

# Autoreferat

## 1. Imię i Nazwisko

Mateusz Koziół

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

- doktor inżynier, dyscyplina inżynieria materiałowa  
Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii Politechniki Śląskiej, Katowice, 2007  
Tytuł rozprawy doktorskiej: „Odporność na delaminację zszywanych laminatów polimer – włókno szklane”
- dyplom studiów podyplomowych, kierunek zarządzanie organizacjami, specjalność zarządzanie projektami  
Wydział Organizacji i Zarządzania Politechniki Śląskiej, Katowice, 2005
- magister inżynier, kierunek inżynieria materiałowa, specjalność kompozyty i tworzywa sztuczne  
Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii Politechniki Śląskiej, Katowice, 2002

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

Politechnika Śląska  
Wydział inżynierii Materiałowej i Metalurgii  
ul. Krasińskiego 8  
40-019 Katowice  
- 2009 – obecnie: adiunkt,  
- 2007 – 2009: asystent.

## 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.):

\* w przypadku, gdy osiągnięciem tym jest praca/ prace wspólne, należy przedstawić oświadczenia wszystkich jej współautorów, określające indywidualny wkład każdego z nich w jej powstanie

### a) tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego

*Technologiczne i materiałowe aspekty wytwarzania laminatów polimer - włókno metodami ciśnieniowymi*

**b) (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy)**

Moje główne osiągnięcie obejmuje monografię autorską [1] oraz rozdziały 4 – 9 monografii współautorskiej [2]:

Lp.	Autorzy	Tytuł	Rok	Wydawnictwo	Recenzenci wydawniczy
[1]*	Mateusz Koziół	Nasycanie ciśnieniowo-próżniowe zszywanych oraz tkanych trójwymiarowo preform z włókna szklanego	2016	Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice	Prof. dr hab. inż. Izabella Hyla Dr hab. inż. Wojciech Błażejowski
[2]	Mateusz Koziół, Henryk Rydarowski	Wytwarzanie wyrobów z laminatów żywica utwardzalna - włókno na przykładzie łopaty wentylatora przemysłowego	2014	Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice	Prof. dr hab. inż. Gabriel Wróbel

\* dane bibliograficzne publikacji cytowanych w całym tekście autoreferatu są zawarte w załączonym wykazie dorobku naukowego, zgodnie ze stosowaną numeracją

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

*Cele osiągnięcia*

Badania przeprowadzone w ramach osiągnięcia mają na celu weryfikację następującej tezy:

„Uwzględnienie wielu właściwości materiałowych oraz technologicznych komponentów stosowanych w procesie wytwarzania laminatu kompozytowego, a także niektórych fizycznych aspektów samego procesu, może prowadzić do istotnego usprawnienia przebiegu tego procesu, zwiększenia jego przewidywalności, jak również do polepszenia właściwości uzyskanego wyrobu”.

Cele naukowe osiągnięcia są następujące:

- Określenie wpływu przepuszczalności i wchłanianości preformy na szybkość przepływu przez nią żywicy.
- Określenie wpływu szybkości przepływu żywicy przez preformę podczas procesu nasycania na właściwości mechaniczne wytworzonych laminatów.
- Określenie wpływu struktury preformy wzmacniającej poddanej nasycaniu ciśnieniowemu na jakość i właściwości mechaniczne wytworzonych laminatów.
- Określenie wpływu objętości porcji żywicy na charakterystykę temperaturowo - czasową procesu jej sieciowania oraz wpływ tej charakterystyki na właściwości mechaniczne żywicy po utwardzeniu.
- Określenie wpływu deformacji struktury wzmocnienia, powstałych podczas jej przygotowania do procesu formowania, na właściwości mechaniczne wytworzonych laminatów.
- Określenie błędu czasu napełniania preformy wyznaczonego w symulacji numerycznej w stosunku do rzeczywistego procesu infuzji próżniowej, w ustalonych warunkach.
- Określenie opłacalności stosowania procesów ciśnieniowego nasycania preform do wytwarzania wyrobów z laminatów, na tle metody ręcznej.
- Określenie sekwencji projektowej i technologicznej dla wytworzenia skorupowego wyrobu z laminatu polimerowo-włóknistego.

Celem praktycznym osiągnięcia jest usprawnienie przebiegu procesów technologicznych ciśnieniowego formowania laminatów i stworzenie wytycznych dla uzyskania tymi metodami wyrobów wysokiej jakości.

### ***Realizacja celu***

Cel naukowy zrealizowałem poprzez wykonanie badań obejmujących eksperymentalną analizę poszczególnych czynników technologicznych związanych z ciśnieniowym wytwarzaniem wyrobów z laminatów, prowadzącą do weryfikacji postawionej tezy. Wyniki tych prac przedstawiłem w ramach monografii [1] oraz [2].

Monografia [1] zawiera analizę wybranych czynników - wymienionych w opisie celów naukowych - wpływających na przebieg procesu formowania ciśnieniowego laminatów polimerowych metodami RTM (ang. resin transfer moulding, pol. formowanie ciśnieniowo-próżniowe) i infuzji próżniowej oraz na właściwości mechaniczne wytworzonych laminatów. Przedstawione czynniki są często pomijane w analizach literaturowych. Rzadko też są uwzględniane w procesie projektowania wyrobów lub przy planowaniu procesów technologicznych. Ocenę wpływu poszczególnych czynników prowadziłem z użyciem oryginalnych rozwiązań badawczych i analitycznych.

Podstawą analizy procesów nasycania ciśnieniowego RTM oraz infuzji próżniowej dla wybranych preform były pomiary szybkości przepływu żywicy. Przeanalizowałem problematykę procesów oraz przeprowadziłem kompleksową analizę porównawczą skuteczności i czasu nasycania oraz jakości laminatów wytworzonych na bazie danych preform, w danych warunkach procesu. Pozwoliło to na wyciągnięcie wniosków co do stosowalności poszczególnych typów preform.

Przykładem oryginalnego rozwiązania badawczego zastosowanego w ramach osiągnięcia jest adaptacja pomiaru profilografometrem optycznym do analizy wchłaniania żywicy przez materiał preformy wzmacniającej. Metoda ta została opracowana i przedstawiona w ramach pracy [13]. Analiza prezentowana w monografii [1] jest jednym z pierwszych jej zastosowań w badaniach wzmocnień dla materiałów kompozytowych. Metoda pozwoliła w sposób kompleksowy ocenić wchłanianie kropli żywicy przez badane preformy, umożliwiając zarówno określenie szybkości tego wchłaniania, jak i wnioskować na temat mechanizmu wchłaniania. Analiza ta miała duże znaczenie dla wyjaśnienia wyników pomiarów szybkości nasycania badanych preform w procesach ciśnieniowych.

