

Warszawa, 17.03.2020

Prof. dr hab. inż. Tadeusz Burczyński, czł. rzecz. PAN
Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN
ul. Pawińskiego 5B, 02-106 Warszawa
e-mail: tburczynski@ippt.pan.pl

**Ocena
osiągnięć naukowych i istotnej aktywności naukowej
dra inż. Tomasza Klekiela
w związku z postępowaniem habilitacyjnym
w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie
inżynieria mechaniczna**

Opinia opracowana na podstawie pisma nr BCK-VI-L-10561/2019 z dn. 06.12.2019 Centralnej Komisji Do Spraw Stopni i Tytułów (por. pismo Dziekana Wydziału Mechanicznego Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie prof. dr hab. inż. J. Małachowskiego z dn. 16.01.2020 r.)

1. Sylwetka Habilitantka

Dr inż. Tomasz Klekiel uzyskał tytuł zawodowy magistra inżyniera na kierunku budowa i eksploatacja maszyn na Wydziale Mechanicznym Uniwersytetu Zielonogórskiego w 1998 r. Stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn otrzymał w 2005 r. na Wydziale Mechanicznym Uniwersytetu Zielonogórskiego w Zielonej Górze na podstawie rozprawy doktorskiej pt. *„Zastosowanie metody rozwiązań podstawowych i algorytmów ewolucyjnych do rozwiązania wybranych nieliniowych problemów brzegowych mechaniki”*.

Habilitant zajmował kolejno stanowiska asystenta (1998-2007) i adiunkta (od 2007 do chwili obecnej) w Zakładzie Inżynierii Biomedycznej na Wydziale Mechanicznym Uniwersytetu Zielonogórskiego.

2. Ocena merytoryczna osiągnięcia naukowego

Jako osiągnięcie naukowe, wynikające z ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, Habilitant wskazał monografię habilitacyjną pt.

„Ocena skutków oddziaływania obciążeń impulsowych na wybrane elementy układu ruchu człowieka”,

Monografia 2019, Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego.

Uzupełnieniem wyników badań przedstawionych w monografii habilitacyjnej jest 7 publikacji w postaci 4. artykułów i 3. rozdziałów w monografiach:

Publikacje z listy MNiSW

[A1] Katarzyna Arkusz, **Tomasz Klekiel**, Grzegorz Sławiński, Romuald Będziński, (2019), *Influence of energy absorbers on Malgaigne fracture mechanism in lumbar-pelvic system under vertical impact load*, Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, s. 1-11

[A2] Katarzyna Arkusz, **Tomasz Klekiel**, Tadeusz Marian Niezgoda, Romuald Będziński, (2018), *The influence of osteoporotic bone structures of the pelvic-hip complex on stress distribution under impact load*, Acta of Bioengineering and Biomechanics, Vol. 20, no. 1, s. 29-38.

[A3] **Tomasz Klekiel**, Romuald Będziński, (2015), *Finite element analysis of large deformation of articular cartilage in upper ankle joint of occupant in military vehicles during explosion*, Archives of Metallurgy and Materials, Vol. 60, no. 3, s. 2115-2121

[A4] **Tomasz Klekiel**, (2017), *Metoda pozycjonowania powierzchni stawowych w modelowaniu MES*, Aktualne Problemy Biomechaniki, no 12, s. 41-50

Monografie i rozdziały w monografiach

[B1] **Tomasz Klekiel**, (2019), *Ocena skutków oddziaływania obciążeń impulsowych na wybrane elementy układu ruchu człowieka*, Monografia, Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego.

[B2] Katarzyna Arkusz, **Tomasz Klekiel**, Grzegorz Sławiński, Romuald Będziński, (2019), *Pelvic vertical shear fractures: The damping properties of ligaments depending on the velocity of vertical impact load*, American Institute of Physics - Conference Proceedings 2078, 020077

[B3] **Tomasz Klekiel**, Grzegorz Sławiński, Marek Świerczewski, Paweł Bogusz, Romuald Będziński, (2019), *Risk of injury in lumbar spine during explosion of low-mass charge under vehicle*, American Institute of Physics - Conference Proceedings 2078, 020078

[B4] **Tomasz Klekiel**, Katarzyna Arkusz, Grzegorz Sławiński, Romuald (2019), *Prediction of the Segmental Pelvic Ring Fractures Under Impact Loadings During Car Crash*, Biomechanics in Medicine and Biology : Proceedings of the International Conference of the Polish Society of Biomechanics, eds. K. Arkusz, R. Będziński, T. Klekiel, S. Piszczatowski .- Cham : Springer Nature Switzerland. Advances in Intelligent Systems and Computing ; 831) - s. 138-149

W omawianym zbiorze publikacji zawarty jest wieloletni dorobek Habilitanta w zakresie badań struktur mechanicznych i biomechanicznych, dotyczący mechanicznych aspektów analizy koncentracji i przepływu energii w systemach anatomicznych człowieka.

