

Poznań, 25.06.2016

Prof. dr hab. inż. Mieczysław Kuczma
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Politechnika Poznańska
ul. Piotrowo 5, 60-965 Poznań

**Recenzja osiągnięć naukowo-badawczych,
dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego
oraz dorobku w zakresie współpracy międzynarodowej
dra inż. Marka Romanowicza**

1. Podstawa opracowania recenzji

- a) Wniosek dra inż. Marka Romanowicza o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego w dziedzinie *nauk technicznych* w dyscyplinie *mechanika* skierowany do Centralnej Komisji do Spraw Stopni i Tytułów w dniu 19.01.2016r.
- b) Decyzja Centralnej Komisji do Spraw Stopni i Tytułów z dnia 11.03.2016r. o powołaniu Komisji habilitacyjnej.
- c) Pismo prof. dr. hab. inż. Andrzeja Seweryna, Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Białostockiej z dnia 25.03.2016r.
- d) Dokumentacja opracowana przez Habilitanta i dołączona do wniosku, zawierająca m.in.:
 - uwierzytelnioną kopię dyplomu uzyskania stopnia doktora nauk technicznych,
 - autoreferat (w j. polskim i angielskim),
 - wykaz osiągnięć naukowo-badawczych, oraz informacja o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej i popularyzacji nauki (w j. polskim i angielskim),
 - kopie pięciu artykułów stanowiących jednotematyczny cykl publikacji, wskazanych przez Habilitanta jako osiągnięcie naukowe w rozumieniu ustawy,
 - kopie dodatkowych pięciu artykułów, opublikowanych po otrzymaniu stopnia naukowego doktora,
 - kopie innych wybranych dokumentów.
- e) Ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, Dz.U., 2003.65.595 z późn. zmianami,
- f) Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 1 września 2011r. w sprawie kryteriów ocen osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego, Dz.U. 2011.196.1165.

2. Sylwetka Habilitanta

Dr inż. Marek Romanowicz urodził się 20 grudnia 1972r. w Białymstoku. Studiował na Wydziale Mechanicznym Politechniki Białostockiej uzyskując w 1997 r. dyplom magistra inżyniera z wyróżnieniem na kierunku mechanika i budowa maszyn, w specjalności



mechanika stosowana. Jego praca magisterska nosiła tytuł: „Badanie wibrorelaksacji naprężeń w złożonym stanie naprężeń w stopie aluminium PA4”. Pracę doktorską pt. „Prognosowanie pęknięcia drewna na podstawie kryteriów związanych z płaszczyzną fizyczną” przygotował pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Andrzeja Seweryna i obronił z wyróżnieniem w 2007 roku.

Będąc jeszcze na ostatnim roku studiów (od 1996 roku) został zatrudniony przez rok jako asystent stażysta na Wydziale Mechanicznym Politechniki Białostockiej, a następnie od 2007 r. jako asystent. Po obronie doktoratu w 2007 roku awansował na stanowisko adiunkta na Wydziale Mechanicznym Politechniki Białostockiej, na którym pracuje do chwili obecnej.

Za osiągnięte wyniki w swojej działalności naukowej oraz naukowo-organizatorskiej Habilitant był wielokrotnie nagradzany, otrzymując 2. nagrody indywidualne Rektora Politechniki Białostockiej (2007, 2010) oraz 5 nagród zespołowych Rektora PB za osiągnięcia naukowo-organizatorskie (2008, 2009, 2011, 2012, 2014). Otrzymał także dyplom Komitetu Naukowego I Kongresu Mechaniki Polskiej za wyróżniającą się pracę (2007), oraz stypendium habilitacyjne Rektora PB (2011).

Dr M. Romanowicz, po uzyskaniu stopnia naukowego doktora, w badaniach naukowych koncentruje się na zagadnieniach związanych z wytrzymałością włóknistych kompozytów, analizuje mikrostrukturę tego materiału konstrukcyjnego i stosuje nowoczesną koncepcję numerycznej homogenizacji.

