie modeli w skali mikroskopowej i przeprowadzenie testów rozciągania włókien z różnymi prędkościami. Opracowane modele w skali molekularnej pozwoliły na zaobserwowanie dwóch modułów sprężystości. Pierwszy moduł będący modułem stycznym dla odkształceń poniżej 30% oraz drugi moduł o wartościach kilkukrotnie większych dla odkształceń powyżej 40%. Ponadto, zaobserwowano iż właściwości lepkosprężyste włókien zależą bezpośrednio od nawodnienia struktury. Wynika z tego fakt iż sztywność włókien odwodnionych nie zależy od prędkości odkształcenia. Opracowane modele gruboziarniste pozwoliły na przeprowadzenie eksperymentów „*in silico*” włókien kolagenowych. W trakcie przeprowadzonych symulacji komputerowych zaobserwowano, podobnie jak w przypadku modeli pełnoatomowych, zmianę sztywności włókna wraz ze wzrostem odkształcenia oraz dodatkowo zmianę mechanizmu zniszczenia włókna. Włókno które podczas rozciągania z mniejszymi prędkościami zachowuje się jak materiał kruchy, pod wpływem działania większych prędkości odkształceń zmienia swoje zachowanie na ciągliwe. Wynika to ze zjawiska wzajemnego ślizgania się fibryli kolagenowych względem siebie oraz rozplątywania się struktury włókna. Przeprowadzone dodatkowo porównanie mechanizmów zniszczenia włókien zbudowanych z segmentów o różnej długości pokazało iż włókna zbudowane z segmentów o długości 294 nm mają większą sztywność oraz maksymalną wytrzymałość. Długość segmentu 294 nm odpowiada najczęściej występującej konfiguracji włókien kolagenowych występujących w środowisku naturalnym. Zaobserwowano ponadto iż zmniejszenie długości segmentów stanowiących podstawowy budulec włókna, powoduje przejście z mechanizmu kruchego pęknięcia włókna do pęknięcia ciągliwego. Opracowane

modele i wyniki badań posłużyły w dalszych pracach do opracowania wielkoskalowych modeli konstytutywnych włókien kolagenowych uwzględniających kinetykę degradacji termicznej materiału opisanych w artykule [P-6]. Zjawisko degradacji termicznej włókien naturalnych, w przypadku zastosowań przemysłowych, jest szczególnie istotne gdyż proces ten rozpoczyna się w temperaturach niższych niż temperatury zeszklenia tworzyw biodegradowalnych.

Celem pracy przedstawionej w artykule [P-6] było utworzenie wielkoskalowych chemomechanicznych modeli konstytutywnych włókien naturalnych które będą mogły służyć do analiz trwałości eksploatacyjnej komponentów wykonanych z biokompozytów. Wyniki badań przedstawionych w poprzedniej pracy (modele MD oraz CG przedstawione na Rys 4.) stanowiły punkt wyjściowy do modelu konstytutywnego opisanego w artykule [P-6]. Wykresy naprężenie-odkształcenie uzyskane z analiz CG dla różnych prędkości rozciągania posłużyły do kalibracji nieliniowego lepkosprężystego modelu konstytutywnego włókna kolagenowego. Opracowany model składa się z dwóch równoległych łańcuchów: hipersprężystego modelu Arruda-Boyce oraz lepkosprężystego modelu dla dużych odkształceń, dzięki któremu model skalibrowany do krzywych naprężenie-odkształcenie uzyskanych z analiz CG-MD przy dużych prędkościach odkształcenia, może być użyty do analiz wytrzymałościowych dla prędkości odkształcenia spotykanych w rzeczywistych konstrukcjach. Opracowany model konstytutywny został następnie rozszerzony o równania kinetyki degradacji termicznej włókna opisujących degradację materiału w warunkach izotermicznych. Opracowany model pozwala na ocenę spadku właściwości mechanicznych włókien kolagenowych narażonych na bezpośrednie działanie podwyższonej temperatury. Osnowa materiałów kompozytowych wzmacnianych włóknami naturalnymi spełnia wprawdzie rolę ochronną dla włókien, jednak nawet w przypadku materiałów umieszczonych poza komorą silnika, temperatura użytkowania będzie powodować denaturację włókien. Uzyskane wyniki potwierdzają konieczność stosowania dodatków modyfikujących włókna kolagenowe w celu poprawy stabilności termicznej włókien kolagenowych mających służyć jako włókna wzmacniające w materiałach biokompozytowych. Kolejnym krokiem w analizie trwałości włókien naturalnych podjętym przez habilitanta było utworzenie modeli włókien celulozowych oraz przeprowadzenie analizy wpływu nawodnienia włókna na jego stabilność. Wyniki tych badań nie zostały jeszcze opublikowane i nie są omawiane w dalszej części autoreferatu.

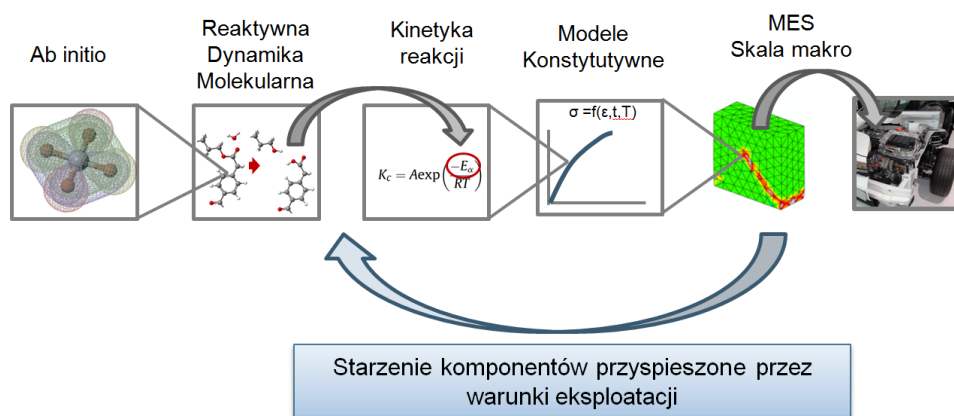
Opracowane modele wieloskalowe pozwoliły na przeprowadzenie wirtualnych testów włókien naturalnych poddanych degradacji termicznej przy różnych prędkościach rozciągania

oraz pozwala na przeprowadzenie analiz makroskopowych przy użyciu metod homogenizacji FE² (Rys.4.). Należy jednak mieć na uwadze fakt iż wieloskalowe modele chemomechaniczne wykorzystują równanie kinetyki reakcji Arrheniusa które wymaga bardzo precyzyjnie określonej energii aktywacji reakcji. Energia aktywacji oraz wpływ procesu starzenia i degradacji na właściwości osnowy polimerowej stały się przedmiotem dalszych badań przedstawionych w kolejnych publikacjach z cyklu.