Monografia stanowi podsumowanie kilkuletnich badań na temat skutków oddziaływania obciążeń dynamicznych na układ ruchu człowieka, głównie w warunkach gwałtownych przeciążeń.

W zbiorze dorobku naukowego przedstawiono wyniki badań modelowych zjawisk towarzyszących silnym obciążeniom impulsowym tkanek, symulacji komputerowej i prognozowania warunków ich uszkodzenia. Analiza złożonych struktur zawierających elementy o zróżnicowanej charakterystyce sztywności i wynikających z tego różnicach w gęstości energii wewnętrznej na granicy tych struktur pod obciążeniem, pozwoliła opisać mechanizm pojawiania się destrukcji układu kostno-stawowego człowieka, w tym uszkodzeń powierzchni stawowych stawu oraz wyężenia kolumny kręgosłupa, prowadzących w konsekwencji do przeciążeń wywołujących dyskopatie czy kompresyjne złamania kręgów.

Głównym osiągnięciem Habilitanta było wyjaśnienie mechanizmu powstawania urazów w wybranych elementach układu ruchu człowieka pod działaniem obciążeń impulsowych, a także określenie warunków skutecznej ochrony przed skutkami oddziaływania wysokoenergetycznych obciążeń struktur szkieletowo-mięśniowo-więzadłowych człowieka. Przykładami takich przeciążeń, które rozważał Habilitant, są warunki w jakich znajdują się żołnierze w pojeździe w trakcie eksplozji. W szczególności Habilitant przeprowadził analizę skutków przeciążeń w warunkach improwizowanych ładunków wybuchowych pod pojazdem w postaci wozu bojowego „Rosomak”.

W pracy podjęto kilka ważnych zadań:

1. Opracowano model pojazdu i pasażera, bazując na dynamicznych równaniach ruchu, w którym uzależniono obciążenie ciała człowieka od wielkości ładunku. Uwzględniono zarówno wymuszenie wynikające z ruchu pojazdu, jak i lokalną deformację kadłuba, wywołującą niebezpieczne obciążenia w kończynach dolnych.
2. Wykazano związek między obrażeniami, a parametrami biomechanicznymi struktur kostno-mięśniowych i kostno-więzadłowych, wyznaczono siły oddziaływania w kończynach dolnych prowadzące do uszkodzeń stawów.

3. Wyjaśniono mechanizm oddziaływania powierzchni stawowych pod wpływem silnych obciążeń impulsowych wskazując, że powierzchnia kontaktu zależy od prędkości propagacji fali.

Badania te mają istotne znaczenie aplikacyjne w procesach modyfikacji i optymalizacji konstrukcji mechanicznych. Podjęcie badań z tego zakresu Habilitant uzasadnia potrzebą zbudowania systemu aktywnej ochrony ciała człowieka w warunkach obciążeń impulsowych, w tym metod energetycznych umożliwiającym uogólnienie analizy bilansu energii z zachowaniem zasad zachowania i konwersji energii. Habilitant większość postawionych sobie zadań rozwiązywał w sposób twórczy i oryginalny.

3. Treść i ocena pracy habilitacyjnej

Przedstawione do oceny osiągnięcie naukowe składa się głównie z monografii (oznaczona jako B1 w p.2 recenzji) oraz dodatkowo z 7. publikacji w renomowanych czasopismach [A1-A4, B2-B4].

Praca monograficzna pt. *Ocena skutków oddziaływania obciążeń impulsowych na wybrane elementy układu ruchu człowieka*, Monografia 2019, Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, zawierająca 253 str., składa się z 8 rozdziałów, podsumowania, spisu literatury, spisu rysunków i tabel oraz streszczenia w j. angielskim.

Główną treścią monografii habilitacyjnej jest opis metod modyfikacji strukturalnej, w której proces predykcji i identyfikacji zmian strukturalnych jest podporządkowany zamierzonym celom, np. osiągnięciu określonych właściwości dynamicznych obiektu.

Na podstawie analizy treści pracy można stwierdzić, że zawiera ona cenne elementy poznawcze i użytkowe.

