

AUTOREFERAT

Opis dorobku i osiągnięć naukowych
w języku polskim

dr inż. Mariusz Ptak

Politechnika Wroclawska
Wydział Mechaniczny
Katedra Konstrukcji i Badań Maszyn
ul. Łukasiewicza 7/9, 50-371 Wrocław

Wrocław, marzec 2019 r.

Spis treści

1. Dane osobowe	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe	3
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych	4
4. Wskazanie osiągnięcia naukowego.....	4
4.1 Tytuł osiągnięcia naukowego	4
4.2 Publikacje lub inne prace wchodzące w skład osiągnięcia naukowego:	5
5. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania	8
5.1 Metoda kształtowania bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu drogowego	12
5.2 Bibliografia.....	22
6. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-Badawczych	23
6.1 Działalność prowadzona przed doktoratem	23
6.2 Działalność prowadzona po doktoracie	25
7. Sumaryczne zestawienie dorobku naukowego wnioskodawcy	29

1. DANE OSOBOWE

Imię i nazwisko: Mariusz Ptak

Stopień naukowy: doktor nauk technicznych

Miejsce i adres zatrudnienia: Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny
Katedra Konstrukcji i Badań Maszyn
ul. Ignacego Łukasiewicza 7/9, 50-371 Wrocław

2. POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE

06.2014 Certyfikowany Project Manager – zarządzania projektami wg międzynarodowej metodologii **IPMA-D**

2008–03.2013 **Politechnika Wrocławska**
Wydział Mechaniczny
Doktor nauk technicznych w dyscyplinie *Budowa i Eksploatacja Maszyn* – praca obroniona z **wyróżnieniem**.
Tytuł rozprawy doktorskiej: *Ocena wpływu elementów konstrukcyjnych pojazdów samochodowych na bezpieczeństwo pieszego.*

2003–2008 **Politechnika Wrocławska**
Wydział Mechaniczny
Kierunek: *Indywidualny Program Studiów*
1. Zarządzanie i Inżynieria Produkcji – **magister inżynier**
Tytuł pracy: *Zastosowanie Teorii Twórczego Rozwiązywania Problemów TRIZ do analizy i projektowania układu rozrządu silnika spalinowego.*
2. Mechanika i Budowa Maszyn – **magister inżynier**
Tytuł pracy: *Analiza bezpieczeństwa biernego kierowcy samochodu ciężarowego wraz z numeryczną symulacją crash-testu kabiny pojazdu*

2005–2006 **Coventry University (Wielka Brytania)**
Faculty of Engineering and Computing
Bachelor of Engineering with Honours First Class in European Engineering Studies – praca obroniona z **wyróżnieniem**.
Tytuł pracy: *The TRIZ approach applied to vehicle system design - Variable Valve Timing*

3. INFORMACJE O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH

od 09.2014 do teraz	Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, Katedra Konstrukcji i Badań Maszyn <i>Adiunkt</i>
05.2013-09.2014	Politechnika Wrocławska Wydział Mechaniczny, Katedra Konstrukcji i Badań Maszyn <i>Asystent naukowo-dydaktyczny</i>
09.2012-05.2013	Politechnika Wrocławska Wydział Mechaniczny, Katedra Konstrukcji i Badań Maszyn <i>Asystent naukowy</i>

4. WSKAZANIE OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 pkt. 1) ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2018 r. poz. 1789).

4.1 TYTUŁ OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

Metoda kształtowania bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu drogowego

Osiągnięcie naukowe autora powyższego wniosku (dalej zwanego: wnioskodawcą, habilitantem), w rozumieniu Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. z późniejszymi zmianami, stanowi opracowanie metody kształtowania bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu drogowego – tj. pieszych, rowerzystów, dzieci w fotelikach rowerowych oraz motocyklistów – podczas obciążeń dynamicznych poprzez dodanie do obecnie stosowanych wymagań kryterium numerycznego i opracowanie dodatkowych środków technicznych. Wyniki prac objętych metodą przedstawione są w jednotematycznym cyklu publikacji wymienionych w punkcie 4.2 niniejszego dokumentu. Wnioskodawca jest autorem założeń, na bazie których opracował oraz przeprowadził prace badawcze i rozwojowe w zakresie eksperymentalnym jak i numerycznym. Na ich podstawie opracował i zdefiniował własną

metodę, która może być stosowana w praktyce zaawansowanych prac badawczych jak i inżynierskich.

4.2 PUBLIKACJE LUB INNE PRACE WCHODZĄCE W SKŁAD OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO:

1. Ptak, M. (2019). Method to Assess and Enhance Vulnerable Road User Safety during Impact Loading. *Applied Sciences*, 9(5), 1000. <http://doi.org/10.3390/app9051000>
Punktacja MNiSW: **25**
Impact Factor: **1.689**
2. Ptak, M., Kaczyński, P., Wilhelm, J., Margarido, J. M. T., Marques, P. A. A. P., Pinto, S. C., Fernandes, F. A. O. (2019). Graphene-Enriched Agglomerated Cork Material and Its Behaviour under Quasi-Static and Dynamic Loading. *Materials*, 12(1), 151. <http://doi.org/10.3390/ma12010151>
Punktacja MNiSW: **35**
Impact Factor: **2.467**
3. Kaczynski, P., Ptak, M., Wilhelm, J., Fernandes, F. A. O., & de Sousa, R. J. A. (2019). High-energy impact testing of agglomerated cork at extremely low and high temperatures. *International Journal of Impact Engineering*, 126(November 2018), 109–116. <http://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2018.12.001>
Punktacja MNiSW: **45**
Impact Factor: **3.344**
4. Kaczyński, P., Ptak, M., Fernandes, F. A. O., Chybowski, L., Wilhelm, J., de Sousa, R. J. A. (2019). Development and testing of advanced cork composite sandwiches for energy-absorbing structures. *Materials*.
Punktacja MNiSW: **35**
Impact Factor: **2.467**
5. Ptak, M., Kaczynski, P., Fernandes, F. A. O., & de Sousa, R. J. A. (2017). Assessing impact velocity and temperature effects on crashworthiness properties of cork material. *International Journal of Impact Engineering*, 106, 238–248. <http://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2017.04.014>
Punktacja MNiSW: **45**
Impact Factor: **3.344**
6. Fernandes, F. A. O., de Sousa, R. J. A., & Ptak, M. (2019). Helmet design based on the optimisation of biocomposite energy absorbing liners under multi-impact loading. *Applied Sciences*, 1–26. <http://doi.org/10.3390/app9040735>
Punktacja MNiSW: **25**
Impact Factor: **1.689**

7. Ratajczak, M., Ptak, M., Chybowski, L., Gawdzińska, K., & Będziński, R. (2019). Material and Structural Modeling Aspects of Brain Tissue Deformation under Dynamic Loads. *Materials*, 12(2), 271. <http://doi.org/10.3390/ma12020271>
Punktacja MNiSW: **35**
Impact Factor: **2.467**
8. Ptak, M., Ratajczak, M., Kwiatkowski, A., Sawicki, M., Wilhelm, J., Fernandes, F. A. O., & Druszcz, A. (2019). Investigation of biomechanics of skull structures damages caused by dynamic loads. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 20(4). <http://doi.org/10.5277/ABB-01252-2018-03>
Punktacja MNiSW: **15**
Impact Factor: **0.964**
9. Migueis, G. F. J., Fernandes, F. A. O., Ptak, M., Ratajczak, M., & Alves de Sousa, R. J. (2019). Detection of bridging veins rupture and subdural haematoma onset using a finite element head model. *Clinical Biomechanics*, 63, 104–111. <http://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2019.02.010>
Punktacja MNiSW: **30**
Impact Factor: **1.863**
10. Fernandes, F. A. O., Tchepele, D., Alves de Sousa, R. J., & Ptak, M. (2018). Development and validation of a new finite element human head model: Yet another head model (YEAHM). *Engineering Computations (Swansea, Wales)*, 35(1), 477–496. <http://doi.org/10.1108/EC-09-2016-0321>
Punktacja MNiSW: **30**
Impact Factor: **1.177**
11. Fernandes, F. A. O., Alves de Sousa, R. J., & Ptak, M. (2018). *Head Injury Simulation in Road Traffic Accidents*. Cham: Springer International Publishing. <http://doi.org/10.1007/978-3-319-89926-8>
Monografia – Springer International Publishing
12. Ptak, M., Wilhelm, J., Sawicki, M., & Rusiński, E. (2019). Child safety on various bicycle-mounted seats during vehicle impact. *Transport*, 34(2), 1-8. <https://doi.org/10.3846/transport.2019.9083>
Punktacja MNiSW: **20**
Impact Factor: **1.267**
13. Ptak, M. (2018). Pedestrian safety: a new method to assess pedestrian kinematics. *Transport*, 33(6), 41–51. <http://doi.org/10.3846/transport.2019.7081>
Punktacja MNiSW: **20**
Impact Factor: **1.267**

14. Ptak, M., Wilhelm, J., & Saunders, N. (2018). Safety analysis of a bicycle-mounted child seat. In *IEEE: 2018 XI International Science-Technical Conference Automotive Safety* (pp. 1–6). IEEE. <http://doi.org/10.1109/AUTOSAFE.2018.8373316>
Referat konferencyjny rejestrowany na Web of Science
Punktacja MNiSW: **15**
15. Wilhelm, J., Ptak, M., & Rusiński, E. (2017). Simulated depiction of head and brain injuries in the context of cellularbased materials in passive safety devices. *Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin*, 50(122), 98–104.
<http://doi.org/10.17402/222>
Artykuł: baza Web of Science
Punktacja MNiSW: **8**
16. Ptak, M., Kaczyński, P., Fernandes, F., & de Sousa, R. A. R. A. (2017). Computer Simulations for Head Injuries Verification After Impact. In E. Rusiński & D. Pietrusiak (Eds.), *Lecture Notes in Mechanical Engineering* (Vol. Part F10, pp. 431–440). Cham: Springer International Publishing. http://doi.org/10.1007/978-3-319-50938-9_45
Referat konferencyjny rejestrowany na Web of Science
Punktacja MNiSW: **15**
17. Ptak, M., & Konarzewski, K. (2015). Numerical Technologies for Vulnerable Road User Safety Enhancement. In *New Contributions in Information Systems and Technologies* (Vol. 354, pp. 355–364). http://doi.org/10.1007/978-3-319-16528-8_33
Referat konferencyjny rejestrowany na Web of Science
Punktacja MNiSW: **8**

Łączna liczba punktów MNiSW dla cyklu publikacji: **421**

Sumaryczny Impact Factor dla publikacji z cyklu publikacji: **24,005**

Kopie powyższych publikacji oraz deklaracje współautorów zawarto w załącznikach.