Opisane badania wykonywane były w ramach grantów dziekańskich: „Podniesienie funkcjonalności i niezawodności produktów poprzez zastosowanie podejścia mechatronicznego. Hybrydowe modelowanie i optymalizacja konstrukcji kompozytowych” [Projekt nr. 4] oraz: „Nieklasyczne mechatroniczne podejście do rozwiązywania problemów w badaniach naukowych i praktyce inżynierskiej. Zadanie 3: Modelowanie i symulacja wieloskalowa i wielodzinowa w mechatronice” [Projekt nr. 5].

Polimery biodegradowalne, w tym na bazie PLA i PGA, stanowią przedmiot szczególnego zainteresowania jednostek badawczych pod kątem zastosowania ich w przemyśle technicznych środków transportu jako zamiennik osnow syntetycznych kompozytów biodegradowalnych. Artykuły [P-7] oraz [P-8] przedstawiają wyniki prac nad wpływem czynników środowiskowych na stabilność biomateriałów polimerowych. Biotworzywa te, w procesie degradacji czy dekompozycji, ulegają finalnie rozkładowi do dwutlenku węgla i wody co sprawia iż są neutralne dla środowiska naturalnego. Zastosowanie ich w praktyce inżynierskiej wymaga jednak opracowania narzędzi służących do przewidywania trwałości komponentów oraz przebiegu procesu degradacji. W kolejnych przedstawionych publikacjach zdecydowałem się na zastosowanie reaktywnego pola siłowego które umożliwi analizę procesu degradacji materiału a co za tym idzie, analizę kinetyki tego procesu i wykorzystanie oszacowanych parametrów kinetyki degradacji we wcześniej opracowanych modelach wieloskalowych (Rys.5.).

Celem badań przedstawionych w pracy [P-7] było opracowanie metody przewidywania trwałości polimerów biodegradowalnych przy użyciu Dynamiki Molekularnej (MD) wraz z reaktywnym polem siłowym ReaxFF oraz analiza przebiegu procesu degradacji biopolimerów. Pole siłowe ReaxFF umożliwia uwzględnienie zarówno procesu tworzenia jak i rozrywania wiązań dzięki zastosowaniu ciągłych funkcji opisujących energię wiązania nawet w czasie przebiegu reakcji chemicznej. Dzięki temu zabiegowi, na podstawie odległości pomiędzy reagującymi atomami, obliczamy rząd wiązania nie generując nieciągłości energii w układzie symulacyjnym.



Rys.5. Schemat modeli wieloskalowych używanych do analizy trwałości komponentów wykonanych z biotworzyw.

W czasie symulacji degradacji biopolimeru obserwowano zmiany energii układu, stan wiązań chemicznych oraz liczbę produktów rozkładu polimeru. Wyniki symulacji pokazują iż najszybszy przyrost liczby molekuł w układzie, obserwowany jest dla pierwszego etapu degradacji. Podobne wnioski można wysunąć z obserwacji liczby wiązań. Początkowa liczba wiązań równa 728, w tym 632 wiązań pojedynczych zmalała w czasie 2,5 ps do 645 (w tym 530 wiązań pojedynczych) aby po czasie 5 ps osiągnąć liczbę 629 wiązań (w tym 510 pojedynczych). Po pierwszym czasie degradacji zaobserwowano zatem 11.4% spadek ilości wiązań, natomiast po kolejnym etapie zanotowano zaledwie 2,5 % spadek ilości wiązań. Świadczy to o spowolnieniu przebiegu reakcji chemicznej. Obserwacja iż największą szybkość reakcji obserwuje się na początku procesu degradacji zdecydowała o tym iż w kolejnych badaniach dotyczących wpływu temperatury na szybkość reakcji chemicznych, do obliczenia współczynników równania Arrheniusa wykorzystano równie krótkie czasy symulacji. Rozważając utylitarne inżynierskie zastosowanie otrzymanych wyników, nasuwa się pytanie odnośnie rozważanych skali czasowych oraz przestrzennych. Pomimo krótkich czasów symulacji oraz stosunkowo niewielkich rozmiarów badanych próbek, zależności pomiędzy szybkością rozkładu a temperaturą czy badanym środowiskiem nie będą obarczone błędem gdyż wynikają głównie z budowy polimeru oraz wiązań jakie są tworzone oraz zrywane w trakcie symulacji. Największą uwagę należy zatem skupić na doborze warunków brzegowych które mogą odwzorowywać degradację na powierzchni bądź też degradację w masie. Degradacja polimeru w masie powoduje iż produkty reakcji nie mogą opuszczać układu co w przypadku produktów mających działanie katalityczne może doprowadzić do reakcji autokatalitycznej rozkładu polimeru. Zagadnienie to poruszone jest w moich dalszych pracach. W kolejnych publikacjach przedstawione zostaną: analiza wpływu degradacji

polimerów biodegradowalnych na masę molową oraz lepkość biotworzyw oraz wpływ gęstości polimeru oraz różnych warunków środowiskowych na kinetykę dekompozycji polimeru.

W pracy [P-8] przeprowadzono analizę wpływu degradacji izotaktycznego polilaktydu na zmianę jego właściwości fizykochemicznych przy użyciu Dynamiki Molekularnej (MD) oraz reaktywnego pola siłowego ReaxFF. W analizie degradacji polilaktydu w środowisku wodnym, zaobserwowano początkowy bardzo szybki spadek masy molowej wynikający z rozcinania łańcuchów polimeru wynoszący 52,6% w czasie 2,5 ps po którym, w kolejnym etapie trwającym 2,5 ps nastąpił tylko 19,9% spadek masy molowej. Towarzyszy temu adekwatny wzrost liczby wiązań wodorowych w materiale o których mówi się iż odpowiadają za lepkość polimerów. Analiza lepkości materiału pokazała jednak iż większe znaczenie niż wzrost ilości wiązań wodorowych, miał spadek masy molowej co spowodowało równie gwałtowny spadek lepkości materiału. Symulacje te potwierdzają obserwacje z doświadczeń eksperymentalnych zmian właściwości lepkosprężystych materiałów polimerowych w czasie degradacji polimeru. Obserwacje takie zostały poczynione w trakcie prowadzenia badań eksperymentalnych do pracy doktorskiej jak i również w trakcie późniejszych badań dotyczących trwałości polimerowych materiałów inżynierskich używanych np. przy produkcji komponentów w przemyśle technicznych środków transportu. Należy jednak mieć na uwadze fakt iż obserwacja ta odnosi się głównie do polimerów tudzież obszarów o strukturze amorficznej, które są bardziej podatne na degradację niż odpowiadające im obszary krystaliczne, i w przypadku zastosowania w kompozytach polimerowych rzutują bardziej na właściwości materiału w kierunku poprzecznym do ułożenia włókien niż w kierunku wzdłużnym, gdzie za właściwości lepkosprężyste materiału bardziej odpowiadają włókna wzmacniające oraz zjawiska na granicy włókno-osnowa co zaobserwowano również we wcześniej przedstawionej publikacji [P-3]. Analiza wpływu procesu degradacji oraz masy molowej na lepkość polimeru, pokazała iż na zachowanie mechaniczne komponentów największy wpływ będzie miał proces wytwarzania. Zmieniając nastawy procesu wtrysku komponentów takie jak: temperatura, czas docisku oraz ciśnienia wtrysku możemy w pewnym zakresie wpływać na masę molową polimeru która ma kluczowy wpływ na trwałość i długoterminową funkcjonalność komponentów wtryskiwanych. Ponadto, przedstawione wyniki wskazują iż badania lepkosprężystości materiału tudzież odpowiedzi dynamicznej struktury może być traktowana jako wskaźnik starzenia się komponentów w trakcie eksploatacji.