Innym ważnym zagadnieniem podjętym w monografii [1] jest analiza wpływu objętości porcji sieciowanej żywicy na przebieg procesu jej sieciowania i na właściwości mechaniczne po utwardzeniu. Analizę przeprowadziłem na dwóch rodzajach żywicy (poliestrowej i epoksydowej). Uzyskane wyniki wskazują na dużą intensywność wpływu objętości na czas żelowania żywicy oraz maksymalną temperaturę procesu sieciowania (tzw. temperaturę szczytu), szczególnie w zakresie od kilku do ponad 100 cm<sup>3</sup>. Stawia to pod znakiem zapytania skuteczność obowiązujących norm w zakresie wyznaczania czasu żelowania oraz temperatury szczytu żywic – normy nakazują, zależnie od rodzaju prób i gatunku żywicy, użycie porcji o wielkości 25 – 50 cm<sup>3</sup>. Moja analiza przyczyniła się do usystematyzowania zagadnienia wpływu objętości porcji żywicy na intensywność procesu jej sieciowania, które jest pomijane w literaturze fachowej. Być może, docelowo stanie się przedmiotem inicjacji dyskusji dotyczącej ewentualnych zmian w wyżej wspomnianych normach.

Kolejnym przykładem zaprezentowanego oryginalnego rozwiązania jest ocena deformacji wzmocnienia laminatu spowodowanej zszywaniem, poprzez pomiar kąta deformacji w kierunku wysokości preformy. Dotychczasowe podejście badaczy również opierało się na

miarze kąta deformacji, ale jedynie w płaszczyźnie warstw laminatu – w której deformacja jest z reguły mniejsza. Skutkowało to niedoszacowaniem wpływu deformacji struktury laminatu spowodowanej zszywaniem na właściwości mechaniczne laminatu. Zastosowane przeze mnie podejście skutkuje dokładniejszą oceną właściwości mechanicznych laminatu zszywanego, szczególnie przy zginaniu.

Innym nowatorskim rozwiązaniem badawczym zastosowanym przeze mnie jest metodyka oceny wpływu zaokrąglenia płyt z laminatów na ich wytrzymałość i moduł sprężystości. Metoda opiera się na alternatywnym zastosowaniu oceny materiału przy zginaniu (dla kierunku promieniowego) i rozciąganiu (dla kierunku osiowego), z następnym porównaniem procentowych zmian odpowiednich wyznaczonych charakterystyk mechanicznych. Daje to możliwość oceny wytrzymałości oraz modułu sprężystości laminatu zaokrąglonego zarówno w kierunku promieniowym, jak i osiowym w stosunku do zaokrąglenia. Po odniesieniu wyznaczonych charakterystyk do charakterystyk ekwiwalentnego laminatu płaskiego można ocenić wpływ zaokrąglenia na przedmiotowe charakterystyki. Na bazie przeprowadzonych badań stwierdziłem, że zaokrąglenie powoduje pogorszenie wytrzymałości oraz modułu sprężystości laminatów nawet o kilkanaście procent. Jednocześnie wykazałem, że badane laminaty zszywane oraz tkane 3D ujawniły mniejsze spadki wytrzymałości oraz modułu spowodowane zaokrągleniem, w porównaniu z podobnymi laminatami klasycznymi (wzmacnianymi tkaniną krzyżową).

W ramach kompleksowej analizy procesów ciśnieniowego formowania laminatów, opracowałem także uproszczoną metodykę symulacji procesu infuzji próżniowej z użyciem oprogramowania do analizy przepływu (program komputerowy PAM-RTM). Metoda uproszczona pozwala na określenie przepuszczalności pakietu wzmocnienia w określonych warunkach (zgodnych z rzeczywistymi warunkami realizacji procesu), w oparciu o wyniki prostych eksperymentów technologicznych, możliwych do wykonania we własnym zakresie nawet przez niewielkiego wytwórcę. Przeprowadzone prace potwierdziły przydatność zaproponowanej metodyki w planowaniu procesów ciśnieniowych i jednocześnie pokazały relatywnie duże (od kilkudziesięciu do nawet dwustu procent) wielkości błędów czasu symulacji przepływu żywicy przez preformę, w stosunku do rzeczywistego procesu. Znajomość trendu błędów symulacji umożliwia jednakże ich ewentualną korektę, co jest wykonalne z użyciem przedstawionej metodyki.

Jako element kompleksowej analizy procesów ciśnieniowego formowania laminatów opracowałem również metodykę ekonomicznej oceny wytwarzania średniej wielkości wyrobu kompozytowego. Podstawą tejsze oceny było porównanie kosztów oraz zysków z produkcji przedmiotowego elementu trzema alternatywnymi metodami: ręczną, infuzji próżniowej oraz RTM, przy uwzględnieniu wydajności. W wyniku analizy stwierdziłem, że zastosowanie metod ciśnieniowych (infuzja, RTM) pozwala na uzyskanie wielokrotnie wyższych miesięcznych zysków, niż wytwarzanie metodą ręczną. Jest to jednak praktycznie wyłącznie wynikiem zwiększenia wydajności (co wiąże się z koniecznością zapewnienia zbytu na większą ilość wyrobów).

Przedstawione w monografii [1] wyniki i wnioski stanowią uzupełnienie stanu wiedzy dotyczącej projektowania struktury i cyklu technologicznego wytwarzania wyrobów z laminatów. Kompleksowe uwzględnienie przedmiotowych aspektów stanowi nowe ujęcie problemu nasycania preform włóknistych. Na podstawie uzyskanych wniosków wykazałem, zgodnie z postawioną tezą, że wpływ przeanalizowanych czynników na przebieg procesu wytwarzania oraz na finalną jakość wyrobu, jest znaczący. Większość wyników zawartych w monografii [1] uzyskałem w ramach realizacji projektu badawczego własnego (nr N N508 628640, lata realizacji 2011 - 2013).

W rozdziałach 4 – 9 monografii [2] przedstawiłem własną koncepcję cyklu wytworzenia z laminatu wyrobu o konstrukcji skorupowej, na przykładzie 1-metrowej łopaty wentylatora. Pod pojęciem „wyrób skorupowy” należy rozumieć wyrób, w którym obciążenia są przenoszone zasadniczo przez ściankę (skorupę), bez dodatkowych elementów nośnych. Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że przy uwzględnieniu na etapie projektowania odpowiednich czynników strukturalnych wzmocnienia i odpowiedniej modyfikacji rdzenia piankowego, jest możliwe w pełni skuteczne wytworzenie na bazie preformy włóknistej wyrobu skorupowego o prawie zamkniętym kształcie. Stwierdzono też, że wytworzone łopaty cechują się znacznie lepszą odpornością na obciążenie mechaniczne, niż ekwiwalentne łopaty wytworzone tradycyjnie – tzn. poprzez niezależne uformowanie dwóch półskorup i ich sklejenie. Należy podkreślić, że właśnie złącze klejowe spajające półskorupy jest najsłabszym obszarem łopaty pod względem mechanicznym. Stwierdzono, że eliminacja złącza skutkuje też bezpieczniejszym typem rozwoju zniszczenia, w porównaniu z łopatomi klejonymi (typowa dla kompozytu stopniowa utrata nośności, w porównaniu z gwałtownym pękaniem dużych przekrojów złącza klejowego).