5. OMÓWIENIE CELU NAUKOWEGO WW. PRAC I OSIĄGNIĘTYCH WYNIKÓW WRAZ Z OMÓWIENIEM ICH EWENTUALNEGO WYKORZYSTANIA

Każdego roku około 1,35 miliona ludzi ginie w skutek obrażeń spowodowanych wypadkami drogowymi (World Health Organization 2018). Prawie 50% wszystkich ofiar śmiertelnych na drogach to niechronieni użytkownicy ruchu drogowego (NURD lub VRU – ang. vulnerable road user). Niechronieni użytkownicy dróg są zdefiniowani jako „niezmotoryzowani użytkownicy dróg, tacy jak piesi i rowerzyści, a także motocykliści i osoby niepełnosprawne lub o ograniczonej sprawności ruchowej” (European Parliament and Council 2010). Brak ochronnej „klatki bezpieczeństwa” czy stref kontrolowanego zgniotu charakteryzuje NURD. Niechronieni użytkownicy dróg są więc, w przypadku zaistnienia wypadku, zdecydowanie bardziej narażeni na obrażenia w stosunku do pasażerów samochodu. W literaturze przedmiotu, kierowcy i pasażerowie samochodów są wyłączeni z definicji NURD (Simms & Wood 2009). Na bezpieczeństwo niechronionych użytkowników dróg ma wpływ wiele kluczowych czynników, takich jak konstrukcja i geometria przedniej części pojazdu, elementy infrastruktury drogowej (m.in. doświetlane przejścia dla pieszych), separacja NURD od pojazdów, przepisy drogowe (np. ograniczenia prędkości), aktywne i pasywne systemy bezpieczeństwa (systemy kamer samochodowych, LIDAR, RADAR, poduszki gazowe na zewnątrz pojazdu, podnoszona przy zderzeniu maska pojazdu) lub osobiste systemy zabezpieczające – takie jak kask rowerzysty czy motocyklisty, fotelik rowerowy dla dziecka.

Problem niechronionych użytkowników dróg po raz pierwszy został przedstawiony w literaturze w latach 50. XX wieku (Harper 1958). Pod koniec lat 70. XX wieku statystyki wypadków z pieszymi naświetliły opinii publicznej istotność tematu. Jednak do lat 80. problem nie był brany pod uwagę przez projektantów, inżynierów i instytucje państwowe, które w rzeczywistości były w stanie wywrzeć wystarczający wpływ na producentów pojazdów samochodowych. Niecałe 70 lat temu nadal nie prowadzono szczegółowych badań w tej dziedzinie, ponieważ powszechnie twierdzono, że pieszy ma niewielkie szanse na przeżycie podczas wypadku ze znacznie cięższym i sztywniejszym pojazdem (Fisher & Hall 1971).

Również w Europie bezpieczeństwo NURD stanowi obecnie poważny problem natury społecznej – na drogach Unii Europejskiej w 2017 r. odsetek ofiar śmiertelnych na drogach przedstawiał się następująco: piesi 21%, motocykliści 17%, rowerzyści 8%. Zaznacza się, że na jedną osobę śmiertelną przypada aż pięć osób poważnie rannych (European Commission 2018).

Przywołane statystyki wskazują na konieczność zwrócenia uwagi na wypadki z udziałem niechronionych uczestników ruchu drogowego. Od lat 80. XX wieku zaczęto podejmować działania w celu zmniejszenia liczby śmiertelnych wypadków z udziałem pieszych. Opracowane zostały wymagania określające krytyczne wartości przeciążeń podczas

wypadków pojazdów z osobami niechronionymi. Obecnie różne organizacje przeprowadzają testy bezpieczeństwa (np. EURO NCAP), starając się zwrócić uwagę producentów na projektowanie pojazdów z uwzględnieniem wymogów bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu drogowego. Wdrożone zostały również normy i regulacje, które określają wymagania techniczne w stosunku do systemów ochronnych stosowanych przez niechronionych użytkowników ruchu drogowego.

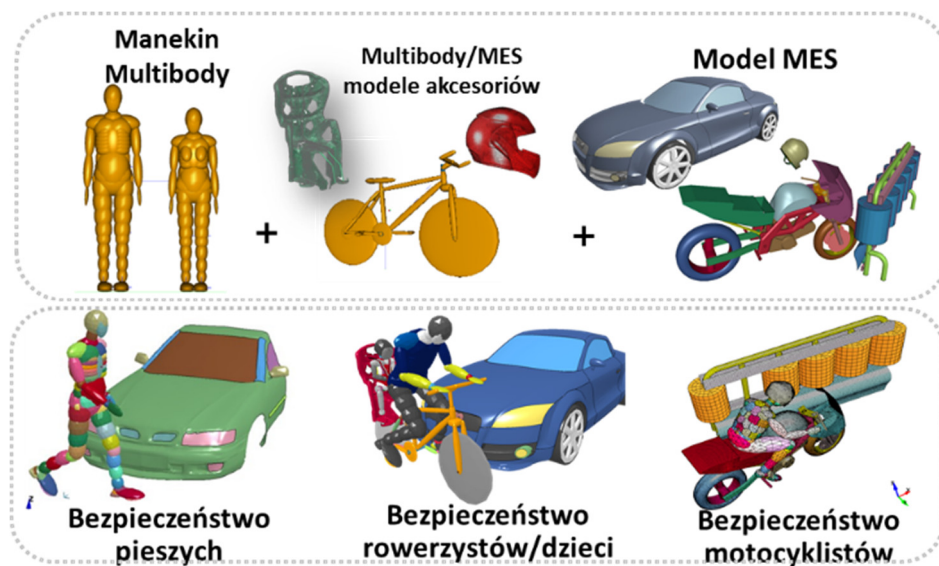
Niemniej jednak aktualnie stosowane metody weryfikacji oceny bezpieczeństwa niechronionych użytkowników ruchu drogowego nie umożliwiają pełnego wglądu w odpowiedź ciała ludzkiego, a szczególnie tkanek mózgowych, powiązaną z nadmiernymi obciążeniami. Obecnie do oceny bezpieczeństwa NURD stosowane są modele fizyczne (m.in. impaktory), dzięki którym weryfikuje się kryteria urazowe np. HIC lub tożsame co do wartości HPC (ang. Head Injury Criterion, Head Performance Criterion) oraz przyspieszenia wynikowe. Niestety obecnie europejskie wymagania normowe i regulacyjne dotyczące pieszych ((EC) 78/2009), technicznych środków ochronnych dla rowerzystów (EN 1078) i motocyklistów (ECE R22.05), pozwalają jedynie bardzo ogólnie oszacowywać ryzyko wystąpienia urazów zewnętrznych (głównie złamania struktur kostnych czaszki) spowodowanych mechanicznym obciążeniem. Wynika to z faktu, iż kryterium HIC i HPC uwzględnia jedynie przyspieszenie liniowe, pomijając jednocześnie wpływ przyspieszenia kąтового działającego na głowę człowieka podczas wypadku. Również wymagania dotyczące bezpieczeństwa fotelików rowerowych dla dzieci (EN 14344:2004-11) związane są jedynie z testem pasów bezpieczeństwa dla dzieci – precyzując, testowana jest makietka ze sztywnego materiału o masie 9 kg.

W związku z tym problematyka cyklu habilitacyjnego (tzw. „luka badawcza”) przedstawia się następująco:

- Brak jest interdyscyplinarnego i holistycznego podejścia do bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu drogowego.
- Ograniczone są badania dotyczące identyfikacji i weryfikacji obecnych metod badawczych związanych z obowiązującymi wymaganiami dla niechronionych użytkowników ruchu drogowego.

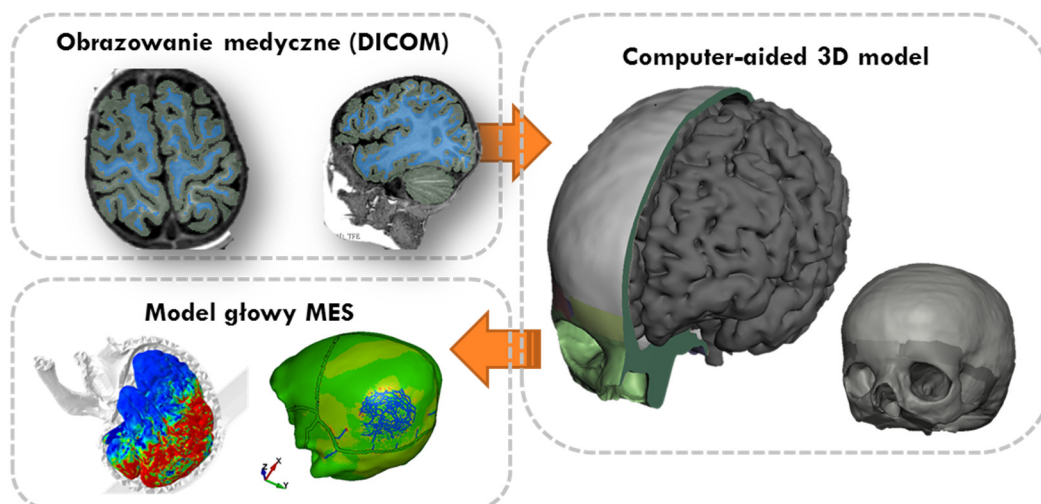
Przedstawiony problem badawczy habilitant rozwiązuje poprzez ścisłe powiązanie zwyczajowo osobno rozpatrywanych zagadnień z mechaniki, biomechaniki, obrazowania medycznego oraz neurochirurgii – a także problemów obliczeniowych związanych z analizą nieliniową opartą o powiązanie dwóch osobnych kodów numerycznych („coupling”). Wielowariantowe, uwzględniające złożone struktury ciała człowieka, modele numeryczne stają się cennym narzędziem do oceny bezpieczeństwa oraz szacowania ryzyka obrażeń, a także mogą zmniejszać skutki wypadków poprzez lepszą diagnostykę oraz tworzenie systemów prewencyjnych. Habilitant w swoich pracach badawczych, dotyczących modelowania numerycznego wypadków z udziałem niechronionych uczestników ruchu drogowego, zajmował się tym tematem dwustopniowo. Połączenie kodów Metody Elementów Skończonych (MES) oraz Mulibody (MB) pozwoliło na analizę bezpieczeństwa NURD w skali ogólnej – „makro” (rys. 1). Ocena kinematyki NURD po zderzeniu oraz weryfikacja parametrów biomechanicznych możliwa była dzięki zastosowaniu manekinów

MADYMO, dołączeniu niezbędnych „akcesoriów” charakteryzujących konkretną grupę NURD oraz dodaniu zaawansowanego modelu MES – najczęściej pojazdu, bariery drogowej lub elementów bezpieczeństwa biernego (kasku).