Kontynuacją badań nad trwałością polilaktydu opisanych w powyższych pracach są doświadczenia opisane w artykule [P-9] opisującym wpływ gęstości polimeru oraz środowiska zewnętrznego na kinetykę dekompozycji materiału której parametry są wykorzystywane w wielkoskalowych chemomechanicznych modelach konstytutywnych służących do oceny trwałości komponentów wykonanych z materiałów polimerowych (Rys.5.).

Uzupełnieniem badań dotyczących trwałości polilaktydu przedstawionych w artykułach [P-7 oraz P-8] jest praca [P-9], która poświęcona jest badaniom wpływu gęstości materiału oraz środowiska zewnętrznego na kinetykę dekompozycję polilaktydu (PLA). Wieloskalowe modele chemomechaniczne zaprezentowane w publikacjach P-1, P-4, oraz P-6 ze względu na zastosowanie równania Arrheniusa wymagają podania wartości energii aktywacji procesu rozkładu polimeru (Rys. 5). Energię aktywacji przelicza się na podstawie szybkości powstawania produktów reakcji chemicznych w różnych temperaturach. W kontekście uprzednio przedstawionych rezultatów badań, naturalnym staje się zatem wykorzystanie Dynamiki Molekularnej (MD) oraz reaktywnego pola siłowego ReaxFF do analizy przebiegu tego zjawiska. W tym przypadku na zamodelowany układ symulacyjny nałożone zostały okresowe warunki brzegowe które odzwierciedlają warunki degradacji w masie. Tak zdefiniowane warunki brzegowe uniemożliwiają ulatnianie się produktów reakcji, które działając autokatalitycznie przyspieszają proces rozkładu polimeru. Zmiana gęstości materiału zrealizowana była poprzez przyłożenie ciśnienia zewnętrznego na badany układ symulacyjny, co skutkowało zmianą objętości układu bez zmiany liczby atomów. W pracy przeanalizowano kinetykę degradacji w środowisku tlenowym oraz wodnym. W trakcie doświadczeń numerycznych zaobserwowano zwiększenie prędkości dekompozycji polilaktydu wraz ze wzrostem temperatury układu co pozwoliło na wyznaczenie energii aktywacji dla układów o różnej gęstości w środowiskach wodnych oraz tlenowych. Wyniki badań pokazują iż szybkość rozkładu PLA w środowisku tlenowym jest bardziej zależna od temperatury niż w środowisku wodnym. Zaobserwowano jednak, iż obecność wody powoduje większy spadek energii aktywacji niż obecność tlenu. Można więc wysnuć wniosek iż materiał polimerowy pracujący w środowisku wilgotnym będzie narażony na szybszą utratę właściwości. Porównanie różnych gęstości materiału prowadzi do wniosku iż zwiększenie gęstości materiału prowadzi do znacznego obniżenia energii aktywacji procesu dekompozycji materiału. Należy mieć na uwadze iż gęstość materiału może być zwiększona nie tylko w wyniku zmiany procesu wytwarzania komponentu ale również w wyniku oddziaływania

dużego obciążenia zewnętrznego występującego np. w procesie przetwórstwa bądź też recyklingu materiału. Zestawienie ciśnień potrzebnych do utrzymania pożądanej gęstości materiału w układzie symulacyjnym z uzyskanymi gęstościami pozwoliło na zaobserwowanie bilinearnego charakteru wykresu gęstość-ciśnienie. Zmiana nachylenia prostej obserwowana jest w punkcie około $1,3 \text{ g/cm}^3$ gdzie następuje zmiana obciążenia ze ściskania na rozciąganie. Przebieg procesu dekompozycji oraz powstawanie produktów reakcji zawierające grupy karboksylowe, powodują spadek energii aktywacji w czasie trwania reakcji co wywołuje autokatalityczną reakcję dekompozycji materiału. Przeprowadzone badania symulacyjne pozwoliły na określenie zależności energii aktywacji od gęstości PLA oraz otaczającego środowiska a także na sformułowanie wniosku iż masywne komponenty wykonane z amorficznych materiałów polimerowych na bazie PLA są bardziej podatne na dekompozycję termiczną ze względu na ograniczone ulatnianie się produktów reakcji działających autokatalitycznie. Dalsze doświadczenia prowadzące do zrozumienia mechanizmów degradacji i dekompozycji tego obiecującego przemysłowo biopolimeru, obejmują utworzenie modeli uwzględniających również fazę krystaliczną oraz proces dyfuzji wody w głąb materiału.

Zastosowanie w powyższych badaniach metody reaktywnej dynamiki molekularnej do oszacowania wartości energii aktywacji procesów degradacji i dekompozycji, stanowi uzupełnienie wielkoskalowych modeli przedstawionych w pracach [P-1, P-3, P-5] co umożliwia ocenę trwałości eksploatacyjnej komponentów jeszcze na etapie projektowania części używanych jako osprzęt w technicznych środkach transportu. Dotyczy to zwłaszcza zastosowania nowych biomateriałów do produkcji komponentów w przemyśle technicznych środków transportu których trwałość musi zostać zapewniona przez cały zakładany okres użytkowania pojazdów.