W wyniku przeprowadzonych prac sformułowano w sumie trzy zgłoszenia patentowe. Pierwsze z nich [39], zatytułowane „Sposób wytwarzania kompozytowej łopaty wentylatora” (11 zastrzeżeń), zawiera szczegóły technologiczne koncepcji wytworzenia łopaty kompozytowej na bazie lekkiego rdzenia. Zastrzeżeniu poddano m.in. sposób ułożenia pakietu warstw wzmacniających na rdzeniu tak, aby uzyskać wyrób bez łączenia połówek oraz sposób zabezpieczenia rdzenia cienkim filmem żywicznym (uniknięcie wchłaniania żywicy przez rdzeń podczas procesu nasycania). Drugie zgłoszenie [38] pod tytułem „Sposób wytwarzania wyrobu z kompozytu żywica-włókno” (7 zastrzeżeń) zawiera koncepcję wytworzenia elementu skorupowego z laminatu, uzyskiwanego bez złącz klejowych. Nowością jest metoda spieniania rdzenia podczas procesu wytwarzania oraz koncepcja zastosowania elastycznego zbiornika rozporowego jako tymczasowego rdzenia na czas utwardzania wyrobu. Trzecie zgłoszenie patentowe [37] (patent przyznany), zatytułowane „Urządzenie do prób zmęczeniowego uginania łopat wentylatorowych” (4 zastrzeżenia), zawiera koncepcję urządzenia pozwalającego w prosty sposób testować łopaty wentylatorowe (ale również dowolne inne wyroby o zbliżonej do łopat geometrii) w próbach zmęczeniowych lub w próbach obciążania statycznego. Zastrzeżenia dotyczą m.in. rozwiązań konstrukcyjnych związanych z mocowaniem przedmiotu pomiaru i jego ułożeniem, co skutkuje dużą uniwersalnością urządzenia, zarówno pod względem geometrii badanego przedmiotu, jak i metodyki samego pomiaru.

Wnioski przedstawione w monografii [2] i uzyskane doświadczenie technologiczne dowodzą, że postawiona wyżej teza jest prawdziwa. Wyniki zawarte w monografii uzyskałem w ramach realizacji projektu badawczego LIDER (nr LIDER/08/31/L-2/10/NCBiR/2011, lata realizacji 2011 - 2014).

### ***Uzyskane efekty***

Do efektów uzyskanych w trakcie tworzenia mojego głównego osiągnięcia należą:

- 1) Zbiór ogólnych wytycznych dla planowania procesów wytwarzania wyrobów z laminatów przy użyciu technologii ciśnieniowych infuzji próżniowej oraz RTM (monografia [1]).
- 2) Wytyczne dla przygotowania wdrożenia wyrobu z laminatu średniej wielkości, na przykładzie łopaty wentylatorowej (rozdziały 4 - 9 monografii [2]), poparte zgłoszeniami patentowymi [38] i [39] (technologia) oraz przyznanym patentem [37] (urządzenie i metoda badawcza).

## ***Znaczenie osiągnięcia i jego potencjalne wykorzystanie***

Osiągnięcie jako całość ma duże znaczenie dla stanu nauki oraz dla profesjonalistów zajmujących się technikami wytwarzania wyrobów z laminatów polimer – włókno. Może ono zainspirować do modyfikacji stosowanych metod wytwarzania (np. przejścia z metody ręcznej na ciśnieniową). Uzyskane wyniki mogą też stanowić inspirację dla nowego podejścia projektowego (bądź uzupełnić stosowane dotąd algorytmy projektowe), jak i dla poszerzenia stosowania metod numerycznych w planowaniu procesów wytwórczych.

Należy nadmienić, że publikowane przeze mnie, po uzyskaniu stopnia doktora, publikacje dotyczące laminatów o wzmocnieniu 3D (czyli zawierającym dodatkowe elementy wzmacniające w kierunku translaminarnym) są jedynymi z tej dziedziny publikowanymi przez autorów z polski. Również przeprowadzone przeze mnie prace badawcze dotyczące technologii formowania laminatów metodami RTM i infuzji próżniowej są jedynymi z nielicznych w Polsce.

## **5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych (artystycznych)**

### ***Osiągnięcia naukowo - badawcze habilitanta poza osiągnięciem głównym***

Pozostałe osiągnięcia wliczane do mojego dorobku habilitacyjnego, dotyczące różnych zagadnień, zostały zebrane w grupy tematyczne odrębnie zatytułowane. Przedstawiłem je poniżej.

#### ***I. Technologiczne i materiałowe aspekty wytwarzania laminatów polimer - włókno metodami ciśnieniowymi cz.2 – prace tematycznie zbliżone do osiągnięcia głównego***

##### ***I.I. Artykuły zawierające wyniki zaprezentowane w monografiach [1] i [2]:***

Wyniki i analizy zawarte w artykułach [6], [7], [14], [16], [21], [24] oraz [48] – [50] zostały zamieszczone, w całości lub w części, w ramach monografii [1] oraz [2]. Fragmenty monografii zawierające wyniki przedmiotowych artykułów zostały opatrzone odpowiednimi odnośnikami literaturowymi.

##### ***I.II. Artykuły o tematyce zbliżonej do monografii [1] i [2] (zostały podzielone na sześć podgrup odmiennych przedmiotowo):***

- W artykułach [27] oraz [29] przedstawiłem próbę oszacowania wpływu właściwości podstawowych komponentów kompozytu (włókien i osnowy) na jego wynikowe właściwości.

Stwierdziłem wpływ właściwości mechanicznych osnowy na właściwości kompozytu – ze zwiększeniem modułu i wytrzymałości osnowy rośnie moduł i wytrzymałość kompozytu. Należy jednak podkreślić, że spośród badanych osnow, te o gorszych właściwościach mechanicznych skutkują laminatami o zadowalających właściwościach mechanicznych. Z kolei, zależność właściwości mechanicznych laminatu od materiału i postaci włókien wzmacniających jest bardzo silna. Stwierdzono jednocześnie, że zastosowanie włókien zwiększających wytrzymałość oraz moduł sprężystości laminatu powoduje znaczące pogorszenie jego odkształcalności. Uzyskane wyniki potwierdzają przewidywania teoretyczne i stanowią wartościowe źródło odniesienia.