Rys. 1. Modelowanie w skali ogólnej – przedstawiono połączenie dwóch kodów numerycznych do oceny bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu drogowego.

Należy zaznaczyć, że jedną z bardziej złożonych i najważniejszych części anatomicznych człowieka jest głowa. Mimo iż układ naczyniowy i nerwowy mózgu jest dobrze chroniony, nie jest on jednak przystosowany do dynamicznych zmian obciążeń mechanicznych. Stąd w wymaganiach normowych dla NURD stosowane są impaktory głowy człowieka. Dzięki znajomości własności układu struktur mózgowia, poprzez badania doświadczalne oraz obliczeniowe wnioskodawca otrzymał dokładne dane wejściowe do modeli numerycznych. Możliwe jest wówczas, po odpowiedniej walidacji, przeprowadzenie numerycznej symulacji destrukcji strukturalnej tkanek mózgowych pod wpływem przeciążeń mechanicznych na poziomie tkankowym (ang. tissue-level) – rys. 2.

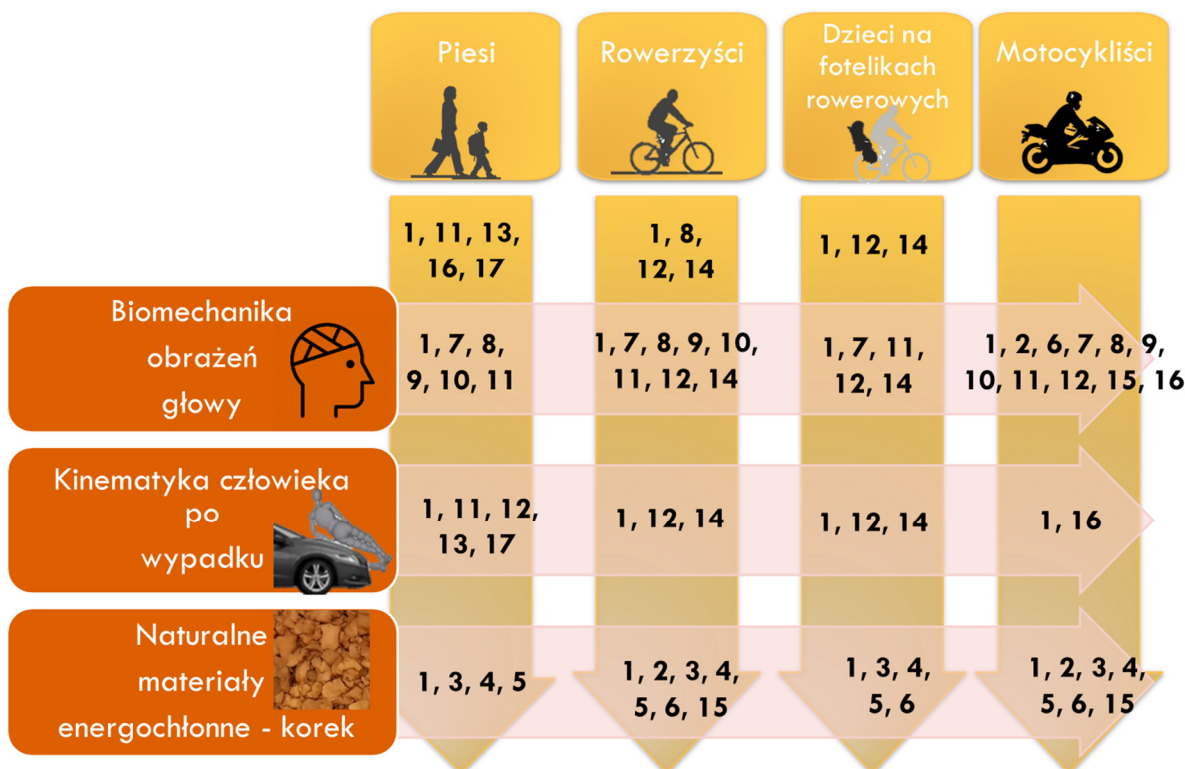


Rys. 2. Modelowanie na poziomie tkankowym – przedstawiono etapy modelowania głowy człowieka.

Podstawowy obszar zainteresowań naukowych habilitanta, a jednocześnie cel naukowy zaprezentowany w niniejszym wniosku stanowią teoretyczne oraz eksperymentalne badania dotyczące kształtowania – tj. oceny i poprawy – bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu drogowego. W osiągnięciu habilitacyjnym przedstawionym w formie cyklu 17 prac naukowych wnioskodawca dokonał analizy i syntezy wybranych zagadnień dotyczących niechronionych uczestników ruchu drogowego. Obszar związany z niechronionymi użytkownikami ruchu drogowego, na którym wnioskodawca skupił swoje badania naukowe można podzielić na następujące zagadnienia:

1. Analiza biomechaniczna obrażeń głowy – modelowanie urazów głowy człowieka podczas obciążeń dynamicznych;
2. Analiza kinematyki niechronionego uczestnika ruchu drogowego podczas wypadków drogowych;
3. Zwiększenie bezpieczeństwa niechronionych użytkowników dróg poprzez zastosowanie dodatkowych systemów ochronnych i pomiarowych.

Na podstawie przeprowadzonych analiz teoretycznych i rozwiązania problemów technicznych wnioskodawca uważa, że powyższe zagadnienia stanowią istotne obszary poznawcze, których badanie jest kluczowe do awansu stanu wiedzy w tematyce niechronionych użytkowników ruchu drogowego. Macierz obszaru badawczego dotyczącego niechronionych uczestników ruchu drogowego i odpowiednie odniesienie do powiązanych tematycznie publikacji, przedstawionych w rozdziale 4.2 niniejszego dokumentu, zobrazowano na rys. 3.



Rys. 3. Macierz obszaru badawczego dotyczącego niechronionych uczestników ruchu drogowego i odpowiednie odniesienie do powiązanych tematycznie publikacji wnioskodawcy

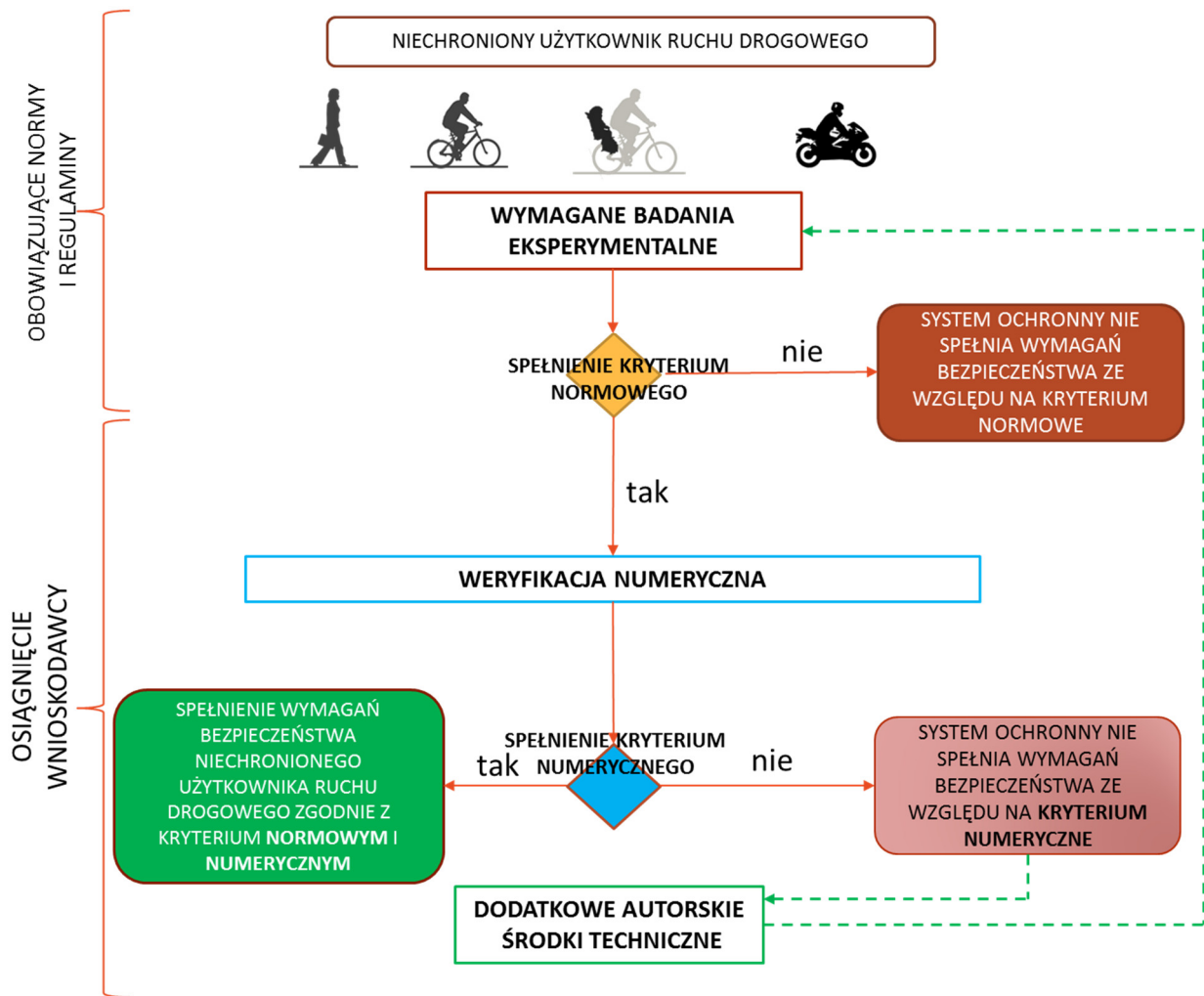
Przedstawiony obszar badawczy wpisuje się w światowe tendencje prac badawczych prowadzonych nad tymi zagadnieniami. Zaprezentowane przez habilitanta rezultaty stanowią uzupełnienie prowadzonych badań w wiodących placówkach naukowych a w tematyce biomechaniki obrażeń głowy, kinematyki człowieka podczas wypadku – szczególnie dzieci w fotelikach rowerowych – i naturalnych materiałów energochłonnych eksplorują zupełnie nowe koncepcje badawcze. Finalnie przedstawiony przez wnioskodawcę obszar badawczy, powiązany w cyklu tematycznym, był podstawą do opracowania autorskiej metody kształtowania bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu drogowego.