Przedstawione powyżej publikacje (P-1 – P-9) będące podstawą habilitacji stanowią:

- o sumę Impact Factor równą **16,408**
- o sumę punktów MNiSW równą **225**

PODSUMOWANIE

W przedstawionych powyżej pracach będących podstawą habilitacji przedstawiono opracowane wieloskalowe modele służące do analiz trwałości i funkcjonalności komponentów w trakcie eksploatacji technicznych środków transportu. W artykułach zaprezentowanych w cyklu prac habilitacyjnych przedstawiono również wyniki badań eksperymentalnych oraz symulacyjnych trwałości i stabilności nowoczesnych materiałów inżynierskich, na podstawie których opracowałem wieloskalowe chemomechaniczne modele konstytutywne materiałów, opisujące zależności pomiędzy odkształceniem-napężeniem-czasem oraz warunkami środowiskowymi w jakich eksploatowane są współczesne komponenty samochodowe. Wyniki tych badań i opracowane modele wieloskalowe umożliwiają predykcję trwałości i długoterminowej funkcjonalności komponentów wykonanych z nowoczesnych materiałów polimerowych. Dalsze prace obejmowały badania symulacyjne oraz eksperymentalne systemu identyfikacji oraz usuwania oblodzenia struktur aluminiowych. Kierunki dalszych prac wraz z opisem równolegle prowadzonych badań, nie opisanych w ramach cyklu prac habilitacyjnych, przedstawione są w punkcie 6 autoreferatu.

Przytoczone prace, stanowiące podstawę cyklu habilitacyjnego, są w pełni nowatorskie, wnoszące zupełnie nową wiedzę do dyscypliny Transport w obszarze badań eksperymentalnych oraz symulacyjnych trwałości i funkcjonalności komponentów używanych w przemyśle technicznych środków transportu. W oparciu o dostępną literaturę można wnioskować iż jak dotąd nie utworzono wieloskalowych modeli chemomechanicznych wiążących budowę molekularną z reaktywnością badanych materiałów oraz ich zachowaniem mechanicznym. Również brak jest wyników prac z zakresu identyfikacji i odladzania struktur aluminiowych za pomocą fal prowadzonych. Działanie tego systemu zostało nie tylko zamodelowane ale także zwalidowane eksperymentalnie. Opracowane metody badawcze stanowią punkt wyjściowy do dalszych bardziej zaawansowanych prac nad trwałością i funkcjonalnością komponentów w trakcie eksploatacji środków transportu, co będzie przedmiotem mojej dalszej pracy badawczej.

3. POZOSTAŁE OSIĄGNIĘCIA NAUKOWE

3.1. Działalność naukowa oraz wykaz publikacji przed uzyskaniem stopnia doktora

W czasie studiów doktoranckich zajmowałem się zagadnieniem wpływu starzenia materiałów na trwałość komponentów samochodowych wykonanych z kompozytów wtryskiwanych wzmocnianych włóknami szklanymi. Komponenty te, pracując z komorze silnika, narażone są na działanie wysokiej temperatury oraz podwyższonej wilgotności, co powoduje przyspieszone starzenie materiałów polimerowych. W ramach pracy doktorskiej opracowałem program badań materiałowych mający na celu identyfikację parametrów do opracowanych przeze mnie modeli konstytutywnych materiałów anizotropowych i lepko-sprężystych. Powyższe prace realizowane były we współpracy z Centrum Technicznym Delphi Poland S.A. Krakowie gdzie zapoczątkowałem istnienie grupy analiz wytrzymałościowych w dywizji E/EA (Electric Electronic Architecture) w której obecnie pełnię rolę koordynatora współpracy z Uczelniami. Kolejnymi zagadnieniami podjętymi przed uzyskaniem stopnia doktora było opracowanie metody przewidywania odporności komponentów samochodowych na zrzucanie (tzw. Drop test) oraz optymalizacji komponentów samochodowych przy użyciu Metody Powierzchni Odpowiedzi (RSM – Response Surface Method). Dodatkowo, zajmowałem się również metodami przewidywania zniszczenia polimerów krystalicznych przy użyciu metod kohezyjnych oraz algorytmów Voronoi, które jednak ze względu na wysoki koszt obliczeniowy nie zostały wdrożone do praktyki przemysłowej.

Za prowadzone przeze mnie badania oraz ogółem osiągnięcia naukowe otrzymałem dodatkowe stypendium naukowe Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki oraz Małopolskie Stypendium Doktoranckie, zaś za wdrożenie wyników prac zostałem wyróżniony przez Centrum Techniczne Delphi w Krakowie nagrodą “Certify of excellence - for development of the new numerical methods for Delphi E/EA Design group”. Dodatkowo w 2009 roku otrzymałem grant promotorski zatytułowany: „Analiza wpływu technologii wytwarzania oraz warunków eksploatacji kompozytowych tworzyw sztucznych na ich trwałość” po którego zakończeniu obroniłem pracę doktorską.

Wykaz prac opublikowanych przed uzyskaniem stopnia doktora:

1. **Młyniec A (80%)**, Uhl T (2009) Humidity-temperature ageing and glass fiber content influence into material degradation – plastic snaps with torsional beams, *Mechanics*, 28 (4): 112–117. (MNiSW₂₀₀₉ = **4 pkt**)
 2. **Młyniec A**, (2009) Generowanie losowej struktury krystalicznej na dowolnie przyjętej objętości, Rozdział w monografii: Informatyka w dobie XXI wieku: technologie informatyczne w nauce, technice i edukacji. Redaktor Aleksander Jastriebow. Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji - Państwowego Instytutu Badawczego, 2009. —s: 59–62.
 3. **Młyniec A (70%)**, Pieczonka Ł, Uhl T (2009) Continuum damage mechanics model for injection molded composites, *Archives of Transport*, 21: 101–114. (MNiSW₂₀₀₉ = **4 pkt**)
 4. **Młyniec A (80%)**, Uhl T (2011) Modelling of ageing and optimization of composite structures — Modelowanie starzenia i optymalizacja konstrukcji kompozytowych, *Composites*, 11 (2): 180–184. (MNiSW₂₀₁₁ = **7 pkt**)
 5. Warzecha M, **Młyniec A (40%)**, Uhl T (2011) Prediction of the plastic component parts durability with use of a drop test simulation, *Mechanics and Control*, 30: 34–40. (MNiSW₂₀₁₁ = **5 pkt**)
- 3.2. Działalność naukowa oraz wykaz publikacji, innych niż stanowiące podstawę habilitacji, po uzyskaniu stopnia doktora

Od kilku lat moje badania naukowe koncentrują się wokół badań eksperymentalnych oraz symulacyjnych trwałości komponentów samochodowych ze szczególnym uwzględnieniem trwałości komponentów wykonanych z nowoczesnych materiałów polimerowych. Zagadnienia te zostały opisane w punkcie 2. Rozwinięciem badań prowadzonych w trakcie doktoratu było opracowanie na potrzeby Centrum Technicznego Delphi w Krakowie, metody przewidywania trwałości kompozytowych komponentów

samochodowych z uwzględnieniem ułożenia włókien wynikającego z procesu wytwarzania oraz metody przewidywania szczelności komponentów samochodowych przy użyciu metody wygładzonej hydrodynamiki cząstek. Inne tematy badawcze podejmowane przeze mnie po uzyskaniu stopnia doktora to badania symulacyjne dynamiki robotów wykonanych z laminatów węglowo-epoksydowych oraz modelowanie konstytutywne materiałów lepko-sprężystych. Inspirowany wynikami pracy P-2 dotyczącymi zbieżności częstotliwości dla których zaobserwowano minima modułu stratności z częstotliwościami rezonansowymi płyt kompozytowych, podjąłem się kontynuacji tego zagadnienia w ramach którego, we współpracy z naukowcami z AGH, badamy tę zależność dla różnych wielkości laminatów węglowo-epoksydowych. W badaniach tych wykorzystujemy zarówno metody DMA jak i LDV oraz metodę wykresów rekurencyjnych.