- W artykułach [10] oraz [22] przedstawiono próbę oceny powtarzalności właściwości mechanicznych laminatów uzyskiwanych metodą ręczną oraz metodami ciśnieniowymi (infuzji próżniowej i RTM). Głównym kryterium oceny powtarzalności było porównanie współczynnika zmienności wyników prób mechanicznych dla poszczególnych populacji próbek.

Stwierdzono, że laminat wzmocniony matą wytworzony metodą infuzji próżniowej wykazuje lepsze właściwości mechaniczne, niż ekwiwalentny laminat wytworzony ręcznie. Laminaty wytworzone ręcznie wykazują gradientową zmianę właściwości mechanicznych w kierunku od krawędzi do środka. Laminaty wytworzone metodą infuzji próżniowej, przy jednokierunkowym przepływie żywicy, także wykazują gradient tychże właściwości - w kierunku od krawędzi zasilającej do krawędzi ssącej. Współczynnik zmienności (V) wyników prób mechanicznych dla laminatów wytworzonych ręcznie był od 30% do 400% (w zależności od typu wzmocnienia) wyższy niż dla laminatów wytworzonych metodą infuzji próżniowej. Świadczy to o lepszej powtarzalności właściwości mechanicznych laminatów wytwarzanych metodami ciśnieniowymi, w porównaniu do laminatów wyprodukowanych ręcznie. Porównanie laminatów wytworzonych metodami infuzji próżniowej i RTM wskazuje na lepszą powtarzalność laminatów wyprodukowanych poprzez RTM.

- W artykułach [19] i [20] przedstawiono próbę oceny możliwości technologicznych stosowania żelkotu w procesach ciśnieniowego wytwarzania płyt z laminatów (metodami RTM oraz infuzji próżniowej), a także wpływu jakości uzyskanej powłoki żelkotowej na właściwości mechaniczne laminatów.

Stwierdzono, że przy zastosowaniu odpowiedniej sekwencji technologicznej stosowanie żelkotu w technologiach infuzji próżniowej oraz RTM skutkuje wytworzeniem wyrobu wysokiej jakości. Uzyskane powłoki bardzo dobrze przylegały do struktury laminatu, a jakość powierzchni była bardzo dobra, co potwierdzono za pomocą analizy profilografometrycznej. Co istotne, analiza ta wykazała, że jakość powierzchni laminatu z powłoką żelkotową jest lepsza, niż powierzchnia laminatu bez takiej powłoki uzyskanego tą samą technologią, z użyciem tej samej formy. Nie stwierdzono istotnego wpływu obecności powłok żelkotowych na właściwości mechaniczne badanych laminatów wyznaczone w próbach statycznego zginania.

- W cyklu artykułów: [26], [31], [32], [35] oraz [52], przedstawiono wyniki prób technologicznych nasycania ciśnieniowego preform różnych pod względem strukturalnym i materiałowym, a także o różnym kształcie.

Bazując na eksperymentach przeprowadzonych w ramach prac [26], [52] oraz [35] stwierdzono, że czas procesu nasycania ciśnieniowego preform włókna szklanego oraz jego skuteczność zależą od - właściwej dla danego typu żywicy - apretury położonej na włókna.

Próby przeprowadzone z użyciem lekkich rdzeni (pianki polimerowe, tkaniny „wstające”) w pracach [26], [52] oraz [31] wykazały, że tkaniny wstające nie nadają się dla procesów ciśnieniowych. W przypadku infuzji próżniowej nie jest możliwy efekt „wstawiania” (docisk worka), zaś w przypadku procesu RTM następuje wypełnienie przestrzeni komorowej tkanin dużą ilością żywicy. Zastosowanie rdzenia z pianki wymaga jego lokalnego nacięcia, w celu ułatwienia przepływu żywicy. Stwierdzono, że nacięty rdzeń napełnia się częściowo żywicą (w okolicy nacięcia), co prowadzi do zwiększenia podatności laminatu na pęknięcie. Układ nacięć rdzenia należy zaplanować tak, aby ich ilość była możliwie jak najmniejsza, ale aby zapewniły nasycenie całej preformy. Nie powinno się stosować nacięć zbyt głębokich (np. na wskroś całego przekroju rdzenia). Prawidłowo nacięty rdzeń jest

elementem bardzo dobrze poprawiającym sztywność elementów laminatowych wytwarzanych ciśnieniowo.

Innym rozwiązaniem wypełniania przestrzeni w konstrukcjach z laminatów są maty złożone z chaotycznie ułożonych włókien naturalnych. Na podstawie eksperymentów przeprowadzonych w pracy [31] stwierdzono, że maty tego typu ułożone jako rdzenie preform włóknistych dobrze wpływają na przebieg nasycania ciśnieniowego (ułatwiają przepływ żywicy). Jednakże, ze względu na słabą zwilżalność żywicą i bardzo słabe właściwości mechaniczne, materiały te nieszczególnie nadają się na rdzenie usztywniające jako substytut pianek polimerowych.

Wytwarzanie rur metodą RTM jest przedmiotem pracy [32]. Metoda RTM nie jest popularną technologią produkcji rur z kompozytów. Jednakże, jej zastosowanie jest celowe dla rur o szczególnie dużych wymogach co do wytrzymałości i odporności na pękanie. Przykładem są tu wysokociśnieniowe rury dla górnictwa, które wymagają obustronnej gładkości, nieosiągalnej w przypadku najpopularniejszej dla rur kompozytowych technologii nawijania. Uzyskane w ramach pracy rury cechowały się wysoką jakością powierzchni i przyzwoitymi właściwościami wytrzymałościowymi w obydwu kierunkach (osiowym i promieniowym). Jednakże, ze względu na konieczność zachowania relatywnie dużego „luzu” warstw wzmacniających podczas nakładania na formę (inaczej, niż w przypadku formowania płyt) problematyczne okazało się uzyskanie zadowalającego poziomu udziału włókien w materiale. Skuteczne wytwarzanie rur metodą RTM wymaga prowadzenia dalszych prac badawczych.

- Artykuły przeglądowe [34] oraz [36] to pierwsze w Polskim piśmiennictwie fachowym kompilacje wiedzy dotyczącej wzmocnień oraz laminatów 3D. Zawierają one zarówno wyniki moich prac, jak i wyniki badań innych autorów.