5.1 METODA KSZTAŁTOWANIA BEZPIECZEŃSTWA NIECHRONIONYCH UCZESTNIKÓW RUCHU DROGOWEGO

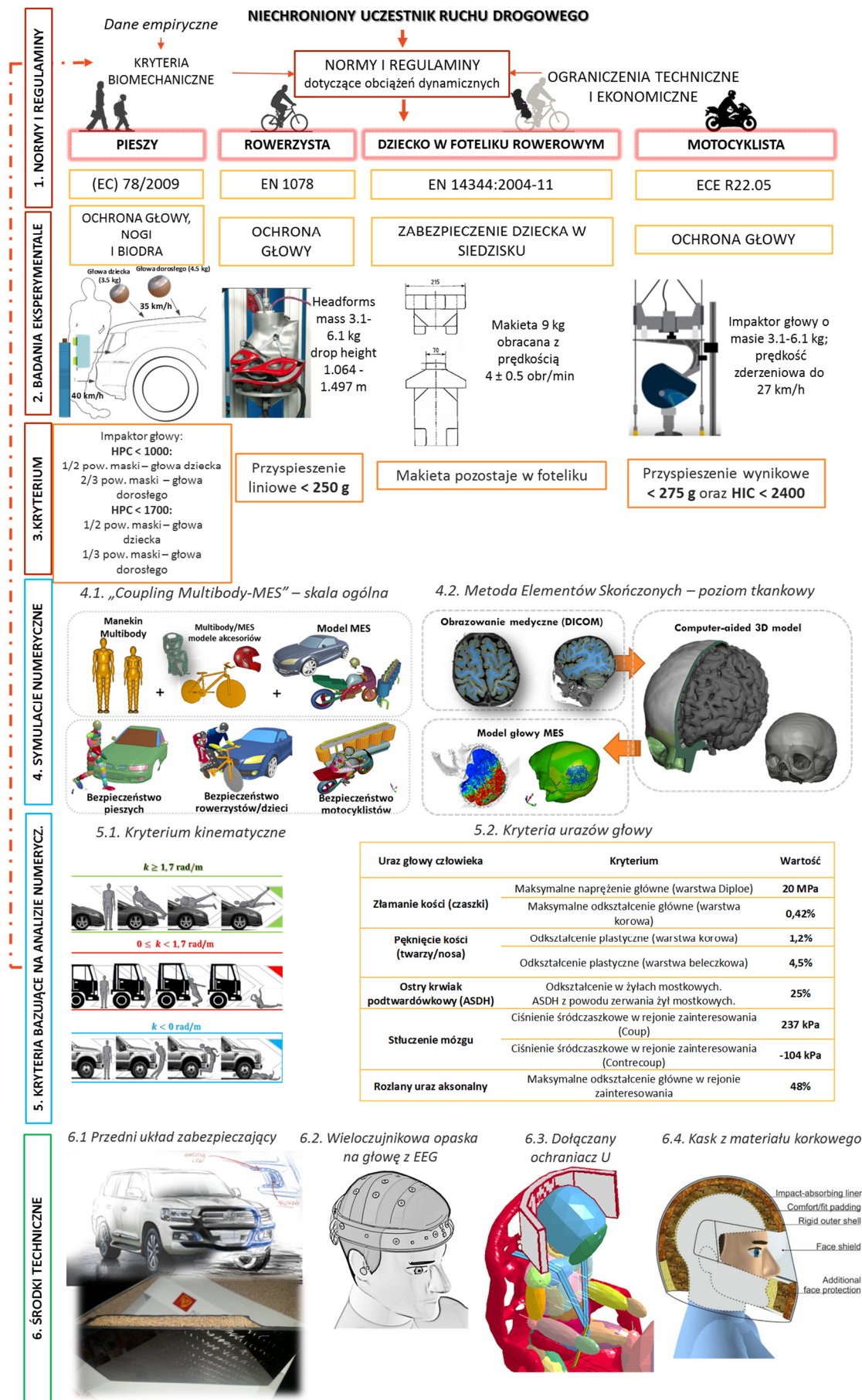
Przedstawione w cyklu publikacji ograniczenia w stanie wiedzy na temat niechronionych uczestników ruchu drogowego oraz zidentyfikowane problemy dotyczące obecnie stosowanych wymagań stały się podstawą do opracowania komplementarnej metody. Zaprezentowane badania składają się na osiągnięcie naukowe jakim jest metoda oceny i poprawy bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu drogowego podczas obciążeń dynamicznych poprzez dodanie do obecnie stosowanych wymagań kryterium numerycznego i opracowanie dodatkowych środków technicznych. Metoda umożliwia rozwiązanie przedstawionych zagadnień, jednocześnie uzupełniając stosowane normy i regulaminy o kryterium numeryczne – wykorzystując zwalidowany model głowy człowieka – dając tym samym możliwość jej wdrożenia do praktyki inżynierskiej.

Opracowana metoda, opublikowana przez habilitanta w artykule *Method to Assess and Enhance Vulnerable Road User Safety during Impact Loading* [1], wiąże ze sobą sprecyzowane w publikacji kryterium numeryczne oraz kryterium normowe tj. dotychczasowe wymagania eksperymentalne opisane w normach i regulaminach. Metoda umożliwia ocenę bezpieczeństwa systemów ochronnych dla każdej grupy NURD tj.: pieszych, rowerzystów, dzieci w fotelikach rowerowych i motocyklistów oraz umożliwia zastosowanie dodatkowych środków technicznych w przypadku niespełnienia zdefiniowanych wymagań bezpieczeństwa.

W celu precyzyjniejszego przedstawienia metody została ona zobrazowana zarówno w postaci procesu decyzyjnego (rys. 4) jak również rozwiniętego procesu kaskadowego (rys. 5). Oba warianty są tożsame merytorycznie – ze względu na złożone treści merytoryczne wnioskodawca omówi metodę na podstawie rys. 5.



Rys. 4. Metoda kształtowania bezpieczeństwa niechronionych użytkowników ruchu drogowego – wersja w postaci procesu decyzyjnego.



Rys. 5. Metoda kształtowania bezpieczeństwa niechronionych użytkowników ruchu drogowego – wersja w postaci procesu kaskadowego.

Przedstawiona metoda składa się z sześciu etapów, z których etapy 1-3 dotyczące obciążeń dynamicznych są obecnie stosowane, natomiast etapy 4-6 są dodane przez habilitanta w celu oceny i poprawy bezpieczeństwa wszystkich grup NURD. W metodzie scharakteryzować można następujące etapy:

- 1. Normy i regulaminy** dotyczące obciążeń dynamicznych, łączące ze sobą wymagania dla poszczególnych grup NURD: pieszych, rowerzystów, dzieci w fotelikach oraz motocyklistów w zakresie obciążeń dynamicznych. Etap ten formowany jest przez opracowane wiele lat temu kryteria biomechaniczne bazujące m. in. na danych empirycznych (testy na zwłokach, ochotnikach, zwierzętach itp.). Normy i regulaminy są jednak ograniczone rozwojem techniki, złożonym procesem legislacyjnym oraz co bardzo istotne, również zasadnością ekonomiczną (m. in. ceną produktu, np. kasku, dla klienta końcowego) stosowanych rozwiązań.
- 2. Badania eksperymentalne** przeprowadzane zgodnie z wymogami określonymi dla NURD. W Unii Europejskiej są to wymogi określone przez Regulamin (EC) 78/2009 w odniesieniu do pieszych, norma EN 1078 określająca wymogi dla kasków stosowanych przez rowerzystów, norma EN 14344:2004-11 dotycząca wymagań zabezpieczenia dziecka w siedzisku rowerowym oraz standard ECE R22.05 dla motocyklistów określający wymagania stawiane kaskom motocyklowym.
- 3. Kryterium normowe** – zdefiniowane maksymalne wartości parametrów zarejestrowanych w impaktorze głowy człowieka (impaktor głowy pieszego, rowerzysty, motocyklisty). Są to określone wzorami parametry takie jak HIC (tożsamy co do wartości HPC) lub przyspieszenia liniowe rejestrowane w środku masy impaktora głowy człowieka. W odniesieniu do bezpieczeństwa dziecka przewożonego w foteliku rowerowym weryfikowane są pasy bezpieczeństwa – natomiast kryterium dotyczy pozostania makiety dziecka w foteliku podczas jego obrotu.

Etapy 1-3 metody zostały szczegółowo opisane w publikacji [1], gdzie również została podjęta ich krytyczna analiza. Podobne krytyczne wnioski zostały wyciągnięte przy analizie kinematyki oraz potencjalnych obrażeń dziecka w foteliku podczas wypadku. W publikacjach *Child safety on various bicycle-mounted seats during vehicle impact* [12] oraz *Safety analysis of a bicycle-mounted child seat* [15] habilitant stwierdził, że obecnie stosowane foteliki rowerowe nie powinny być traktowane jako elementy systemu bezpieczeństwa biernego dla dzieci przewożonych na rowerach. Co więcej kinematyka dziecka przypiętego pasami w foteliku rowerowym jest zdecydowanie inna niż rowerzysty czy też pieszego. Zatem nie można wprost odnosić kinematyki małego dziecka do kinematyki potraconego rowerzysty, co zostało zauważone w publikacji [15]. Stwierdzono również wysuwanie się dziecka przypiętego za pomocą pasów 3-punktowych z fotelika podczas zderzeń bocznych oraz krytyczny, ze względu na obrażenia czaszkowo-mózgowe, kontakt głowy dziecka z pojazdem.