Rozpoczynając bardziej zaawansowane badania z zakresu modelowania konstytutywnego materiałów udało mi się nawiązać bardzo cenną międzynarodową współpracę z zespołami z Anglii oraz Niemiec w ramach której prowadzimy badania dotyczące wpływu struktury włókien naturalnych na stabilność ich właściwości mechanicznych. Jako adiunkt w Katedrze Robotyki i Mechatroniki realizowałem własne projekty dziekańskie w ramach prac statutowych: „Nieklasyczne mechatroniczne podejście do rozwiązywania problemów w badaniach naukowych i praktyce inżynierskiej. Zadanie 3: Modelowanie i symulacja wieloskalowa i wielodzielnicowa w mechatronice”, oraz „Podniesienie funkcjonalności i niezawodności produktów poprzez zastosowanie podejścia mechatronicznego. Hybrydowe modelowanie i optymalizacja konstrukcji kompozytowych” których rezultaty zostały umieszczone w pracach P-3 oraz P-5, P-6 cyklu stanowiącego podstawę habilitacji. W roku 2015 podjęta została współpraca z Wojskową Akademią Techniczną w zakresie analiz chemomechanicznych trwałości struktur kompozytowych w lotnictwie. W ramach obecnie prowadzonych projektów współpracuję również z uniwersytetem we Freiburgu (Niemcy), Queen Mary University of London (Wielka Brytania), Uniwersytetem Jagiellońskim w Krakowie oraz Wydziałem Ceramiki i Inżynierii Materiałowej AGH.

3.2.1. Wykaz publikacji innych niż przedstawione w punkcie 2.1. oraz 3.1.

Wykaz publikacji przygotowanych po uzyskaniu stopnia doktora, innych niż przedstawione w cyklu prac habilitacyjnych, z wyłączeniem komunikatów zjazdowych:

1. **Młyniec A (80%)**, Uhl T (2012) Modelling and testing of ageing of short fibre reinforced polymer composites, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part C, Journal of Mechanical Engineering Science*, 226: 16–31.
(Sage; **IF₂₀₁₂ = 0,633**; **MNiSW₂₀₁₂ = 20 pkt**)

2. Korta J, **Młyniec A (30%)**, Uhl T (2015). Experimental and numerical study on the effect of humidity-temperature cycling on structural multi-material adhesive joints. *Composites Part B: Engineering*, 79(1), 621–630.
(Elsevier; **IF₂₀₁₄ = 2,983**; **MNiSW₂₀₁₅ = 40 pkt**)

3. Mazur Ł, **Młyniec A (40%)**, Tomaszewski KA, Walocha JA, Uhl T (2014) A multiscale model of the Achilles tendon – from molecular and coarse-grain simulations to a macroscale hyperelastic model, *Wulfenia*, 21 (3): 341–355.
(**IF₂₀₁₄ = 1,312**; **MNiSW₂₀₁₄ = 15 pkt**)

4. Musioł M, **Młyniec A (10%)**, Uhl T (2014) The simulation studies on influence of high-intensity focused ultrasound (HIFU) method on selected human tissues, *Selected dynamical problems in mechanical systems : theory and applications in transport*, Edytorzy: Andrzej Chudzikiewicz, Roman Bogacz, Georg-Peter Ostermeyer. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, ISBN: 978-83-7814-282-9, s. 133–142 (**MNiSW₂₀₁₄ = 5 pkt**)

5. Lisowski E, Kot P, **Młyniec A (10%)** (2011) Utilization of plastic materials for production of loaded elements of pneumatic servos, *Advances in Science and Technology*, 6: 179–188. (**MNiSW₂₀₁₂ = 4 pkt**)

6. Korta J, **Młyniec A (20%)**, Ździebko P, Uhl T (2014) Finite element analysis of adhesive bonds using the cohesive zone modeling method, *Mechanics and Control*, 33 (2):51-57. (**MNiSW₂₀₁₄ = 5 pkt**)

Wspomniane powyżej, ujęte w punkcie 3.2. prace (n = 6) stanowią:

- sumę Impact Factor równą = **4,929**
- sumę punktów MNiSW równą **89**

3.3. Prowadzenie oraz udział w projektach badawczych i badawczo rozwojowych

1. 2009-2010 **Wykonawca**. Grant promotorski “Analiza wpływu technologii wytwarzania oraz warunków eksploatacji kompozytowych tworzyw sztucznych na ich trwałość” nr: N N503 242838. Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

W ramach powyższego projektu opracowane zostały procedury służące do oceny trwałości eksploatacyjnej komponentów samochodowych wykonanych z kompozytowych tworzyw sztucznych. Opracowane metody uwzględniały wpływ zjawiska starzenia temperaturowo-wilgotnościowego zachodzącego w trakcie testów walidacyjnych.

2. 2009-2011 **Wykonawca**, Projekt “Master” zatytułowany” Structural health monitoring new techniques of structures health assessment” Nr: 2.2.130.832, Umowa Subsydium Nr 7/2009. Fundacja na rzecz Nauki Polskiej.

W ramach powyższego projektu prowadzone były badania zmian właściwości mechanicznych w trakcie eksploatacji kompozytów wtryskiwanych (PA6GB20GF10 oraz PBT GF20, GF10) na przykładach z przemysłu samochodowego.

3. 2009-2011 **Wykonawca**, Projekt “Mechatroniczne stanowisko testowe typu END LINE przeznaczone do diagnostyki poprodukcyjnej pojazdów autobusowych, trolejbusów i hybryd” nr UDA-POIG 01.03.01-12-035/08-00 współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka.

4. 2011-2012 **Kierownik**. Projekt Dziekański zatytułowany “Hybrydowe modelowanie i optymalizacja konstrukcji kompozytowych. Temat 4: Podniesienie funkcjonalności i niezawodności produktów poprzez zastosowanie podejścia mechatronicznego.” nr pracy: 15.11.130.218.

W ramach powyższego projektu opracowane zostały hybrydowe modele włókien naturalnych a następnie przeprowadzone zostały badania „*in silico*” wpływu prędkości deformacji na właściwości lepkosprężyste włókien naturalnych. Uzyskane wyniki badań wykorzystane zostały w kolejnym projekcie mającym na celu

opracowanie modeli chemomechanicznych. Wyniki badań opisane zostały w punkcie 2.2 autoreferatu.