3. Opis i ocena osiągnięcia naukowego

Jako osiągnięcie naukowe w rozumieniu ustawy, Habilitant przedstawił jednotematyczny cykl publikacji pt. „*Mikromechaniczne modelowanie zniszczenia polimerowych kompozytów włóknistych*”, na który składa się 5 samodzielnych publikacji:

- [1] Romanowicz M., Effect of interfacial debonding on the failure behavior in a fiber-reinforced composite subjected to transverse tension, *Computational Materials Science*, ELSEVIER, Vol.47, No. 1 (2009), pp. 225-231, IF:1.522 / IF5:1.965.
- [2] Romanowicz M., Progressive failure analysis of unidirectional fiber-reinforced polymers with inhomogeneous interphase and randomly distributed fibers under transverse tensile loading, *Composites Part A*, ELSEVIER, Vol. 41, No. 12 (2010), pp. 1829-1838, IF:2.349 / IF5:3.453.
- [3] Romanowicz M., A numerical approach for predicting the failure locus of fiber reinforced composites under combined transverse compression and axial tension, *Computational Materials Science*, ELSEVIER, Vol. 51, No. 1 (2012), pp. 7-12, IF:1.878 / IF5:1.965.
- [4] Romanowicz M., Numerical homogenization of fiber-reinforced composites with complex microstructural features, *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, PTMTS, Vol.51, No. 4 (2013), pp. 883-890, IF:0.452 / IF5:0.447.
- [5] Romanowicz M., Determination of the first ply failure load for a cross ply laminate subjected to uniaxial tension through computational micromechanics, *International Journal of Solids and Structures*, ELSEVIER, Vol.51, No.13 (2014), pp. 2549-2556, IF:1.871 / IF5:2.099.



Wszystkie powyższe artykuły, poz. 1 – 5, zostały opublikowane w renomowanych czasopismach zagranicznych (poz. 1 – 3, 5) i w jednym czasopiśmie krajowym o zasięgu międzynarodowym (poz. 4), znajdujących się w bazie Journal Citation Reports i wykazujących się dużym współczynnikiem oddziaływania IF. W powyższych pracach, ogólnie rzecz ujmując, Autor zajmuje się modelowaniem teoretycznym i symulacjami komputerowymi złożonych, nieliniowych procesów rozwoju uszkodzeń i zniszczenia w polimerowych kompozytach zbrojonych włóknami długimi, poddanych działaniu obciążeń mechanicznych. Podjęta tematyka badawcza jest aktualna i ważna w kontekście coraz szerszego wykorzystywania kompozytów włóknistych.

Z uwagi na zakres merytoryczny powyższego cyklu publikacji, osiągnięcie naukowe Habilitanta mieści się w dyscyplinie naukowej mechanika.

W artykule [1], **Effect of interfacial debonding on the failure behavior in a fiber-reinforced composite subjected to transverse tension**, Autor zajmuje się zagadnieniem powstawania i rozwoju mikropeknięć oraz odspojenia (długich) szklanych włókien od epoksydowej matrycy w kompozycie włóknistym poddanym rozciąganiu poprzecznie do kierunku ułożenia włókien. Analizuje kompozyt o regularnym i periodycznym rozkładzie włókien, co pozwala mu rozpatrzeć pojedynczą, typową warstwę kompozytu (laminatu) i wyróżnić elementarną komórkę składającą się z włókna, matrycy i warstwy je łączącej, nazywanej interfejsem lub interfazą. Zadaniem interfazy było symulowanie właściwego transferu naprężenia pomiędzy włóknem i matrycą. Do modelowania złożonego sposobu pęknięcia (I i II) w warstwie przejściowej Autor stosuje dwuliniowy model kohezyjny. Taki model pęknięcia uwzględnia rozwój mikropeknięć w wyniku jednoczesnego otwierania i ścinania. Opisano wpływ parametrów kohezyjnego modelu pęknięcia oraz lokalizacji elementów kohezyjnych na krytyczną i pokrytyczną odpowiedź badanego kompozytu szklano-epoksydowego. Analizowano również ewolucję rozkładu naprężenia obwodowego w matrycy. Pokazano, że rozwój mikropeknięć pomiędzy włóknem i matrycą prowadzi do powstania silnych koncentracji naprężenia rozciągającego w matrycy i na tej podstawie zaproponowano kryterium zniszczenia kompozytu poddanego poprzecznemu rozciąganiu.

Praca [2], **Progressive failure analysis of unidirectional fiber-reinforced polymers with inhomogeneous interphase and randomly distributed fibers under transverse tensile loading**, stanowi rozwinięcie badań zaprezentowanych w pracy [1] na komórki elementarne z losowym rozkładem włókien. Autor badał trójskładnikowe komórki elementarne zawierające 39 losowo rozłożonych włókien. Do utworzenia losowego rozkładu włókien zastosował algorytm Wongsto-Li. W celu efektywnego wymuszenia kilku tysięcy periodycznych warunków brzegowych na węzłach należących do brzegowych elementów skończonych wykorzystał program napisany w języku wewnętrznym programu ANSYS. Autor pokazał, że rozkład naprężenia obwodowego oraz rozkład parametru uszkodzenia nie są powtarzalne i symetryczne, tak jak to było w przypadku komórek elementarnych z regularnym rozkładem włókien. Wskazał, że rozwój mikropeknięć pomiędzy włóknem i matrycą zależy od sztywności interfazy. Warto tu zauważyć, że badał rozwój uszkodzeń nie tylko lokalnie, w obszarze jednego włókna, ale także globalnie, w obszarze wielu włókien.