- 4. Symulacje numeryczne** do weryfikacji obrażeń lub kinematyki niechronionego użytkownika ruchu drogowego. Etap ten jest możliwy dzięki zastosowaniu przez wnioskodawcę modeli numerycznych manekinów (dostępnych w oprogramowaniu

MADYMO, LS-DYNA, ABAQUS) oraz opracowanych własnych modeli głowy człowieka. Etap ten podzielony jest na podetapy odnoszące się do skali zagadnienia:

- 4.1. **Skala ogólna** – symulacje numeryczne przy użyciu więcej niż jednego kodu numerycznego np. MES-Multibody (coupling) do analizy bezpieczeństwa NURD w skali ogólnej – „makro”.
- 4.2. **Skala mikro** – symulacje numeryczne na poziomie tkankowym, struktur kostnych itp. przy użyciu najczęściej jednego kodu numerycznego np. MES.

Należy zaznaczyć, że są możliwe – i często wykonywane przez wnioskodawcę – analizy wieloskalowe (ang. „multiscale”) gdzie z etapu ogólnego pobierane są konkretne dane dotyczące m.in. wartości prędkości zderzeniowych głowy człowieka a następnie dane (jako warunki brzegowe) aplikowane są w symulacjach obejmujących zaawansowane obliczenia na poziomie tkankowym. Obecnie temat obrażeń głowy jest bardzo dynamicznie rozwijany w kierowanym przez wnioskodawcę projekcie „aHEAD” (finansowany przez NCBiR, program LIDER). Etap 4 jest szczegółowo opisany przez habilitanta w publikacjach odnoszących się do niechronionych uczestników ruchu drogowego:

- *Simulated depiction of head and brain injuries in the context of cellularbased materials in passive safety devices* [15] – publikacja, w której zaprezentowano model numeryczny motocykla, wraz z motocyklistą (model Multibody) w kasku motocyklowym, uderzającego w zaawansowaną barierę drogową (MES). W artykule zwrócono uwagę na fakt, że pomimo wyliczonemu HIC=816 (spełnione obecne normy) motocyklista doznałby poważnych obrażeń ze względu na znaczne przyspieszenia kątowe głowy oraz zakleszczenie się ramienia motocyklisty w barierze drogowej.
- *Computer Simulations for Head Injuries Verification after Impact* [16] – w artykule przedstawiono numeryczno-eksperymentalny test kasku motocyklowego. W badaniach uzyskano zgodne przebiegi przyspieszeń oraz wartości maksymalnych na impaktorze głowy wykonanym zgodnie z EN 960. Otrzymane wartości HIC oraz przyspieszenia liniowego są zgodne z kryterium ECE R22.05 (etap 3 prezentowanej metody). Badania z artykułu [16] były później skonfrontowane z testami na numerycznym modelu głowy człowieka chronionej tym samym kaskiem – publikacja [1]. W artykule [1] wykazano, że ciśnienie śródczaszkowe przekracza sześciokrotnie wartość wskazaną w kryterium definiującym stłuczenie mózgu.
- *Numerical Technologies for Vulnerable Road User Safety Enhancement* [17] – w artykule przedstawiono systemy bezpieczeństwa aktywnego, które wnioskodawca miał okazję testować wraz ze współautorem artykułu K. Konarzewskim z firmy Safety Engineering Research. Przeprowadzono wstępne badania możliwości wykrywania pieszych/rowerzystów na drodze przy użyciu LIDARu. Badano wpływ noszonego ubrania na algorytm rozpoznawania elementów charakterystycznych pieszego/rowerzysty. Dowiedziono, że sposób ubrania może w znaczący sposób ograniczać algorytm rozpoznawania pieszego/rowerzysty. Następnie zestawiono obecne stosowane metody inżynierskie do poprawy bezpieczeństwa biernego pieszego oraz rowerzysty.

5. Kryteria numeryczne bazujące na analizach numerycznych oraz badaniach eksperymentalnych na zwłokach ludzkich opisanych w literaturze (Hardy et al. 2007; Nahum et al. 1977; LLC Elemance - GHBM Model 2014). Według habilitanta wnioski z tego etapu powinny służyć do formowania nowych kryteriów biomechanicznych odnoszących się do norm i regulaminów – stąd na rys. 5 powiązanie tego etapu przerywaną linią z etapem 1. Etap 5 umożliwia weryfikację numeryczną elementów systemu bezpieczeństwa dla NURD w zakresie:

- 5.1. Kinematyki** – w celu weryfikacji parametrów geometrycznych przedniej części pojazdu w odniesieniu do kinematyki pieszego podczas wypadku. Zastosować można tu m. in. kryterium kinematyczne opisane w publikacji *Pedestrian safety: a new method to assess pedestrian kinematics* [13] dotyczące weryfikacji przedniej części pojazdu samochodowego w odniesieniu do bezpieczeństwa potrąconego przez pojazd pieszego.
- 5.2. Kryteriów urazu głowy** – opartych na przedstawionych w literaturze przedmiotu badaniach na zwłokach, a możliwych do weryfikacji dzięki odpowiednio zwalidowanym modelom głowy człowieka opracowanym w projektach: aHEAD (NCBiR), którego wnioskodawca jest kierownikiem i YEAHM, którego wnioskodawca jest współautorem. W przyszłości etap ten można rozwinąć o inne, istotne ze względów biomechaniki obrażeń, części ludzkiego ciała.

Biorąc pod uwagę fakt, że opracowanie kryteriów biomechanicznych miało na celu zmniejszenie urazowych uszkodzeń mózgu, konieczne było stworzenie modeli numerycznych, które posłużyły wnioskodawcy jako skuteczniejsza alternatywa, pod względem możliwości wykrycia urazów czaszkowo-mózgowych, w stosunku do aktualnie stosowanych modeli fizycznych (etap 1-3). Habilitant opracował i opublikował modele, które umożliwią weryfikację kryteriów biomechanicznych, ulepszenie urządzeń ochronnych głowy, ułatwiają rekonstrukcję wypadków drogowych, diagnostykę i predykcję obrażeń oraz rozwój wiedzy w zakresie biomechaniki. Obecne metody numeryczne zapewniają odpowiednie przybliżenie rozwiązań układów biomechanicznych, których rozwiązanie analityczne byłoby bardzo czasochłonne.

Publikacje habilitanta związane z etapem 5 metody są następujące:

- *Material and Structural Modeling Aspects of Brain Tissue Deformation under Dynamic Loads* [7] – publikacja, w której przedstawiono dobór modelu materiału na tkankę mózgową modelu głowy człowieka oraz opublikowano badania związane z walidacją modelu α HEAD zgodnie z eksperymentem Hardy’iego (Hardy et al. 2007). W artykule zwrócono również uwagę na dobór odpowiednich elementów skończonych i problem tzw. blokady objętościowej (ang. volumetric locking), gdyż przy analizach struktur nieściśliwych często dochodzi do zawyżonej, nienaturalnej sztywności elementów skończonych. Tkanki mózgowie należą do materiałów biologicznych o współczynniku Poissona bliskim 0,5 – dlatego też przy analizach numerycznych uniknięcie tego zjawiska jest bardzo istotne.
- *Investigation of biomechanics of skull structures damages caused by dynamic loads* [8] – w publikacji habilitant wraz z zespołem lekarzy neurochirurgów skupił się na

obrażeniach czaszki rowerzysty uderzonego przez pojazd samochodowy z prędkością 80 km/h. W artykule przedstawiono model materiału czaszki wraz ze zniszczeniem (degradacją elementów skończonych) oraz zamodelowano szwy czaszki. Badano wpływ szwów i ich sztywności na propagację pęknięcia struktur czaszki oraz energię wewnętrzną modelu czaszki. Wnioskodawca przedstawił również model matematyczny użytego modelu materiału.

- *Detection of bridging veins rupture and subdural haematoma onset using a finite element head model* [9] – w publikacji potwierdzono, że z uwagi na położenie i budowę anatomiczną głowy człowieka do najbardziej podatnych struktur na uszkodzenia w wyniku przeciążeń mechanicznych należą żyły mostkowe. Opracowano i zaimplementowano model konstytutywny zniszczenia żył mostkowych, który jest bardzo istotny w analizach degradacji tkanki nerwowej np. badań urazu typu *coupe* lub *countre-coupe*. Urazy te są często skutkiem wypadków drogowych.
- *Development and validation of a new finite element human head model: Yet another head model (YEAHM)* [10] – publikacja, w której przedstawiona została złożona walidacja modelu numerycznego YEAHM, który wyróżnia się na tle innych model strukturami „gyrus” i „sulci” (zakręty i bruzdy mózgu). Wykazano, że pofałdowania oraz zmienna grubość czaszki mają istotny wpływ na patofizjologię urazów czaszkowo-mózgowych. Model został zweryfikowany zgodnie z eksperymentem Nahuma (Nahum et al. 1977) i jest obecnie szeroko wykorzystywany w analizach porównawczych (*benchmark*) zespołu aHEAD kierowanego przez wnioskodawcę.
- *Head Injury Simulation in Road Traffic Accidents* [11] – monografia, która zainspirowana została rekonstrukcją wypadku z udziałem pieszego przeprowadzoną przez habilitanta na potrzeby sądu (Ptak et al. 2016). W monografii zestawione zostały kompleksowo kryteria urazów głowy człowieka, które użyto również w niniejszej metodzie habilitanta. W poszczególnych rozdziałach przedstawiono przegląd modeli numerycznych głowy człowieka, sposób modelowania MES i modele konstytutywne materiałów. Zaprezentowano również walidację modelu YEAHM zgodnie z testem Hardy’iego. W rozdziale 4 przedstawiono wyniki symulacji uderzenia pojazdu w pieszego i autorski sposób rekonstrukcji wypadku ze względu na uszkodzenia pojazdu. Wnioskodawca opisał również sposób modelowania uderzenia głowy człowieka w numeryczny model szyby przedniej pojazdu oraz porównał badania z eksperymentem przeprowadzonym przez współautora monografii.