Do niewątpliwych osiągnięć Habilitanta należy zaliczyć:

1. Opracowanie modelu procesów modyfikacji struktur mechanicznych oraz anatomicznych układu nośnego człowieka.
2. Opracowanie oryginalnej metodyki tworzenia modeli strukturalnych rozprzestrzeniania się energii w konstrukcjach mechanicznych takich jak: belki, powłoki, przegrody wielowarstwowe.
3. Praktyczne zastosowania analizy energetycznej modyfikacji strukturalnej w takich zagadnieniach jak:

- badania procesów niszczenia struktur kostno stawowych,
- ocena odpowiedzi układu kostno stawowego człowieka na obciążenia uderowe o dużej koncentracji energii,
- połączeń układów biomechanicznych takich jak: kończyny dolne, stawy biodrowy i kolanowy, miednica, kręgosłup.

W zakończeniu tej części recenzji można stwierdzić, że Habilitant opracowując oryginalne modele analizy energii w procesie modyfikacji struktur wniósł istotny wkład naukowy do dyscypliny **mechanika** (obecnie **inżynieria mechaniczna**), przy czym wiele elementów tego wkładu mieszczą się także w dyscyplinie **inżynieria biomedyczna**.

Uwagi dyskusyjne

Przedstawione w pracy rozważania na temat doskonałości bionicznej układów biomechanicznych oraz przedstawione modele i analizy wybranych układów biomechanicznych nasuwają pewne uwagi.

- Przedstawiony wskaźnik zgodności bionicznej jest w dużym stopniu uogólniony. Porównanie funkcji pełnionych przez układ biologiczny i funkcji układu biomechanicznego (zastępczego), z pewnością ma swoje uzasadnienie. W większości przypadków właśnie odtworzenie utraconych funkcji jest podstawowym zadaniem układów zastępczych, bądź współpracujących z układem biologicznym. Należy jednak podkreślić, iż szczególnie w przypadku układów zastępczych (implantów) współcześnie w wielu przypadkach postuluje się nie tylko całkowitą zgodność funkcji i właściwości układu zastępczego z otaczającym go środowiskiem tkankowym, ale również zdolność do inicjowania procesów związanych z poprawą współpracy układu zastępczego z układem biologicznym. Układ zastępczy staje się w tym przypadku układem aktywnym, nie tylko biernie współpracującym z otaczającymi tkankami, lecz inicjującym procesy zachodzące w środowisku tkankowym (nawet na poziomie komórkowym) i często związany nie tylko z naturalnym fizjologicznym stanem organizmu, lecz również z procesami mającymi charakter procesów naprawczych. Rodzi się, zatem pytanie czy opracowane kryterium, aczkolwiek ma na pewno cechy kryterium doskonałości bionicznej, jest pełne. Z pewnością wskazuje ono na zdolność układów zastępczych do

odtworzenia właściwości tkanek i utraconych funkcji, lecz zachodzi wątpliwość czy na jego bazie można faktycznie wyróżnić układy, które w sposób optymalny współpracować będą z organizmem.

- Jako miary doskonałości biologicznej w zaprezentowanych przykładach wybrano gęstość energii odkształcenia. Wielkość ta jest często stosowana w odniesieniu do układów biologicznych i w wielu przypadkach można zauważyć zasadność takiego toku postępowania. W tym jednak przypadku Autor nie podaje pełnego uzasadnienia wyboru takiego parametru. Oczywiście, nie neguje się w tym przypadku możliwości zastosowania takiego kryterium, jednakże uzasadnienie tego typu postępowania powinno zastać zamieszczone.
- Jest zrozumiałe, że przedstawione przykłady są jedynie ilustracją praktycznego zastosowania proponowanych algorytmów i kryteriów. Nie można się jednak oprzeć wrażeniu, iż są one niezwykle uproszczone, a nieprawidłowa identyfikacja układu i tym samym jego błędne modelowanie, mogą wpływać na uzyskiwane wyniki. Co prawda Habilitant przykładą wielką wagę do odtworzenia nieliniowości w modelowanych układach, niemniej jednak uproszczenia geometryczne, dotyczące zgrubnego podziału na siatkę elementów skończonych, czy warunków brzegowych, mogą budzić zastrzeżenia. Przykładem mogą być rozważania Habilitanta na temat uzyskanego rozkładu naprężeń w modelu tułowia człowieka na materacu, które wskazują wyraźnie na brak zrozumienia, iż w większości przyczyną niejasnych efektów w rozkładzie naprężeń jest pominięcie klatki piersiowej i związanego z nią usztywnienia tułowia.