Uzyskane przez Kandydata wyniki numeryczne potwierdzają obserwacje doświadczalne, że mikropęknięcia pojawiają się najpierw w miejscach gęsto upakowanych włókien.

Artykuł [3], **A numerical approach for predicting the failure locus of fiber reinforced composites under combined transverse compression and axial tension**, stanowi dalsze rozwinięcie modelu mikromechanicznego zaproponowanego w pracy [1] do prognozowania wytrzymałości polimerowych kompozytów wzmocnionych ciągłym włókienem na jednoczesne działanie rozciągania wzdłuż włókien oraz poprzecznego ściskania. W pracy [3] podobnie jak w pracy [1] wykorzystano komórki elementarne z regularnym rozkładem włókien oraz modelowano odklejanie się włókien za pomocą kohezyjnego modelu pęknięcia. Rozwinięcie modelu polegało na uwzględnieniu w obliczeniach numerycznych dwóch nowych mechanizmów zniszczenia, tj. odkształcenia plastycznego w matrycy oraz pęknięcia włókien. Odkształcenia plastyczne w matrycy były obliczane na podstawie warunku Druckera-Pragera. Do modelowania pęknięcia włókien zastosowano kohezyjny model pęknięcia. Zaproponowany model mikromechaniczny wykorzystano do określenia krytycznych naprężeń kompozytu dla różnych proporcji odkształceń osiowych do poprzecznych. Z uwagi na zastosowane w modelowaniu uproszczenia otrzymane kontury naprężeń granicznych zmieniały się liniowo.

Praca [4], **Numerical homogenization of fiber-reinforced composites with complex microstructural features**, stanowi kontynuację badań podjętych w pracy [2]. Habilitant zaprezentował tu analizę wpływu sztywności interfazy oraz jej grubości na poprzeczny moduł Younga kompozytu wzmocnionego ciągłym włókienem. W badaniach wykorzystano komórki elementarne z losowym rozkładem włókien. Obliczenia wykonano dla 5. różnych rozkładów sztywności interfazy oraz 3. różnych grubości interfazy. Z uwagi na niewielkie rozmiary interfazy trudno jest eksperymentalnie badać jej własności mechaniczne. Alternatywą do badań doświadczalnych według Autora pracy jest modelowanie mikromechaniczne, w którym własności interfazy traktuje się jako niewiadomą i wyznacza się poprzez dopasowanie efektywnej odpowiedzi kompozytu uzyskanej z trójskładnikowych komórek elementarnych do tej zmierzonej doświadczalnie. W pracy tej dokonano również ilościowej oceny stopnia nieuporządkowania włókien w utworzonych komórkach elementarnych z losowym rozkładem włókien za pomocą metody statystycznej opartej na funkcji rozkładu radialnego.

Praca [5], **Determination of the first ply failure load for a cross ply laminate subjected to uniaxial tension through computational micromechanics**, poświęcona jest modelowaniu mechanizmów zniszczenia warstwy kompozytowej w wyniku działania różnych poprzecznych obciążeń, tj. ścinania, rozciągania i ściskania prostopadłego do kierunku włókien w warstwie. W tym celu, wykorzystano komórki elementarne z losowym rozkładem włókien zaproponowane w artykule [2]. W porównaniu do badań zaprezentowanych w [2], analizowano tu nie tylko mechanizm odklejania się włókien od matrycy, ale także mechanizm plastycznego ścinania matrycy. Niewątpliwą zaletą takiego podejścia było wierne odtworzenie procesu lokalizacji uszkodzeń w warstwie kompozytowej. Obciążone komórki elementarne zawierają wyraźnie zdefiniowane płaszczyzny krytyczne, których nachylenie względem kierunku obciążenia jest zgodne z rozwiązaniami teoretycznymi i obserwacjami doświadczalnymi. Ponadto, w tej pracy opisano wpływ krzywej umocnienia na rozwój

odkształceń plastycznych w matrycy a także zaprezentowano porównanie makroskopowych krzywych odkształcenia otrzymanych z wykorzystaniem dwóch modeli plastyczności matrycy.