6. Środki techniczne – dodatkowe, opracowane przez wnioskodawcę rozwiązania, które pomagają zredukować obrażenia niechronionych użytkowników ruchu drogowego podczas obciążeń udarowych. Habilitant proponuje ich zastosowanie wówczas, gdy nie jest spełnione kryterium numeryczne (etap 5). Opracowanie środków technicznych jest wynikiem podjętych przez wnioskodawcę licznych interdyscyplinarnych prac badawczych związanych z redukcją obrażeń NURD poprzez zastosowanie elementów pochłaniających energię zderzenia, zapewnienie odpowiedniej kinematyki potraconej osobie oraz zastosowanie dodatkowych elementów ochronnych. Część swoich badań

naukowych wnioskodawca poświęcił na poszukiwanie skutecznych a zarazem ekologicznych materiałów w zakresie konstrukcji energochłonnych. Z przedstawionych poniżej publikacji wynika, że naturalne materiały o budowie komórkowej, włókna i żywice mają potencjał, który można użyć w rozwoju zaawansowanych kompozytów. Materiały o budowie komórkowej, m.in. korek z dębu korkowego, cechuje się odpowiednimi właściwościami fizycznymi, pożądaną estetyką (design) i znakomitymi właściwościami pochłaniania energii zderzenia. Okazało się, że odpowiedni aglomerat korkowy ma podobne lub nawet korzystniejsze właściwości energochłonne niż powszechnie używane m.in. w kaskach rowerowych i motocyklowych komponenty z tworzyw sztucznych. Podczas badań nad bezpieczeństwem NURD habilitant opracował również zaawansowany system do monitorowania głowy człowieka podczas przeciążeń mechanicznych. Publikacje habilitanta związane z etapem 6 niniejszej metody są następujące:

- *Assessing impact velocity and temperature effects on crashworthiness properties of cork material* [5] – w publikacji przedstawiono testy eksperymentalne materiału korkowego w zakresie energii uderzenia 120-850 J oraz w dwóch zakresach temperatury: 21°C i 50°C. Odkryto i opisano interesujące zależności temperatury od aplikowanej energii zderzenia. Opracowany został również model materiału dla aglomeratu korkowego w systemie ABAQUS wykorzystujący kombinację modeli materiału *hyperfoam* i modelu z efektem Mullinsa (Mullins Effect). Model materiału został pozytywnie zweryfikowany podczas testów porównawczych.
- *High-energy impact testing of agglomerated cork at extremely low and high temperatures* [3] – w publikacji przebadano pięć różnych rodzajów materiału korkowego łącznie z tzw. korkiem czarnym (bez domieszki kleju poliuretanowego) poddanej stałej energii uderzenia (500 J) lecz w różnych, ekstremalnych temperaturach (od -30°C do 100°C) w celu weryfikacji jego energochłonności. Testy były istotne ze względu na potencjalne użycia materiału korkowego, jako elementu bezpieczeństwa biernego, w różnych regionach świata oraz w różnych warunkach atmosferycznych (np. nagrzany promieniami UVB kask). Wraz ze współautorami wnioskodawca opracował również model analityczny zachowania się materiału korkowego w różnych temperaturach – CAMEA (Cork Agglomerates Model for Energy Absorption).
- *Development and testing of advanced cork composite sandwiches for energy-absorbing structures* [4] – na podstawie doświadczeń w badaniach materiału korkowego habilitant opracował nowy kompozyt wykazujący się lepszą stabilnością termiczną i większą energochłonnością niż próbki z jednorodnego korka. Ze względu na minimalizację obrażeń głowy podczas wielokrotnego uderzenia (szczególnie u motocyklistów) zaproponowano użycie tego kompozytu korkowego w kasku motocyklisty.
- *Graphene-Enriched Agglomerated Cork Material and Its Behaviour under Quasi-Static and Dynamic Loading* [2] – w publikacji wnioskodawca przedstawił badania eksperymentalne w kierunku zwiększenia energochłonności materiału korkowego w celu jego aplikacji w elementach ochronnych dla NURD oraz osób uprawiających sport. Opracowano i wyprodukowano nowe próbki korkowe z domieszką grafenu

(tlenek grafenu lub nanopłytki) oraz przeprowadzono badania zarówno w zakresie statycznym jak i dynamicznym. W badaniu dynamicznym próbki poddano również uderzeniu wielokrotnemu. Stwierdzono, że dla prób w zakresie statycznym domieszka grafenu pomaga wydłużyć okres, w którym siła jest stała w funkcji odkształcenia (ang. stress plateau). Niemniej jednak podczas prób dynamicznych przy dużych prędkościach odkształcania domieszka grafenu nie wpłynęła na zwiększenie energochłonności testowanego korka.

- *Helmet design based on the optimisation of biocomposite energy absorbing liners under multi-impact loading* [6] – w publikacji przedstawiono koncepcję nowego kasku motocyklowego, którego wkładka energochłonna wykonana jest z materiału korkowego. Przetestowano różne warianty geometryczne i materiałowe przy użyciu metod numerycznych. Optymalizację przeprowadzono używając numerycznego impaktora głowy człowieka. Wnioskodawca wraz ze współautorami porównał użycie aglomeratu korkowego AC216 (agglomerated cork) ze standardową wkładką wykonaną z tworzywa sztucznego EPS90 (expanded polystyrene).

Badania naukowe związane z etapem 4-6 metody kształtowania niechronionych użytkowników ruchu drogowego pozwoliły wnioskodawcy na opracowanie rozwiązań służących poprawie bezpieczeństwa (rys. 5):

- 6.1. *Przedni układ zabezpieczający wykonany z włókna węglowego z rdzeniem z materiału korkowego* – produkt zrealizowany i wdrożony na potrzeby m.in. firmy D.S. Germaz w ramach projektu „Badanie i aplikacja naturalnych materiałów energochłonnych i kompozytów zastosowanych w pojazdach samochodowych w celu poprawy bezpieczeństwa pieszych i rowerzystów” organizowanego przez Wrocławskie Centrum Akademickie – program „Mozart”. Obecnie na rynku polskim, ale również europejskim i amerykańskim, dominują akcesoria do pojazdów w postaci stalowych, chromowanych orurowań wytwarzanych głównie w celach ozdobnych. Wdrożony do produkcji przedni układ zabezpieczający montowany jest na pojazdach typu SUV i VAN, wyróżnia się przyciągającym wzrok projektem wzorniczym (design) oraz, co najważniejsze, znacząco poprawia bezpieczeństwo NURD.
- 6.2. *Wieloczułnikowa opaska na głowę* – zgłoszenie patentowe nr P.426323. System, dzięki któremu możliwe jest zarejestrowanie złożonych charakterystyk dynamicznych głowy człowieka w sytuacjach, gdy głowa narażona jest na przeciążenia. Dzięki systemowi możliwe jest uzyskanie korelacji charakterystyk dynamicznych głowy z innymi nieinwazyjnymi metodami diagnostycznymi służącymi m.in. do pomiaru tętna, przepływu krwi oraz badań bioelektrycznej czynności mózgu EEG (elektroencefalografia).
- 6.3. *Ochraniacz „U” dołączany do fotelika rowerowego* – obecne systemy transportu rowerowego dzieci, w szczególności foteliki montowane do ramy roweru z przodu czy też z tyłu, wykazują brak dostatecznej ochrony głowy dziecka w przypadku zderzenia – wykazano to w publikacjach

[12,14]. Głowa dziecka nie jest dostatecznie zabezpieczona na wypadek wystąpienia nadmiernych przemieszczeń wynikających z kinematyki zderzenia. Dlatego też wnioskodawca proponuje rozwiązanie, które może zostać zastosowane w dowolnym urządzeniu służącym do transportu dzieci na rowerze. Produkt wykonany jest z materiału korkowego połączonego z pianką (firmy Poron XRD) i charakteryzuje się możliwością dołączenia go za pomocą technik łatwego montażu (rzepy lub napy) do fotelika rowerowego.

- 6.4.** *Kask z materiału korkowego* – idea kasku z materiału korkowego pojawiła się po testach różnych wariantów korka (publikacje [2-6]). W obecnych czasach oprócz odpowiednich właściwości fizyczno-mechanicznych poszukiwane są materiały ekologiczne lub poddawane w łatwy sposób recyklingowi, wykazujące podobne lub nawet korzystniejsze właściwości energochłonne niż powszechnie używane tworzywa sztuczne. Koncepcja kasku została zaprezentowana w publikacji [4]. Obecnie wnioskodawca opracowuje również kaski i czapki ochronne dla pieszych, rowerzystów i sportowców.

Podsumowując, do oryginalnych osiągnięć habilitanta, będących wkładem w rozwój dyscypliny budowa i eksploatacja maszyn w obszarze kształtowania bezpieczeństwa niechronionych użytkowników ruchu drogowego, można zaliczyć poniższe dokonania:

1. Poddano weryfikacji numerycznej obecne metody badawcze związane z obciążeniami dynamicznymi dla każdej grupy niechronionych użytkowników ruchu drogowego tj. pieszych, rowerzystów, dzieci w fotelikach rowerowych oraz motocyklistów. Stwierdzono, że obecne wymagania dla systemów ochronnych mogą nie zapewniać odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa ze względu na brak uwzględnienia przyspieszeń kątowych i zbyt wysokie wartości przyjętych kryteriów.
2. Opracowano zwalidowany model obliczeniowy głowy człowieka z wykorzystaniem metod obrazowania medycznego.
3. Oceniono wpływ właściwości tkanek mózgowych i żył mostkowych na przemieszczenia mózgu oraz degradacji szwów czaszki podczas obciążeń mechanicznych.
4. Opracowano model materiału korkowego w kodzie numerycznym MES, zbadano zachowanie się materiału korkowego w ekstremalnych temperaturach oraz opracowano nowe kompozyty korkowe, również z domieszką grafenu.
5. Opracowano środki techniczne, które podnoszą poziom bezpieczeństwa niechronionego uczestnika ruchu drogowego podczas zderzenia.
6. Wdrożono komercyjny produkt poprawiający bezpieczeństwo pieszych.
7. Opracowano metodę kształtowania bezpieczeństwa niechronionych użytkowników ruchu drogowego.