Wzmocnienia 3D znacząco poprawiają wydajność procesów ciśnieniowego formowania laminatów, co ma znaczenie szczególnie przy produkcji seryjnej (nie ma potrzeby składania preformy z pojedynczych warstw). Pod względem właściwości mechanicznych, wzmocnienia 3D znacząco poprawiają odporność elementów laminatowych na rozwój pęknięć delaminacyjnych. Jednocześnie, obecność translaminarnych elementów wzmocnienia ma z reguły niekorzystny wpływ na wytrzymałość laminatu w kierunkach głównych. Jedynie w strukturach o bardzo dobrej organizacji pasm wzmocnienia (np. tkaniny 3D) obecność elementów translaminarnych nie wpływa na wytrzymałość laminatu w kierunkach głównych.

- Artykuły [25] oraz [51] dotyczą zastosowania metody RTM do wytworzenia płyt z laminatów na bazie zaawansowanych trójwymiarowych struktur wzmacniających.

Na podstawie eksperymentów stwierdzono, że płyty laminatowe na bazie szklanych plecionek, pomimo większej odkształcalności struktury preform, wykazują właściwości mechaniczne porównywalne z laminatami wzmacnianymi tkaniną rowingową o ekwiwalentnej gramaturze. Cechują się za to większą odkształcalnością, niż laminaty na bazie tkanin rowingowych, co rozszerza możliwości ich stosowania. Również większa odkształcalnością samych preform pozwala na szerszą stosowalność plecionek w procesach technologicznych.

Z kolei laminat na bazie dzianiny węglowej wykazał doskonałe właściwości mechaniczne (m.in. moduł sprężystości powyżej 40 GPa), co predestynuje ten materiał do najbardziej odpowiedzialnych zastosowań konstrukcyjnych. Jednocześnie, materiał ten cechuje się dużą anizotropią właściwości, co wymaga starannego projektowania wyrobów.



## ***II. Właściwości mechaniczne oraz przebieg zniszczenia laminatów o wzmocnieniu z włókna szklanego zszywanym i 3D, oraz z włókien naturalnych***

### *II.1. Zastosowanie emisji akustycznej oraz wibroakustyki do analizy przebiegu zniszczenia laminatów:*

W cyklu siedmiu artykułów: [4], [5], [8], [12], [33], [40] oraz [45], przedstawiono głównie nowatorską metodę analizy przebiegu zniszczenia przykładowych laminatów, podczas statycznego zginania, z wykorzystaniem metody wibroakustycznej. Polega ona na jednoczesnej zsynchronizowanej bezdotykowej rejestracji emitowanego przez wyteżony materiał sygnału dźwiękowego oraz mechanicznych drgań próbki i nałożenie tychże sygnałów na rejestrowaną równoległe krzywą mechaniczną. Analizie poddano laminaty wzmocnione włóknem szklanym w postaci tkaniny klasycznej, zszywanej oraz 3D, a także dodatkowo dla celów porównawczych - włóknem naturalnym. W celu dodatkowego uwiarygodnienia otrzymanych wyników wibroakustycznych, w ramach części prac analizowano dodatkowo wyniki wizualizacji fotograficznej oraz wyniki rejestracji emisji akustycznej (mierzonej kontaktowo).

W zakresie wykorzystania pomiarów emisji akustycznej do oceny przebiegu zniszczenia laminatów w trakcie prób zginania, udoskonalono metodykę separacji sygnału na składowe pochodzące od pęknięcia włókien i pęknięcia osnowy, z wykorzystaniem energii zdarzenia. Pozwala ona separować sygnał pomimo ekstensywnego charakteru energii zdarzenia (nie wiemy czy to pęknięcie osnowy, czy włókien odpowiada danemu sygnałowi). Stosując jako próbkę wzorcową belkę z samego materiału osnowy, o przekroju równym przekrojowi badanej belki z laminatu, rejestrowano energię kruchego zniszczenia owego przekroju dla samej osnowy. Energia pęknięcia żywicy w belce laminatu nie może być wyższa, niż dla belki samej osnowy (przekrój osnowy będzie mniejszy, bo część przekroju zajmują włókna). Tak więc, wszystkie zdarzenia o energii większej, niż pęknięcie całego przekroju belki z samej osnowy, należy przypisać pękaniu włókien. Metoda ta jest mało subtelna i nie rejestruje zdarzeń odpowiadających niemasowemu pękaniu pojedynczych włókien lub niedużych ich pasm (czyli początkowi procesu zniszczenia laminatu), gdyż będą one zakłócone masą punktów przypisywanych pękaniu osnowy. Stąd zrodził się pomysł zastosowania znacznie dokładniejszej metody wibroakustycznej.

Stwierdzono, że metoda wibroakustyczna bardzo dobrze nadaje się do analizy przebiegu zniszczenia laminatów. Cechuje się ona wysoką precyzją i bardzo dobrą rozdzielczością (znacznie większą, niż np. rejestracja zmian siła – przemieszczenie na maszynie wytrzymałościowej). Stwierdzono, że pierwsze ewidentne oznaki zniszczenia laminatu (pęknięcie niewielkiej ilości elementarnych włókien) pojawiają się poniżej 30% odkształcenia odpowiadającego wytrzymałości. Jest to etap wcześniejszy, niż wskazują przewidywania teoretyczne oraz przeprowadzone analizy krzywych mechanicznych. Potwierdzono także przebieg zniszczenia laminatów zgodny z wcześniejszymi obserwacjami (m.in. opisanymi w moim doktoracie oraz artykule [33]), rozpoczynający się od delaminacji w górnej części próbki zginanej. Można powiedzieć, że badania te stanowią kontynuację prac prowadzonych w moim doktoracie, z wykorzystaniem nabytych umiejętności i warsztatu.

Do współpracy w zakresie stosowania metod wibroakustycznych w analizie zniszczenia laminatów zaprosiłem dr hab. inż. Tomasza Figlusa prof. nzw. w P.Ś., uznanego eksperta od analizy sygnałów i od metodyki pomiarowej drgań i hałasu. W efekcie prowadzonych prac zgłosiliśmy wspólnie patent [40], dotyczący sposobu wykrywania i oceny efektów zniszczenia w zginanym laminacie przy pomocy jednoczesnego pomiaru drgań i hałasu. Prace z użyciem opracowanej metody wibroakustycznej będą kontynuowane w zakresie uprecyzjowania separacji sygnałów pochodzących od pęknięcia włókien i od pęknięcia osnowy.