5. 2013, **Kierownik**. Projekt Dziekański zatytułowany: "Modelowanie degradacji i starzenia materiałów kolagenowych. Temat pracy statutowej: Nieklasyczne mechatroniczne podejście do rozwiązywania problemów w badaniach naukowych i praktyce inżynierskiej. Zadanie 3: Modelowanie i symulacja wieloskalowa i wielodzielnicowa w mechatronice" nr pracy 15.11.130.982.

W ramach powyższego projektu opracowane zostały modele chemomechaniczne włókien naturalnych umożliwiające analizę wpływu procesów degradacji na długoterminową trwałość oraz właściwości mechaniczne włókien naturalnych. Wyniki badań opisane zostały w punkcie 2.2 autoreferatu.

6. 2013-2015, **Wykonawca**. Projekt IBS – "Innowacyjna budowa skrzyń naczep samowyladowczych" Projekt finansowany z programu In-Tech. Umowa nr: INNOTECH-K2/IN2/1/181792/NCBR/13. Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

W ramach powyższego projektu przebadany został wpływ warunków eksploatacji na trwałość wielomateriałowej naczepy samowyladowczej. Badania obejmowały również wpływ starzenia połączeń klejonych na właściwości mechaniczne klejonych struktur kompozytowych. Wyniki badań opisane zostały w punkcie 2.2 autoreferatu.

7. 2012-2013 Opiekun stażu doktorskiego ze strony firmy Delphi Poland S.A. Pani dr inż. Anny Morawskiej – Chochół. Staż finansowany ze środków Małopolskiej Agencji Rozwoju Regionalnego S.A. numer: MARR/1677/2012/DZPP

W ramach powyższego stażu doktorskiego wykonane zostały badania materiałów wykorzystywanych do produkcji osprzętu elektrycznego pojazdów samochodowych w kontekście ich trwałości. Badania te po służyły do oceny zmian właściwości strukturalnych materiałów polimerowych w trakcie eksploatacji komponentów samochodowych. Wyniki badań pokazały iż zmiany struktury materiału przekładają się bezpośrednio na właściwości wytrzymałościowe a co za tym idzie na funkcjonalność komponentów.

8. 2015 **Wykonawca**, "Analizy chemomechaniczne materiałów kompozytowych" wykonane dla Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie. Zastosowanie: analiza trwałości struktur kompozytowych w lotnictwie. Umowa AGH: 6.6.130.305

W ramach powyższego projektu wykonane zostały badania materiałowe kompozytów węglowych używanych do budowy lekkich statków powietrznych. Badania uwzględniały zarówno wpływ ułożenia warstw oraz grubość kompozytu jak i warunki eksploatacji samolotów.

9. 2015-2018 **Wykonawca**, Projekt OPUS zatytułowany "Ludzkie ścięgno Achillesa - modelowanie jego fizjologicznej i chorobowo zmienionej struktury oraz detekcja mikropęknięć przy wykorzystaniu technik optoakustycznych i mikroskopowych." numer umowy: UMO-2014/13/B/ST7/00690, Narodowe Centrum Nauki.

W ramach powyższego projektu, rozpoczętego w roku 2015, prowadzone są badania wpływu zmian chorobowych oraz warunków przechowywania ścięgien na proces degradacji ścięgna Achillesa.

10. 2015-2017 **Wykonawca**, Projekt Juventus plus zatytułowany "Ścięgno Achillesa w zdrowiu i chorobie - badanie właściwości biofizycznych, mikro- i ultrastruktury oraz modelowanie molekularne jego budowy" numer: 0482/IP1/2015/73 Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

W ramach powyższego projektu przeprowadzane jest analiza zmian strukturalnych zachodzących podczas procesów chorobowych oraz tworzone są modele numeryczne uwzględniającego mikro i ultrastrukturę ścięgna mające na celu ocenę procesu degradacji materiału.

11. Udział w 16 projektach rozwojowych typu PDP "Product Development Process" w Centrum Technicznym Delphi Poland S.A. Brak możliwości wyszczególnienia w/w projektów ze względu na niejawność danych klientów oraz zastosowanych rozwiązań technologicznych. W ramach wspomnianych projektów wykonywane były m.in. analizy wytrzymałości oraz trwałości konstruowanych komponentów.

12. 2007-2015 TCK Delphi Poland S.A. Projekty typu “Six Sigma Green Belt Process Improvement Project” :

- a. **Wykonawca** projektu zatytułowanego “Tolerance Study calculations in automotive designs” - Opracowanie standardu przeprowadzania analiz tolerancji wielokomponentowych wtryskiwanych elementów z tworzyw sztucznych
- b. **Wykonawca** projektu zatytułowanego ”Connectors mating - guiding improvement” - Opracowanie metody przewidywania funkcjonalności osprzętu elektrycznego samochodu wymagającego zastosowania komponentów wspomagających proces montażu
- c. **Wykonawca** projektu zatytułowanego “Modeling of the fiber alignment in automotive components” - Opracowanie programów importujących wyniki analiz procesu wytwarzania do analiz wytrzymałościowych komponentów kompozytowych
- d. **Kierownik** projektu zatytułowanego “Influence of the surface quality, seal compression and component aging on long term seal tightness”. - Analiza wpływu jakości wykonania komponentów samochodowych oraz starzenia temperaturowego na długoterminową szczelność osprzętu elektrycznego.
- e. **Kierownik** projektu zatytułowanego “Prediction of the component lifetime - free fall simulation methodology”. - Opracowanie metody przewidywania odporności komponentów samochodowych wykonanych z tworzyw sztucznych na upadki.
- f. **Kierownik** projektu zatytułowanego “Six-sigma optimization of the plastic snaps”. - Opracowanie procedury optymalizacji połączeń rozłącznych wykonanych z tworzyw sztucznych. Procedura wykorzystująca metodę Six-sigma.
- g. **Kierownik** projektu zatytułowanego “Kinematic analysis of the lever assisted connectors” - Opracowanie metody przewidywania funkcjonalności samochodowych złącz elektrycznych wymagających zastosowania dźwigni wspomagających proces zamykania złącza.
- h. **Kierownik** projektu zatytułowanego “Connector sealing effectiveness simulation” - Opracowanie metody numerycznej służącej do przewidywania szczelności osprzętu elektrycznego pojazdów samochodowych.