Podsumowując, należy podkreślić, iż zaproponowana przez autora metoda oceny i optymalizacji układów biologiczno-mechanicznych jest interesującym przyczynkiem do rozważań w aspekcie analizy złożonych układów człowiek-maszyna, w szczególności przy uwzględnieniu obciążeń impulsowych.

4. Ocena dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego

Dorobek naukowy Habilitanta obejmuje w sumie 84 pozycje, a po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych 65 pozycji, w tym 19 publikacji w czasopiśmie naukowych. Ponadto Habilitant jest autorem, bądź współautorem 57. prac opublikowanych

w materiałach konferencji krajowych i zagranicznych, w tym 35 prac po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych. W przypadku 11. prac Habilitant jest samodzielnym autorem. Zasadniczo większa część dorobku przed doktoratem związana jest z rozwojem podstaw teoretycznych metod komputerowych oraz badań doświadczalnych. Po uzyskaniu stopnia doktora prace naukowe Habilitanta związane są z inżynierią biomedyczną oraz inżynierią mechaniczną.

Dorobek naukowy Habilitanta od 1998 roku, to jest po podjęciu badań o wieloaspektowym charakterze, w tym z zakresu inżynierii biomedycznej, ma wyraźnie charakter interdyscyplinarny. Wiąże w sobie takie dyscypliny jak inżynieria mechaniczna oraz inżynieria biomedyczna. Duża część tych publikacji ma charakter poznawczy i zostały one opublikowane w następujących czasopismach: *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, *Archive of Metallurgy and Materials*, *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering* oraz *Annals of Biomedical Engineering*.

Prace te mają charakter oryginalny i prezentują dobry poziom naukowy.

Na uwagę zasługuje również udział dra Tomasza Klekiela w 39. konferencjach naukowych. Warto tu wskazać aktywny udział Habilitanta w takich konferencjach i kongresach jak m.in.: *Biomechanics 2018*, Zielona Góra, *Solid Mechanics Conference (Solmech 2018)*, Warszawa, *15-th Conference on Computational Technologies in Engineering 2018*, Jora Wielka, *International Conference on Computer Methods in Mechanics (CMM2017)*, Lublin, *Mechanika w Medycynie 2016*, Rzeszów, *Solid Mechanics Conference (Solmech 2016)*, Warszawa.

Należy podkreślić, iż biorąc pod uwagę stosunkowo krótki okres działalności naukowej, dorobek naukowy Habilitanta jest relatywnie duży. Na podkreślenie zasługuje również fakt, iż kilka prac Habilitanta zostało zakończonych projektami wdrożeniowymi. Dr inż. Tomasz Klekiel odbył kilka staży zawodowych. Habilitant jest autorem dwóch zgłoszeń patentowych. Prowadził w zasadzie wszystkie formy zajęć dydaktycznych tj. ćwiczenia, seminaria oraz wykłady. Jest on współautorem dwóch skryptów, opracował wiele stanowisk dydaktycznych oraz pomocy do ćwiczeń. Kandydat posiada także spore osiągnięcia wychowawcze i organizacyjne, m.in. wielokrotnie pełnił funkcje opiekuna Koła Naukowego, grup studenckich czy też praktyk studenckich oraz kierownika laboratorium wydziałowego.

Habilitant aktywnie uczestniczy w organizacji życia naukowego, brał wielokrotnie udział w pracach komitetów organizacyjnych konferencji.

Habilitant posiada duże doświadczenie w kierowaniu zespołami badawczymi, był między innymi kierownikiem i wykonawcą projektów badawczych KBN, kierował zespołami badawczymi w ramach działalności statutowej oraz badań własnych.

Za działalność naukową i dydaktyczną Habilitant otrzymał liczne nagrody.

5. Wniosek końcowy

Podsumowując ocenę wskazanego przez dra inż. Tomasza Klekiela osiągnięcia naukowego:

„Ocena skutków oddziaływania obciążeń impulsowych na wybrane elementy układu ruchu człowieka”,

warto podkreślić istotne znaczenie oraz wysoki poziom naukowy przedstawionej problematyki badawczej.

Jednocześnie całość dotychczasowego dorobku naukowego Habilitanta należy ocenić pozytywnie. Dorobek publikacyjny zawiera wiele publikacji w dobrych czasopismach o międzynarodowej randze. Również jego aktywność dydaktyczna i organizacyjna jest warta podkreślenia.

Biorąc pod uwagę pozytywną ocenę przedstawionego cyklu prac oraz całego dorobku naukowego, uważam że spełnia on kryteria określone w ustawie i uzasadniają nadanie dr. inż. Tomaszowi Klekielowi stopnia doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