## *II.II. Zastosowanie oprzyrządowanego młota udarowego do analizy przebiegu zniszczenia laminatu w próbach dynamicznego zginania:*

W pracy [46] przedstawiłem próbę oszacowania poziomu właściwości oraz przebiegu zniszczenia laminatu wzmocnionego tkaniną 3D w próbach udarowego zginania na oprzyrządzonym młocie Charpy'ego. Jako materiału porównawczego użyłem laminatu wzmocnionego preformą klasyczną (rowingowa tkanina krzyżowa) o podobnej gramaturze. Stwierdziłem, że uzyskane w próbach udarowego zginania wartości maksymalnego obciążenia są dla laminatu 3D porównywalne z tymi dla laminatu klasycznego, przy czym laminat 3D wykazał większą odkształcalność. Jednocześnie, laminat 3D wykazał całkowitą energię zniszczenia na poziomie zbliżonym do laminatu klasycznego, ale cechował się wyraźnie niższą energią inicjacji zniszczenia (szczególnie przy kierunku obciążania prostopadłym do pasm przeplotu translaminarnego). Ogólnie, stwierdziłem podobieństwo uzyskanych dla badanych laminatów krzywych zginania udarowego z odpowiednimi krzywymi uzyskanymi w próbach statycznych. Oznacza to brak fundamentalnego wpływu szybkości odkształcania na przebieg zniszczenia badanych typów laminatów w warunkach zginania 3-punktowego.

## *II.III. Odpowiedź mechaniczna oraz przebieg zniszczenia laminatu w próbach symetrycznego obciążania na podporze kołowej:*

W pracy [41] przeanalizowano wstępnie zagadnienie odpowiedzi mechanicznej laminatu obciążanego dwuosiowo. Jest to zagadnienie bardzo ważne z punktu widzenia stosowalności laminatów, szczególnie gdy tworzą one płyty, skorupy samonośne lub powłoki. Jedynie przy dwuosiowym obciążaniu można skutecznie określić rzeczywistą nośność oraz sztywność tego typu elementów – próby jednoosiowe dostarczają jedynie wartości, które mogą stanowić warunki brzegowe dla analiz modelowych opartych na obliczeniach.

Przyjęte warunki (podpora kołowa i jej wymiary) zostały określone w nawiązaniu do znormalizowanych prób udarowych z użyciem spadającego ciężarka. Celem było porównanie zachowania laminatów w podobnych warunkach podparcia, ale przy znacząco różnej szybkości obciążania. Można powiedzieć, że przyjęta metodyka jest adaptacją tychże prób udarowych, w warunkach statycznych.

Wstępne prace nad zagadnieniem potwierdziły, że podejście obliczeniowe jest bardzo trudne i jako metodę wyznaczenia naprężeń przyjęliśmy wraz ze współautorami modelowanie numeryczne z użyciem oprogramowania ALGOR. Aktualnie, po przejściu przez kilka etapów modelowania uproszczonego, udało się uzyskać bardzo dobrą zgodność modelu z wynikami eksperymentów przy zastosowaniu podejścia kontaktowego (wierne odtworzenie rzeczywistych warunków przyłożenia obciążenia). W najbliższym czasie zostanie zgłoszona pierwsza publikacja o zasięgu międzynarodowym zawierająca aktualne wyniki modelowania.

## **III. Możliwości zastosowania włókien naturalnych jako wzmocnienia laminatów**

Cykl 13 artykułów: [13], [15], [17], [18], [28], [30], [53], [54] oraz [55 – 59], zawiera wyniki prac badawczych związanych z zastosowaniem włókien naturalnych (głównie juta i len) jako wzmocnienia laminatów na osnowie żywic utwardzalnych. Większość prac została zrealizowana w ramach projektu badawczego własnego (nr N N508 440936, kierownik Jerzy Myalski, lata realizacji 2009 – 2011), którego byłem współwykonawcą. Część wyników zawartych w sprawozdaniu z tego projektu nie została dotąd opublikowana.

Stwierdzono, że włókna naturalne mogą być stosowane jako wzmocnienia laminatów, jednak wyłącznie przy spełnieniu określonych warunków jakościowych. Głównym z nich jest uzyskanie (np. na drodze obróbki fizykochemiczno - mechanicznej) bardzo dobrej jednokierunkowości ułożenia elementarnych pasm włókien oraz dobór preparacji chemicznej włókien poprawiającej ich połączenie z osnową. Spośród przygotowanych i przebadanych w ramach pracy włókien lnu wyodrębniono jeden typ dla którego uzyskano w laminatach wytrzymałość na rozciąganie wynoszącą ok. 120 MPa (układ krzyżowy, splot płócienny). Jest to w przybliżeniu 1/3 wytrzymałości laminatu wzmocnianego włóknem szklanym, ekwiwalentnego pod względem ułożenia włókien oraz ich udziału objętościowego. Biorąc pod uwagę znacznie niższą gęstość włókien naturalnych, w porównaniu ze szklanymi, względna wytrzymałość odniesiona do masy jest dla tych dwóch laminatów w przybliżeniu równa. Taki wynik świadczy o możliwości zastosowania wysokojakościowych włókien naturalnych jako wzmocnień dla laminatów konstrukcyjnych. Należy jednak podkreślić, że koszt przygotowania wysokojakościowych włókien naturalnych jest wysoki, a ich aktualna cena rynkowa jest zbliżona do ceny włókien węglowych lub poliaramidowych.

Stwierdzoną cechą preform z włókien naturalnych są ich dobre właściwości technologiczne, w kontekście procesów ciśnieniowego nasycania żywicą. Po odpowiedniej modyfikacji chemicznej (z zastosowaniem alkaliów) preformy te – zarówno z gęsto upakowanych włókien wysokojakościowych, jak i z tych gorzej ukierunkowanych – wykazują bardzo dobrą przepuszczalność. Powoduje to możliwość ich zastosowania jako materiałów polepszających właściwości technologiczne różnych stosów włóknistych – np. jako elementy wzmocnień hybrydowych lub przekładkowych.

#### ***IV. Zastosowanie nanododatków jako modyfikatorów żywic przeznaczonych na osnowy kompozytów polimer-włókno***

W artykule [3] przedstawiono szeroki zakres wyników badań żywicy epoksydowej z dodatkiem niewielkich ilości grafenu płatkowego oraz nanorur węglowych.

Przeprowadzone badania w zakresie m.in.: zdolności płynięcia, zwilżalności szkła, temperaturowego przebiegu sieciowania, właściwości mechanicznych po utwardzeniu, miały na celu ocenę sensu stosowania przedmiotowych nano-modyfikatorów węglowych w żywicach przeznaczonych na laminaty polimer-włókno. Stwierdzono m.in., że: dodatek grafenu nadaje żywicy nieznaczną tiksotropię, dodatek zarówno grafenu, jak i nanorur nieznacznie (ale wyraźnie) poprawia zwilżalność szkła przez żywicę, dodatek grafenu obniża temperaturę szczytu podczas procesu sieciowania i zmniejsza intensywność przebiegu tego procesu, dodatek nanorur lub grafenu obniża skurcz sieciowania żywicy oraz twardość po utwardzeniu i jednocześnie podnosi udarność, dodatek grafenu podnosi wytrzymałość laminatu na ścinanie międzywarstwowe o ok. 20%.