3.4. Udział w szkoleniach, konferencjach krajowych i międzynarodowych, w tym spis publikacji konferencyjnych

3.4.1. Spis publikacji konferencyjnych

1. **Młyniec A**, Uhl T, Phenomenological cracking model of injection composite elements. MES 2009 : programy MES we wspomaganie analizy, projektowania i wytwarzania : XI konferencja naukowo-techniczna Pisz, 20–23 października 2009
2. **Młyniec A**, Paćko P, Martowicz A, Lubieniecki M, Uhl T Adaptive de-icing system conceptual design and simulation, ICAST 2011 : 22nd International Conference on Adaptive Structures Technologies : Corfu, Greece, October 10–12, 2011
3. **Młyniec A**, Paćko P, Martowicz A, Bednarz J, Uhl T, Adaptive de-icing system – experimental validation. ICAST 2012 : 23rd International Conference on Adaptive Structures and Technologies : Nanjing, China, October 11–13, 2012.
4. **Młyniec A**, Paćko P, Zbyrad P, Uhl T, Chemomechaniczne modelowanie starzenia materiałów polimerowych, III Krajowa konferencja nano i mikromechaniki : 4–6 Lipca 2012, Warszawa
5. **Młyniec A**, Musioł M, Mazur Ł, Staszewski WJ, Uhl T, Development of the multiscale models of the collagen, considering chemomechanics of the deformation. CMM 2013 : 20th international conference on Computer Methods in Mechanics : 27–31 Sierpień 2013, Poznan, Poland
6. **Młyniec A**, Uhl T, Gambling or engineering? : modelling of the ageing of components made of short fibre reinforced polymer composites, CMM 2011 : 19th international conference on Computer Methods in Mechanics : 9–12 Maja 2011, Warszawa
7. Mazur Ł, **Młyniec A**, Uhl T, Modelowanie włókien kolagenowych metodą dynamiki molekularnej i coarse-grain. Majówka Młodych Biomechaników. XI konferencja naukowa im. prof. Dagmary Tejszerskiej : Ustroń, 9–11 maja 2014
8. **Młyniec A**, Uhl T, The modelling of short fibre reinforced polymer composite ageing – prediction of the component lifetime. ICCS 16 International Conference on Composite Structures : 28–30 Czerwca 2011, Porto, Portugalia
9. Musioł M, Calik T, **Młyniec A**, Uhl T, The simulation studies on influence of focused high-intensity ultrasound method on selected human tissues. 13th German-Polish

- workshop on Dynamical problems in mechanical systems : 1–6 Wrzesień 2013, Wieliczka
10. **Młyniec A**, Musioł M, Staszewski WJ, Uhl T, Chemomechanical modeling of the polymer composites. ICCS 17 – International Conference on Composite Structures : 17–21 Czerwca 2013, Porto, Portugalia
 11. Ekiert M, **Młyniec A**, Uhl T, Prediction of the polymer degradation: a molecular dynamics study. PCM-CMM-2015 : 3rd Polish Congress of Mechanics and 21st international conference on Computer Methods in Mechanics : Wrzesień 8th–11th 2015, Gdańsk, Polska
 12. Ekiert M, **Młyniec A**, Uhl T, In silico studies on environmental influence on biopolymers degradation. 14th German-Polish Workshop on Dynamical Problems in Mechanical Systems Wandlitz 2015, Niemcy
 13. Ekiert M, **Młyniec A**, Uhl T, The application of the reactive force field for polymers degradation study, XIth International Conference – the computer science in the age of XXI century, Radom, 2015 Polska
 14. Ekiert M, **Młyniec A**, Uhl T, The analysis of durability of biodegradable polymers – Molecular Dynamics Study, IVth International Conference of Biophysics Students, Krakow, 2015 Polska
 15. **Młyniec A**, Tomaszewski KA, Uhl T, Development of molecular-based nonlinear viscoelastic model of collagen fibrils, XXV Congress of International Society of Biomechanics, Glasgow 2015, Wielka Brytania

3.4.2. Udział w krajowych i międzynarodowych konferencjach

1. Polish-German Workshop on Railway Mechanics, Sarbinowo 2010 "Continuum damage mechanics model for injection molded composites "
2. III Krajowa konferencja nano i mikromechaniki : 4–6 July 2012, Warszawa "Chemomechaniczne modelowanie starzenia materiałów polimerowych "
3. CMM 2011 : 19th International Conference on Computer Methods in Mechanics: 9–12 May 2011, Warsaw, Poland "Gambling or engineering? : modelling of the ageing of components made of short fibre reinforced polymer composites "
4. MES 2009 : programy MES we wspomaganiu analizy, projektowania i wytwarzania : XI konferencja naukowo-techniczna : odporność udarowa konstrukcji : V

konferencja naukowo-techniczna : Pisz, 20–23 października 2009 " Phenomenological cracking model of injection composite elements."

5. ICCS 16 International Conference on Composite Structures, 28–30 June 2011, Porto, Portugal "The modelling of short fibre reinforced polymer composite ageing – prediction of the component lifetime"
6. ICCS 17 – International Conference on Composite Structures : Porto, Portugal, 17–21 June 2013 " Chemomechanical modeling of the polymer composites."
7. XXV Congress of International Society of Biomechanics, Glasgow 2015 " Development of molecular-based nonlinear viscoelastic model of collagen fibrils, "

Ponadto:

1. Czerwiec 2013 - Wykładowca na „European Advanced Composite Materials Training Course” organizowany przez Politechnikę Warszawską oraz „Central European Composite Cluster”
2. Wygłoszenie gościnne seminarium na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej „Metody symulacyjne w rozwiązywaniu problemów działu konstrukcyjnego komponentów elektrycznych i elektronicznych” z ramienia Centrum Technicznego Delphi w Krakowie, kwiecień 2014 rok.
3. Wygłoszenie gościnne seminarium: Modelowanie chemomechaniczne materiałów polimerowych. Wojskowa Akademia Techniczna, grudzień 2015.
4. Członek komitetu organizacyjnego "Multidisciplinary Research Seminar : Science for the future - challenges and opportunities" Kraków 2012

3.4.3. Przebyte szkolenia i kursy

1. Seminarium z cyklu "AWANSE NAUKOWE: Uwarunkowania prawne i organizacyjne postępowań habilitacyjnych“, Warszawa, 2014;
2. Szkolenie z zakresu „Pisania tekstów naukowych” prowadzone przez Jeana-Luca Lebruna w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki, Projekt Skills, Fundacja Nauki Polskiej, 2013.