5.2 BIBLIOGRAFIA

- European Commission, 2018. *2017 road safety statistics - Fact Sheet*, Brussels, Belgium.
- European Parliament and Council, 2010. Directive on the framework of deployment of ITS in the field of road transport and for interfaces with other modes of transport, European Parliament and Council: Brussels, Belgium.
- Fisher, A. & Hall, R., 1971. The influence of car frontal design on pedestrian accident trauma. *Accident Analysis & Prevention*, 4(1), pp.47–58.
- Hardy, W.N. et al., 2007. A study of the response of the human cadaver head to impact. *Stapp car crash journal*, 51, pp.17–80.
- Harper, W.W., 1958. The physical circumstances of auto-pedestrian collisions. *Arizona medicine*, 15(4), pp.266–72.
- LLC Elemance - GHBM Model, 2014. Global Human Body Models Consortium, Clemmons, USA.
- Nahum, A.M., Smith, R. & Ward, C.C., 1977. Intracranial Pressure Dynamics During Head Impact.
- Ptak, M. et al., 2016. Numerical simulation using finite element method and multibody pedestrian dummy - report no. 142/2016. , pp.1–125.
- Simms, C. & Wood, D., 2009. *Pedestrian and Cyclist Impact*, Dordrecht: Springer Netherlands.
- World Health Organization, 2018. *Global status report on road safety 2018*, Geneva.

6. OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO-BADAWCZYCH

Szczegółowy opis osiągnięć naukowo-badawczych przedstawiono w **załączniku nr 4**.

6.1 DZIAŁALNOŚĆ PROWADZONA PRZED DOKTOREM

Główny obszar zainteresowań badawczych wnioskodawcy, na którym skupił się jeszcze podczas studiów magisterskich, dotyczył analizy bezpieczeństwa biernego osób w pojazdach ciężarowych. Prace te związane były z numerycznymi obliczeniami kabin pojazdów ciężarowych w celu weryfikacji bezpieczeństwa kabin w kontekście obowiązujących norm. Część prac habilitanta przyczyniła się do opracowania projektu rozwojowego pt. „Opracowanie układu zwiększającego bezpieczeństwo kierowcy ciężarówki podczas zderzenia” finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (Projekt rozwojowy nr: R03 004 02). Celem pracy była analiza zagadnień obejmujących bezpieczeństwo bierne kierowcy samochodu ciężarowego, opracowanie układu zwiększającego bezpieczeństwo kierowcy pojazdu ciężarowego oraz przeprowadzenie symulacji crash-testu kabiny pojazdu ciężarowego zawierającego koncepcyjne rozwiązanie, wymuszające pochłonięcie energii zderzenia w znacznej części przez ramę pojazdu. Jako główny wykonawca projektu, wnioskodawca opracował projekt nowatorskiego zawieszenia kabiny, które realizowało funkcję przemieszczenia kabiny w kierunku skrzyni ładunkowej oraz pochłaniania energii zderzenia.

W latach 2003-2005 wnioskodawca kontynuował studia na kierunku Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, aby w roku 2005 zakwalifikować się na program Socrates-Erasmus. Rok później zdobył z wyróżnieniem tytuł inżyniera (ang. Bachelor of Engineering) na Uniwersytecie w Coventry w Wielkiej Brytanii. Po powrocie do Polski wnioskodawca zakwalifikował się na Indywidualny Program Studiów podejmując drugi kierunek studiów, a mianowicie Mechanikę i Budowę Maszyn. Przystąpił również do organizacji studenckiej Erasmus Student Network, aby w latach 2007-2008 stać się jej wiceprzewodniczącym. Swoje zainteresowania pogłębiał również w kole naukowym zajmującym się modelowaniem CAD. Podczas studiów Mariusz Ptak swoją wiedzę techniczną rozwijał również poprzez dwa staże zagraniczne (Irlandia i Niemcy) w firmach konstrukcyjnych.

W 2008 r., po uzyskaniu podwójnego tytułu magistra inżyniera, wnioskodawca rozpoczął studia doktoranckie na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej. Jego zainteresowania skierowane były w dalszym ciągu na metody numeryczne – szczególnie w odniesieniu do zagadnień dynamicznych związanych z elementami konstrukcyjnymi pojazdów samochodowych. W 2009 roku pod kierownictwem prof. dr hab. inż. Eugeniusza Rusińskiego, wnioskodawca przygotował do akredytacji Polskiego Centrum Akredytacji metodykę badawczą przednich układów zabezpieczających w pojazdach silnikowych, z wykorzystaniem metody elementów skończonych zgodnie z Dyrektywą 2005/66/WE. Była to pierwsza w Polsce akredytacja przyznana uczelni wyższej pozwalająca wykonywać badania bezpieczeństwa przednich układów zabezpieczających w pojazdach

samochodowych z wykorzystaniem metod numerycznych. Od tego czasu zainteresowania wnioskodawcy skierowane są w stronę poprawy bezpieczeństwa biernego pieszych podczas wypadków z udziałem pojazdów samochodowych – szczególnie pojazdów typu SUV wyposażonych w przednie układy zabezpieczające (powszechnie zwane orurowaniami). Wykorzystując symulacje numeryczne oparte na metodzie elementów skończonych wnioskodawca analizował przednią część pojazdu samochodowego. Testy – wykorzystujące numeryczne impaktory nogi człowieka – były następnie konfrontowane z wynikami badań eksperymentu rzeczywistego. W doktoracie pt. „Ocena wpływu elementów konstrukcyjnych pojazdów samochodowych na bezpieczeństwo pieszego” była również weryfikowana kinematyka uderzenia pojazdu samochodowego, wyposażonego w przedni układ zabezpieczający, w pieszego. Bazowała ona na modelu manekina MultiBody. Prace badawcze cechowały się innowacyjną wówczas metodyką badań, w których konstrukcje poddawane były weryfikacji numerycznej jeszcze na etapie projektowania. Prace badawcze zainicjowały również projekt badawczy pt. „Badania i analiza możliwości poprawy bezpieczeństwa biernego pieszego” (MNiSW), którego wnioskodawca był głównym wykonawcą.

Co ważne, w latach 2012-2014, Mariusz Ptak był kierownikiem projektu badawczego pt. „Wpływ elementów konstrukcyjnych pojazdów o wysokiej linii odniesienia zderzaka na poprawę bezpieczeństwa niechronionych użytkowników ruchu drogowego” w ramach projektu Preludium (Narodowe Centrum Nauki). W 2013 r. wnioskodawca uzyskał z wyróżnieniem stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie Budowa i Eksploatacja Maszyn na Politechnice Wrocławskiej.

Badania prowadzone na etapie doktoratu, a następnie szeroko rozwijane po jego obronie w 2013 r., doprowadziły do opracowania nowatorskiego „kryterium kinematycznego”. Integralną częścią metody była autorska zależność, nazwana parametrem k , dzięki której można określić geometryczną właściwość ruchu ciała (kinematykę) pieszego po zderzeniu. Kryterium zostało zaprezentowane i wzbudziło duże zainteresowanie na jednej z najważniejszych branżowych konferencji na świecie – IRCOBI 2012 (Dublin) i IRCOBI 2013 (Göteborg). Zainteresowanie projektem ze strony firm, głównie z branży motoryzacyjnej i ubezpieczeniowej, potwierdziły fakt celowości tez opisanych w doktoracie.

6.2 DZIAŁALNOŚĆ PROWADZONA PO DOKTORACIE

Mariusz Ptak jest obecnie kierownikiem interdyscyplinarnego projektu LIDER 0051/L-8/16/NCBR/2017 związanego z modelowaniem numerycznym głowy człowieka – „Numeryczny system wielowariantowych modeli głowy człowieka do symulacji patofizjologii urazów czaszkowo-mózgowych”. Celem projektu o akronimie aHEAD (ang. advanced Head models for safety Enhancement And medical Development) jest opracowanie zaawansowanych modeli numerycznych głowy człowieka do symulacji patofizjologii urazów czaszkowo-mózgowych. Efektem końcowym projektu będzie opracowanie, m. in. na podstawie danych z obrazowania medycznego, trzech wariantów modeli głowy człowieka w różnym wieku w dwóch kodach numerycznych ABAQUS i LS-DYNA. Modele będą podlegać procesowi dwustopniowej walidacji oraz zostaną skorelowane z mapą przyspieszeń działających na głowę człowieka dzięki prototypowi autorskiego układu pomiarowego do rejestracji przeciążeń. W ramach projektu powstanie również komputerowy system naukowo-dydaktyczny. Będzie on skorelowany z bazą wyników otrzymanych podczas symulacji MES oraz mapą przyspieszeń z wieloczuJNIKOWEJ opaski opisanej powyżej w autorskiej metodzie (pkt. 6.2).