Zaproponowane i badane teoretyczne modele mikromechaniczne Habilitant zweryfikował przy pomocy wyników badań doświadczalnych opisanych w literaturze oraz istniejących modeli analitycznych. Zastosowane mikromechaniczne przyrostowe podejście ma szereg zalet, m.in. umożliwia dokładne analizowanie wpływu mikrostruktury na wyznaczone własności efektywne kompozytów, dostarcza pełny obraz stanu naprężenia i odkształcenia w mikrostrukturze kompozytów dla całej historii obciążenia. Warto pokreślić, że badany w pracach [1 – 5] model jest w stanie, w swojej najbardziej rozwiniętej postaci, odtworzyć złożone mechanizmy zniszczenia zachodzące w kompozytach, charakteryzujące się np. jednoczesnym wystąpieniem kilku destrukcyjnych procesów będących źródłem nieliniowego zachowania się kompozytu jako materiału konstrukcyjnego. Mankamentem podejścia mikromechanicznego jest konieczność kalibrowania modeli mikromechanicznych (dobierania parametrów materiałowych) w oparciu o badania eksperymentalne w skali makro, z uwagi na brak eksperymentów w skali mikro. Jako słabą stronę zakresu badań prowadzonych przez Habilitanta można wskazać brak własnych badań doświadczalnych. Kwestia ta jest jednak złożona, bo związana jest m.in. z dostępnością do specjalistycznej aparatury badawczej.

Podsumowując osiągnięcie naukowe mogę stwierdzić, że wyniki zawarte w przedstawionym cyklu publikacji są wartościowe i stanowią znaczący wkład do rozwoju dyscypliny mechanika. Na podkreślenie zasługuje również fakt, że wszystkie prace wchodzące w skład osiągnięcia naukowego są samodzielne oraz zostały opublikowane w renomowanych czasopismach o zasięgu światowym, indeksowanych w bazie JCR.

4. Ocena istotnej aktywności naukowej

Habilitant opublikował łącznie 58 prac naukowych, z czego 33 po doktoracie. Oprócz 5. publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe, w dorobku Habilitanta znajdują się jeszcze 4 artykuły w czasopismach z bazy JCR opublikowane po uzyskaniu stopnia doktora. Są to prace oznaczone w autoreferacie liczbami [6 – 9]. Pierwsze dwie publikacje z tego zbioru to współautorskie artykuły prezentujące wyniki badań naukowych przeprowadzonych w ramach doktoratu. Prace te dotyczą wytrzymałości drewna. Zawierają one oryginalne analityczne podejście do prognozowania pęknięcia w złożonym stanie obciążenia próbek drewnianych ze szczelinami, jak również bez szczelin. Kolejne dwie publikacje z bazy JCR to samodzielne artykuły, których tematyka nawiązuje do badań przedstawionych w osiągnięciu naukowym. Prace te zawierają wyniki numerycznego modelowania mechanizmów zniszczenia polimerowych kompozytów włóknistych. W pracy [8] zaproponowano nowe podejście do modelowania ściskania warstwy kompozytowej wzdłuż włókien wykorzystujące periodyczną komórkę elementarną z niejednorodnym rozkładem sinusoidalnych imperfekcji włókien. Wykonane analizy numeryczne potwierdziły, że zaproponowany model mikromechaniczny jest w stanie prawidłowo odtworzyć proces mikrowyboczenia włókien. Praca [9] poświęcona



jest modelowaniu uszkodzeń laminatu kąowego $\pm\theta$ w skali meso za pomocą romboedrycznej komórki elementarnej. Dokonane przez Habilitanta porównanie wartości pomierzonych w badaniach doświadczalnych i otrzymanych w autorskich symulacjach komputerowych wykazało, że zastosowane mesoskalowe modele teoretyczne są w stanie dobrze prognozować wzrost wytrzymałości laminatów kąowych na rozciąganie wraz ze zmniejszaniem kąta ułożenia warstw θ .

Ponadto, po uzyskaniu stopnia doktora Habilitant opublikował również 7 artykułów w czasopiśmie spoza bazy JCR, 2 rozdziały w monografiach oraz 14 referatów, w tym 5 na uznanych międzynarodowych konferencjach oraz jedno zgłoszenie patentowe. Liczba cytowań publikacji Habilitanta wg Bazy Web of Science, na dzień złożenia wniosku, wynosiła 50 a indeks Hirscha 4. Parametry te należy uznać za bardzo dobre, jeżeli wziąć pod uwagę fakt, że Habilitant nie posiadał w swoim dorobku przed doktoratem publikacji z bazy JCR. Podsumowując dorobek publikacyjny należy zauważyć, że nastąpił znaczący ilościowy i jakościowy wzrost liczby publikacji po doktoracie.