3. Szkolenie z zakresu „Zarządzanie zespołem naukowym” prowadzone przez Susann Marx w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki, Projekt Skills, Fundacja Nauki Polskiej, 2013.
4. Szkolenie „Material Parameter Identification and Inverse Problems in Soft Tissue Biomechanics" CISM Udine 2015
5. Kurs „Tissue Biomechanics" International Society of Biomechanics - Glasgow - 2015”
6. Szkolenie „Experimental and Theoretical Multiscale Analysis of Materials and Structures” CISM Udine 2011
7. Szkolenie “Nonlinear Finite element analysis” prowadzone przez J.R. Hughes’a oraz W.K. Liu, Zace, Berlin 2010
8. Szkoła letnia “Summer school of Biomechanics” Technische Uninersitat Graz, Austria
9. Szkolenie z modelowania konstytutywnego materiałów polimerowych “Advanced polymer modeling “ prowadzone przez Jorgena Bergströma PhD Massachusetts Institute of Technology (obecnie VERYST Engineering, USA) 2013
10. Szkolenie " Theory and Analysis of Laminated Composite Structures” prowadzone przez J.N. Reddy, Porto 2011
11. Szkolenie Abaqus „Introduction to Abaqus and CAE” Budsoft Poznań 2006
12. Szkolenie Abaqus „Abaqus Explicit - Advanced problems” Budsoft Poznań 2010
13. Szkolenie „Writing subroutines in Abaqus” Budsoft Poznań 2011
14. Szkolenie „Abaqus Isight” Budsoft 2015
15. Szkolenia “Young manager academy” – Delphi 2013
16. Szkolenie „Time management” – Delphi 2012

3.5. Recenzje prac naukowych

Recenzent publikacji w następujących czasopismach

1. Composite Structures, Wydawnictwo Elsevier, IF₂₀₁₄ = **3,318**
2. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Wydawnictwo Elsevier, IF₂₀₁₄ = **3,071**
3. Materials, Wydawnictwo MDPI, IF₂₀₁₄ = **2,651**
4. Indian Journal of Engineering & Materials Sciences, Wydawnictwo Nisclair, IF₂₀₁₄ = **0,413**

5. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, Wydawnictwo Sage, IF₂₀₁₄ = **0,560**
6. Science and Engineering of Composite Materials, Wydawnictwo DeGruyter, IF₂₀₁₄ = **0,515**
7. Sensors, Wydawnictwo MDPI, IF₂₀₁₄ = **2,245**
8. Polymer Degradation and Stability, Wydawnictwo Elsevier, IF₂₀₁₄ = **3,163**
9. Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Wydawnictwo Sage, IF₂₀₁₄ = **2,072**

Brak możliwości wyszczególnienia tytułów recenzowanych prac oraz nazwisk autorów ze względu na wymagania wydawnictw odnośnie niejawności danych recenzentów.

3.6. Staże naukowe i dydaktyczne krajowe i zagraniczne

1. Kwiecień 2006 – obecnie. Centrum Techniczne Delphi Poland S.A. w Krakowie. Koordynacja projektów badawczych oraz prac dyplomowych w dywizji E/EA.
2. Listopad 2012 – staż naukowy na Technicznym Uniwersytecie w Monachium –TUM, Niemcy
3. Lipiec 2012 – wizyta naukowa na Technicznym Uniwersytecie w Darmstadt, Niemcy, Grupa Chemii Teoretycznej zajmująca się modelowaniem molekularnym oraz gruboziarnistym materiałów polimerowych.
4. Maj 2015 – wizyta naukowa na Uniwersytecie we Freiburgu

3.7. Współpraca naukowa krajowa i zagraniczna

3.7.1. Współpraca krajowa

1. Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej
2. Collegium Medicum Uniwersytet Jagielloński
3. Wojskowa Akademia Techniczna

3.7.2. Współpraca zagraniczna

W ramach prowadzonych prac badawczych oraz badawczo-rozwojowych podjęta została współpraca z:

1. Uniwersytetem we Freiburgu (Niemcy)

2. Technicznym Uniwersytetem w Monachium (Niemcy)
3. Technicznym Uniwersytetem w Darmstadt (Niemcy)
4. Uniwersytetem Queen Mary University of London (Wielka Brytania)
5. Centrum Technicznym Delphi w Wuppertall (Niemcy)
6. Centrum Technicznym Delphi w Epernon (Francja)
7. Centrum Technicznym Delphi w Warren (USA)

3.7.3. Przynależność do organizacji naukowych

1. Członek „SAE - Society of Automotive Engineers”
2. Członek International Society of Biomechanics

4. NAGRODY I WYRÓŻNIENIA

1. 2008 Nagroda “Certify of excellence”, Delphi Corporation, za rozwój metod numerycznych dla działu projektów dywizji E/EA Delphi
2. 2009 Małopolskie Stypendium Doktoranckie za osiągnięcia naukowe (Zintegrowany Program Operacyjny Rozwoju Regionalnego 2004-2006)
3. 2015 Nagroda specjalna Delphi Corporation „For development of the new numerical methods for prediction of the components lifetime" dywizja E/EA
4. Nagroda za promotorstwo najlepszej pracy teoretycznej Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH w Krakowie w roku 2014.
5. Nagroda za promotorstwo pracy wyróżnionej w konkursie Diamenty AGH w Krakowie w roku 2015.
6. Wyróżnienie dla nauczyciela akademickiego zaliczonego do grupy najwyższej ocenianych nauczycieli w badaniach ankietowych dotyczących oceny osoby prowadzącej zajęcia przeprowadzonych wśród studentów WIMiR AGH w semestrze zimowym roku akademickiego 2015/2016

5. DALSZY PLANY BADAWCZE

Na chwilę obecną kontynuuję badania trwałości oraz stabilności struktur kompozytowych z uwzględnieniem zmian właściwości w czasie eksploatacji pojazdów. Ponadto w ramach współpracy z przemysłem nadzoruję badania eksperymentalne oraz symulacyjne funkcjonalności i trwałości uszczelnień komponentów samochodowych przy użyciu metod wieloskalowych w tym modeli chemomechanicznych oraz wygładzonej hydrodynamiki cząstek (Smooth Particle Hydrodynamics – SPH). W ramach tego zagadnienia wykonywane są badania eksperymentalne oraz numeryczne ciśnieniowego testu walidacyjnego mające na celu opracowanie i dostrojenie modeli wieloskalowych służących do przewidywania szczelności i starzenia się uszczelki co bezpośrednio wpływa na trwałość i niezawodność komponentów samochodowych. Kolejnym zagadnieniem jest badanie trwałości komponentów samochodowych w ramach którego prowadzone są badania materiałowe oraz opracowywane są modele konstytutywne uwzględniające degradację i mechanikę pęknięcia nowych materiałów, stosowanych w przemyśle samochodowym. Nadzoruję również badania stabilności biopolimerów z uwzględnieniem ilości pochłoniętej wilgoci oraz dyfuzji wody w materiale. Opracowywane modele wieloskalowe służyć będą do przewidywania funkcjonalności oraz stabilności komponentów w przemyśle technicznych środków transportu, wykonanych z materiałów których właściwości mechaniczne zależą nie tylko od temperatury i prędkości odkształcenia ale również od ilości pochłoniętej wilgoci.

28.04.2016
Andrzej Młyński