Przeprowadzony program badań żywic modyfikowanych grafenem i nanorurami jest wstępnym etapem prac mających na celu polepszenie właściwości i funkcjonalności laminatów polimer-włókno na drodze dodawania nano-modyfikatorów (nie tylko węglowych) do materiałów osnowy. Prace te prowadzę we współpracy z naukowcami z Instytutu Fizyki Politechniki Śląskiej. Najnowszym podjętym kierunkiem wspólnych badań jest modyfikacja żywicy nanocząstkami SbSI i zastosowanie jej jako czujnika odkształceń stanowiącego część struktury materiału. Rozwiązanie to jest przedmiotem zgłoszenia patentowego (w trakcie przygotowania).

## ***V. Wytworzenie antyhałasowych struktur warstwowych***

Artykuł [23] zawiera wstępne wyniki badania właściwości mechanicznych struktur warstwowych na bazie pian poliuretanowych. Struktury te są przeznaczone do wygłuszenia akustycznego stanowisk roboczych w halach fabrycznych.

Wyniki przedstawione w artykule zostały uzyskane w ramach prac prowadzonych na rzecz projektu badawczego (numer INNOTECH-K2/IN2/40/182367/NCBR/13). Pozwoliły one wstępnie stwierdzić, że zastosowany układ warstw jest wystarczająco wytrzymały, aby sprostać wymogom wielokrotnego montażu/demontażu w warunkach przemysłowych. Cały projekt zakończył się sukcesem, a wyniki - w tym opatentowane rozwiązania - są aktualnie wdrażane. Zastosowane struktury warstwowe skutkują obniżeniem hałasu emitowanego przez urządzenie technologiczne na halę produkcyjną, o kilkanaście dB.

## ***VI. Badania właściwości mechanicznych nowych brykietów wsadowych dla hutnictwa miedzi***

W artykułach [9] oraz [11] zaprezentowano wyniki badań właściwości mechanicznych brykietów wsadowych do pieców hutniczych do wytopu miedzi. Brykiety uzyskiwano na drodze formowania (prasowania na zimno) mieszaniny wieloskładnikowego proszku oraz ciekłego lepiszcza.

Badania te były częścią zadania dużego projektu badawczego (I Konkurs CuBR „Opracowanie innowacyjnego rozwiązania technologicznego do procesu odmiedziowania żużla w procesie zawieszinowego otrzymywania miedzi”, okres wykonania zadania 2015 – 2016), którego byłem współwykonawcą. Moje działania wiązały się z wykonaniem badań właściwości mechanicznych brykietów i oceny zmiany tych właściwości z upływem czasu od momentu brykietowania (formowania brykietów). Istotną częścią analizy była interpretacją uzyskanych wyników, w tym ocena przebiegu zniszczenia. Model zniszczenia pojedynczego brykietu ma znaczenie z punktu widzenia gęstości nasypowej oraz rozkładu masy zasypywanej do pieca.

Celem zadania wykonywanego przez zespół z mojej macierzystej jednostki było uzyskanie optymalnej receptury lepiszcza (część składowa mieszanki do formowania brykietów), które zapewniałoby odpowiednie właściwości mechaniczne brykietów oraz było neutralne ekologicznie. Efekty projektu są pozytywne i aktualnie są na etapie wdrażania.

## ***VII. Łączenie klejem polimerowym metalowych elementów wymienników ciepła - badanie połączeń i dobór kleju***

Dwa referaty konferencyjne [42] i [47] dotyczą badania wytrzymałości złącz klejowych, zastosowanych do łączenia elementów wymienników ciepła.

Badania te są częścią pracy badawczej prowadzonej przez moją macierzystą jednostkę (numer NB-266/RM3/2014, tytuł: „Kompleksowa usługa badawcza w zakresie materiałoznawstwa na modelach wymienników ciepła”, okres wykonania: 2015), której byłem współwykonawcą. Przedmiotowa część pracy miała na celu próbę zastąpienia stosowanej technologii spawania metalowych elementów wymienników ciepła (rurek z czynnikiem chłodzonym do poprzecznych płyt nośnych) nową technologią klejenia klejami odpornymi na temperaturę. Dobrano serię klejów silikonowych i przeprowadzono próby rozrywania oraz ścinania złącz. Wyniki badań okazały się korzystne - uzyskane wartości wytrzymałości na rozciąganie i ścinanie spełniały wymagania funkcjonalne złącz.

Zaproponowane rozwiązania zostały wdrożone do etapu pilotażowego i są obecnie stosowane w specjalnej próbnej serii eksploatowanych wymienników.

### ***VIII. Modyfikacja połączeń śrubowych w metalowych elementach wymienników ciepła***

W ramach dwóch referatów konferencyjnych [43] i [44] omówiono badania wytrzymałości złączy śrubowych, zastosowanych do łączenia elementów wymienników ciepła.

Badania te są częścią pracy badawczej prowadzonej przez moją macierzystą jednostkę (numer NB-266/RM3/2014, tytuł: „Kompleksowa usługa badawcza w zakresie materiałoznawstwa na modelach wymienników ciepła”, okres wykonania: 2015), której byłem współwykonawcą. Zadanie badawcze miało na celu próbę optymalizacji grubości blach stalowych stosowanych na elementy wymienników ciepła. W blachach tych zostają nawiercone i nagwintowane otwory, w które wkręca się śruby i mocuje do elementów konstrukcji nośnej wymiennika. Ze względu na wymaganą odpowiednią nośność gwintu, blacha musi być relatywnie gruba (7 – 10 mm). Proponowana optymalizacja ma na celu obniżenie grubości blachy, z jednoczesnym zwiększeniem nośności (długości) gwintu poprzez zastosowanie tzw. techniki drillowania, czyli nawiercania z podgrzaniem do temperatury uplastycznienia stali. Uzyskane wyniki prób nośności złączy śrubowych wskazały, że „drillowane” złącza mają nośność nieco mniejszą, niż złącza nagwintowane w blasze o ekwiwalentnie większej grubości. Jednakże, ich nośność jest w pełni wystarczająca, aby spełniać wymagane funkcje. Wykonane badania potwierdziły więc możliwość zmniejszenia grubości stosowanych blach, co zostało wdrożone w produkcji wymienników ciepła w firmie zlecającej badania.