Habilitant po uzyskaniu stopnia doktora aktywnie zabiegał o finansowanie swoich badań naukowych. W roku 2008 podjął pierwszą nieudaną próbę pozyskania grantu MNiSW w ramach 35 konkursu. Ostatecznie, w roku 2012 uzyskał finansowanie własnego projektu badawczego pt. „*Mikromechaniczne modelowanie zniszczenia polimerowych kompozytów włóknistych*” w konkursie SONATA 2 ogłoszonym przez NCN. W międzyczasie realizował dwa projekty finansowane z funduszy uczelnianych Politechniki Białostockiej.

Po uzyskaniu stopnia doktora Habilitant otrzymał 7 nagród Rektora Politechniki Białostockiej za wyróżniającą się działalność naukową, a także dyplom Komitetu Naukowego I Kongresu Mechaniki Polskiej za wyróżniającą się pracę przedstawioną na konferencji.

Podsumowując stwierdzam, że osiągnięcia naukowo-badawcze Habilitanta należy ocenić pozytywnie. Habilitant wykazuje się istotną aktywnością naukową w rozumieniu ustawy.

5. Ocena w zakresie dorobku dydaktycznego oraz popularyzatorskiego i współpracy międzynarodowej

Dr M. Romanowicz opracował i prowadził wykłady z przedmiotu „Mechanika Kompozytów” dla doktorantów Wydziału Mechanicznego PB (2014), przedmiotu „Engineering Mechanics” w j. angielskim dla studentów zagranicznych w ramach programu Erasmus (2007-2008), oraz z przedmiotów „Metoda Elementów Skończonych” (2007-2010) i „Mechanika Analityczna” (2010-2016) dla studentów studiów magisterskich.

Ponadto Habilitant prowadził zajęcia z przedmiotu „Pracownia Techniczna” z uczniami 2. białostockich techników mechanicznych (2009-2012) w ramach promocji Wydziału Mechanicznego PB. Opracował instrukcje do ćwiczeń oraz zmodernizował dwa stanowiska badawcze w laboratorium mechaniki i wytrzymałości materiałów (2007, 2016).

Był promotorem 4. prac magisterskich.



Pełnił funkcję sekretarza naukowego czasopisma Acta Mechanica et Automatica (2007-2011). Warto odnotować także fakt, że Habilitantowi często powierzana jest rola recenzenta w renomowanych czasopismach międzynarodowych. Po uzyskaniu stopnia doktora opracował 17 recenzji publikacji, w tym 13 recenzji w czasopismach znajdujących się w bazie JCR.

Był członkiem komitetu organizacyjnego IV Międzynarodowego Sympozjum Mechaniki Zniszczenia Materiałów i Konstrukcji, Augustów, 30.05-1.06.2007.

Odbył 3-krotnie szkolenie w ANSYS Channel Partner (2010, 2012, 2015). Brał udział w X Polish-Ukraine-German Summer School in Crack Mechanics (2007).

W podsumowaniu dorobku dydaktycznego i współpracy międzynarodowej stwierdzam, że dr inż. Marek Romanowski prowadzi aktywną działalność w tym zakresie. Bardzo pozytywnie oceniam wielokrotne powierzenie mu roli recenzenta przez redakcje renomowanych czasopism naukowych.

6. Wniosek końcowy

Stwierdzam, że przedłożony w postępowaniu habilitacyjnym cykl samodzielnych jedno-tematycznych publikacji oraz dorobek naukowy dra inż. Marka Romanowicza stanowią znaczny wkład w rozwój mechaniki, i spełniają wymóg art. 17 ust. 1 ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki.

W szczególności przedłożony cykl publikacji jest samodzielnym i oryginalnym osiągnięciem Habilitanta, dotyczy aktualnych zagadnień badawczych w dziedzinie modelowania i analizy kompozytów włóknistych z uwzględnieniem ich mikrostruktury. Habilitant wykazał, że dysponuje dobrym warsztatem naukowym, potrafi formułować oraz rozwiązywać komputerowo zagadnienia badawcze o dużym stopniu trudności.

Popieram wniosek dra inż. Marka Romanowicza o przyznanie mu stopnia doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie mechanika.



Prof. Mieczysław Kuczma