### ***Dane bibliometryczne habilitanta (dane na dzień 17.03.2017)***

**Liczba artykułów w bazie Web of Science: 20 (+ 4 zgłoszenia patentowe)**

**Liczba cytowań bez uwzględnienia autocytowań: 31**

**Indeks h bez uwzględnienia autocytowań: 4**

**Ilość artykułów w czasopismach ze wskaźnikiem IF: 14 (+ 2 przyjęte do druku)**

**Sumaryczny impact factor: 14,015 (+ 2,905 za artykuły przyjęte do druku)**

### ***Najważniejsze projekty badawcze habilitanta***

Kierowałem dwoma projektami badawczymi zleconymi przez państwowe ośrodki finansujące:

- Projekt badawczy własny pt. „Właściwości mechaniczne i odporność na delaminację laminatów polimer - włókno szklane o wzmocnieniu 3D przeznaczonych na wyroby wytwarzane metodami RTM i infuzji próżniowej”, nr N N508 628640, lata realizacji 2011 – 2013, kwota finansowania 303.966 zł, finansowany przez MNiSW/NCN.
- Projekt badawczy LIDER pt. „Optymalizacja konstrukcji ścianki łopaty wentylatora przemysłowego wytwarzanej metodą infuzji próżniowej”, nr LIDER/08/31/L-2/10/NCBiR/2011, lata realizacji 2011 – 2014, kwota finansowania 774.600 zł, finansowany przez NCBiR.

### ***Promotorstwo pomocnicze w przewodzie doktorskim***

Jestem promotorem pomocniczym jednej rozprawy doktorskiej (tytuł: „Wpływ dodatków węglowych na właściwości trybologiczne kompozytów aluminium – ceramika”,

doktorant: mgr inż. Bartosz Hekner, jednostka prowadząca przewód: Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii Politechniki Śląskiej, przewód otwarty w 2016 roku).

### ***Osiągnięcia habilitanta w zakresie dydaktyki***

Wykonywałem zajęcia dydaktyczne na kierunkach studiów:

- Inżynieria materiałowa,
- Zarządzanie i inżynieria produkcji,
- Informatyka przemysłowa,
- Edukacja techniczno informatyczna,
- Metalurgia.

Zajęcia prowadziłem na studiach jednolitych magisterskich oraz na studiach I i II stopnia, stacjonarnych oraz niestacjonarnych (zaocznych i wieczorowych). Były to:

- ćwiczenia laboratoryjne,
- projekty,
- wykłady.

Przedmioty na których prowadziłem zajęcia:

- Materiały kompozytowe,
- Tworzywa sztuczne,
- Nauka o materiałach,
- Materiały inżynierskie,
- Procesy i techniki produkcyjne,
- Techniki i technologie wytwarzania,
- Przetwórstwo tworzyw sztucznych,
- Konstrukcje kompozytowe,
- Technologie wytwarzania kompozytów,
- Ekonometria,
- Statystyka,
- Prognozowanie i symulacja.

W ramach działalności naukowo – dydaktycznej byłem promotorem:

- 14 prac magisterskich,
- 7 prac inżynierskich,
- 20 projektów inżynierskich.

Sprawowałem opiekę naukową nad dwoma studentami, zakończoną realizacją projektów w ramach prac statutowych i wspólnymi publikacjami w punktowanych czasopismach (lata 2013 - 2015).

Sprawowałem również opiekę naukową nad studentką z Turcji odbywającą w mojej jednostce praktykę w ramach programu ERASMUS (rok 2015).

### ***Działalność organizacyjna***

Na działalność organizacyjną, którą prowadziłem w jednostce macierzystej, składa się:

- członkostwo w komisji rekrutacyjnej (lata 2003 – 2011),
- członkostwo w komisji układania planów zajęć (lata 2011 – obecnie),
- pełnienie funkcji sekretarza w komisjach dyplomowych (funkcja sekretarza, lata 2014 – obecnie),
- pełnienie funkcji sekretarza badań statutowych za rok 2016.

Moja działalność organizacyjna poza jednostką macierzystą:

- członkostwo w Polskim Towarzystwie Materiałów Kompozytowych (2010 – obecnie),
- pełnienie funkcji członka Komisji Rewizyjnej Polskiego Towarzystwa Materiałów Kompozytowych (lata 2015 - obecnie).

### ***Popularyzacja działalności naukowej***

Popularyzację tematyki związanej z moją pracą naukową realizowałem poprzez:

- publikację artykułu [56] w *Biuletynie Regionalnej Sieci Promocji Transferu Technologii*,
- publikację artykułów w czasopiśmie branżowych: *Gazeta Przemysłu Jachtowego* ([48] i [55]) oraz *Materiały Kompozytowe* ([52]).

### ***Współpraca naukowa i dydaktyczna z ośrodkami zagranicznymi***

- Odbyłem staż naukowy w Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik przy Technische Universität Dresden (5 tygodni, lipiec – sierpień 2012). Miał on na celu zapoznanie się z rozwiązaniami technicznymi i metodyką badań laminatów z użyciem emisji akustycznej oraz wizualizacji szybką kamerą. Staż ten był wynikiem wcześniejszej kilkuletniej współpracy z ośrodkiem goszczącym.
- W latach 2010 - 2016 regularnie odbywałem tygodniowe wyjazdy dydaktyczne w ramach programów ERASMUS i ERASMUS PLUS (łącznie 7 wyjazdów). Każda wizyta wiązała się z przeprowadzeniem 5 – 10 godzin dydaktycznych zajęć wykładowych lub seminaryjnych ze studentami ośrodków goszczących. Wizytowałem w sumie 4 zagraniczne ośrodki akademickie:
  - 1) 2010, 2011, 2014 oraz 2016 – Technische Universität Dresden,
  - 2) 2012 – Anadolu Üniversitesi w Eskisehir (Turcja),
  - 3) 2013 – Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava,
  - 4) 2015 – Żylińska Uniwerszita w Żylinie.

### ***Planowane główne kierunki kontynuacji działalności naukowej***

- Nawiązanie współpracy z przemysłem i realizowanie wspólnych projektów mających na celu opracowywanie i rozwój technologii kompozytów polimerowych. Wstępem do tego kierunku działania jest doświadczenie zdobyte w ramach głównego osiągnięcia oraz realizacji prac opisanych w punkcie I w sekcji 5.
- Wykorzystanie modyfikacji żywicy osnowy nanododatkiem dla uzyskania nowych funkcjonalności laminatów, np. wytworzenie w nich strukturalnych czujników odkształceniowo-naprężeniowych lub poprawa odporności na delaminację. Wstępem do tego kierunku działania jest doświadczenie zdobyte w ramach prac opisanych w punkcie IV w sekcji 5.
- Zastosowanie laminatów w budowie maszyn – przykładowo na lekkie obudowy o dobrych właściwościach tłumiących (dźwięk i inne drgania). Wstępem do tego kierunku działania jest doświadczenie zdobyte w ramach prac opisanych w punkcie II.I w sekcji 5.
- Analiza eksperymentalna i modelowanie numeryczne zachowania laminatów w dwuosiowym stanie naprężenia. Wstępem do tego kierunku działania jest doświadczenie zdobyte w ramach prac opisanych w punkcie II.III w sekcji 5.

*Mateusz Kocik*