Prowadzona przez habilitanta działalność oraz badania naukowe po osiągnięciu stopnia naukowego doktora:

1. Mariusz Ptak jest absolwentem prestiżowego programu Top 500 Innovators ukończonego na Uniwersytecie Stanforda w Stanach Zjednoczonych. W roku 2013 nawiązał współpracę naukową z przodującym na świecie zespołem (prowadzonym wówczas przez prof. Chrisa Gerdesa) pracującym nad pojazdami autonomicznymi, która zaowocowała odbyciem stażu naukowo-badawczego w VAIL (Volkswagen Automotive Innovation Lab and Dynamic Design Lab) przy Stanford University. Wnioskodawca nawiązał tam kontakty międzynarodowe w obszarze mechaniki zderzeń, biomechaniki i wypadków drogowych.
2. Wnioskodawca w latach 2013-2016 brał udział jako główny wykonawca w opracowaniu prototypu mobilnej stacji do dystrybucji biogazu w ramach realizacji projektu LIDER (645/L-4/2012) finansowanego przez NCBiR pt. „Mobilna stacja zasilania oczyszczonym i skompresowanym biogazem”. Mariusz Ptak wykonywał prace projektowo-badawcze prowadzone na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej związane z pozyskiwaniem, dystrybucją i użytkowaniem biogazu. W projekcie wykorzystał swoją wiedzę nie tylko z zakresu analiz wytrzymałościowych, lecz również dotyczącą metody TRIZ i Design Thinking.
3. Mariusz Ptak prowadzi badania w kierunku projektowania przednich układów zabezpieczających z tworzyw sztucznych i naturalnych materiałów energochłonnych. Dodatkowo opracował przedni układ zabezpieczający służący jako system przymusu bezpośredniego w pojazdach służb mundurowych:

- a. W latach 2012-2015 pracował jako główny wykonawca w projekcie pt. „Opracowanie technologii bezpiecznego wykorzystania pojazdu samochodowego jako środka przymusu bezpośredniego” w ramach INNOTECH-K2/IN2/4/181818/NCBR/12 finansowanego przez NCBiR. Oryginalność rozwiązania polegała na zastosowaniu elementów tłumiących i energochłonnych w znacznym stopniu zmniejszających ryzyko przeciążeń kierowcy i pasażerów pojazdów policyjnych. W ramach projektu wdrożono patent PL 224291 B1, którego wnioskodawca jest głównym autorem.
 - b. W latach 2017-2018 odbył staż w biurze konstrukcyjnym D.S. Germaz w ramach programu: Miejski Program Wsparcia Partnerstwa Szkolnictwa Wyższego i Nauki oraz Sektora Aktywności Gospodarczej "MOZART" we Wrocławiu. Z sukcesem zrealizował projekt pt. „Badanie i aplikacja naturalnych materiałów energochłonnych i kompozytów zastosowanych w pojazdach samochodowych w celu poprawy bezpieczeństwa pieszych i rowerzystów”. Efektem stażu było opracowane wielowariantowych modeli numerycznych oraz wdrożonego produktu – bezpiecznego dla NURD i atrakcyjnego wizualnie przedniego układu zabezpieczającego stosowanego na pojazdach typu SUV i VAN. Produkt wykonany jest z lakierowanego kompozytu z włókna węglowego o rdzeniu ze specjalnie dobranego materiału korkowego. Została opracowana również technologia wytwarzania produktu.
4. Wnioskodawca prowadził badania bezpieczeństwa operatorów maszyn górniczych. Mariusz Ptak jako główny wykonawca realizował projekt INNOTECH K2/IN2/30/182199/NCBR/12: „System poprawy bezpieczeństwa i warunków pracy operatorów samojezdnych maszyn przeznaczonych do prac w górnictwie podziemnym oraz prac tunelowych”. Opracowany w ramach projektu system ogranicza skutki sytuacji wypadkowych, poprzez wykorzystanie najnowocześniejszych rozwiązań konstrukcyjnych i metod badawczych oraz pozyskanej w ostatnim okresie wiedzy z zakresu projektowania konstrukcji chroniących operatorów.
 5. Mariusz Ptak prowadził w latach 2014-2015 projekt pt. „Kinematyka ruchu pieszych i rowerzystów – badania i analiza na potrzeby rekonstrukcji wypadków w ruchu drogowym” (Dotacja statutowa dla młodych naukowców – nr projektu B40013/W10/K1). Podczas projektu w systemie ABAQUS opracowano model numeryczny impaktora głowy dorosłego człowieka zgodny z WG17 EEVC do badań bezpieczeństwa podczas wypadku. W projekcie wnioskodawca przeprowadził wstępne badania możliwości wykrywania pieszych i rowerzystów na drodze przy użyciu LIDARu. Badano wpływ noszonego ubrania (spodnie, spódnica, płaszcz) na wyniki rozpoznawania elementów charakterystycznych pieszego i rowerzystów. Wykonano bazę danych pojazdów samochodowych przy użyciu zaawansowanych narzędzi inżynierii odwrotnej – skanera 3D. Przeprowadzono analizę kinematyki potrąconego rowerzysty i pieszego.

6. Mariusz Ptak prowadził w latach 2016-2017 projekt pt. „Badanie naturalnych materiałów energochłonnych w celu poprawy bezpieczeństwa pieszych, rowerzystów i motocyklistów” (Dotacja statutowa dla młodych naukowców – nr projektu 0402/00136/16). Celem projektu była poprawa bezpieczeństwa pieszych i rowerzystów poprzez rozwój oraz wdrożenie systemów opartych na naturalnych materiałach energochłonnych. Badaniu poddane zostały różne typy dębu korkowego tj. korek naturalny, korek aglomerowany zespolony poliuretanem oraz kompozyty korkowe. Finalnie powstał również model materiału w kodzie numerycznym MES, który został zwalidowany podczas testów eksperymentalnych.
7. Wnioskodawca, jako certyfikowany trener, w latach 2016-2018 brał udział w projekcie „TRAILS – Mobilne Laboratoria Innowacyjności i Usług”. Projekt realizowany był wspólnie przez Urząd Marszałkowski Województwa Dolnośląskiego, Politechnikę Wrocławską i Uniwersytet Techniczny w Dreźnie oraz współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Współpracy INTERREG. Wnioskodawca szkolił uczniów oraz pracodawców z regionu Dolnego Śląska z metody Design Thinking i TRIZ.

Podsumowując, głównym obszarem badań naukowych realizowanych przez wnioskodawcę po doktoracie są zagadnienia związane z analizą oraz poprawą bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu drogowego. Badania zarówno samych obrażeń jak i autorskich środków technicznych pochłaniających energię zderzenia zostały skupione w szczególności na biomechanice obrażeń w obszarze czaszkowo-mózgowym. Wnioskodawca wykorzystuje symulacje numeryczne i badania eksperymentalne w rekonstrukcji wypadków komunikacyjnych i górniczych, projektowaniu pojazdów samochodowych oraz w obszarach związanych z biomechaniką urazów podczas obciążeń dynamicznych.

Wśród najważniejszych osiągnięć wnioskodawcy (pełne zestawienie w *załączniku nr 4*) po uzyskaniu stopnia doktora wymieniłem jeszcze:

- 1) Stypendium MNiSW (2015-2018) dla wybitnych młodych naukowców za prowadzenie wysokiej jakości badań i cieszących się imponującym dorobkiem naukowym.
- 2) Uzyskanie certyfikatu zarządzania projektami IMPA D – .International Project Management Association
- 3) Udział w komitetach naukowych międzynarodowych konferencji m.in. WorldCIST i Cork Science.
- 4) Promotor pomocniczy doktoratu dr inż. Moniki Ratajczak (praca obroniona z wyróżnieniem) oraz mgr. inż. Johannes Wilhelma.
- 5) Ekspert w Komisji Europejskiej w Brukseli oceniający wnioski Marie Skłodowska-Curie Actions (MSCA) oraz Co-Funding of Regional, National And International Programmes (COFUND).
- 6) Ekspert Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

- 7) Edytorstwo czasopism naukowych:
 - a) Applied Sciences (IF=1.689, 25 MNiSW), od 2018 r., wydawca: MDPI, główny edytor wydania specjalnego p.t. *Accident Analysis and Prevention: Experimental & Numerical Approaches*
 - b) Applied Sciences, wydawca: SPRINGER, od 2018 r., główny edytor wydania specjalnego p.t. *Computational Biomechanics*
 - c) Mathematical and Computational Applications (ISSN 2297-8747), od 2019 r., wydawca: MDPI, główny edytor wydania specjalnego p.t. *Numerical Modelling and Simulation Applied to Head Trauma*
- 8) Recenzent czasopism z bazy Web of Science (25 recenzji) oraz innych międzynarodowych – łącznie 37 recenzji w czasopismach międzynarodowych.
- 9) Udział w konsorcjum badawczym “Neurophysiological mapping and stimulation of the human brain for memory enhancement” – kierowanym przez zespół z MAYO CLINIC (USA).
- 10) Członkostwo m. in w Polskim Towarzystwie Biomechaniki oraz TEMA – Center for Mechanical Technology and Automation of the Department of Mechanical Engineering.
- 11) Promotor 37 prac magisterskich i 39 prac inżynierskich.
- 12) Opiekun naukowy koła naukowego „PWr In Space” od 2017 r.

7. SUMARYCZNE ZESTAWIENIE DOROBKU NAUKOWEGO WNIOSKODAWCY

Szczegółowy opis osiągnięć naukowo-badawczych przedstawiono w załączniku nr 4. Natomiast liczbowe zestawienie dorobku naukowego wnioskodawcy przed i po uzyskaniu stopnia doktora przedstawiono w tabeli 1. Sumaryczne zestawienie kryteriów osiągnięć wnioskodawcy wnioskodawca przedstawił w tabeli 2.

Tabela 1. Zestawienie dorobku naukowego wnioskodawcy po i przed uzyskaniem stopnia doktora

Rodzaj dorobku naukowego		a) Przed uzyskaniem stopnia doktora	b) Po uzyskaniu stopnia doktora	Łącznie a)+b)
1. Książki	Ogółem	0	3	3
	w tym monografie międzynarodowe	0	1	1
	podręczniki międzynarodowe	0	1	1
2. Artykuły w czasopismach	Ogółem	14	26	40
	w tym z bazy JCR	2	15	17
	w tym z listy MNiSW	14	26	40
	w tym międzynarodowe	7	13	20
3. Rozdziały w książkach i monografiach	Ogółem	7	5	12
	w tym w monografiach międzynarodowych	0	3	3
4. Artykuły opublikowane w materiałach konferencyjnych	Ogółem	5	25	30
	w tym z bazy WoS	0	10	10
5. Opracowania zbiorowe, katalogi zbiorów, dokumentacja prac badawczych, ekspertyzy		32	22	54
6. Publikacje łącznie (suma pkt. 1-4)		50	35	85
Liczba cytowań wg bazy WoS		2	91	93
Liczba cytowań wg bazy Scopus		18	162	180
Sumaryczny <i>impact factor</i> wg bazy WoS (IF na rok ukazania się publikacji)		5,526	25,637	31,163
Indeks Hirscha wg bazy WoS		2	6	
Indeks Hirscha wg bazy SCOPUS		2	8	
Indeks Hirscha wg bazy Google Scholar		2	10	
Patenty		0	1	1
Zgłoszenia patentowe		1	1	2

Tabela 2. Sumaryczne zestawienie kryteriów osiągnięć wnioskodawcy

I.p.	Kryterium	TAK (liczba)/BRAK
1	Publikacje naukowe w czasopismach z bazy Journal Citation Reports (JCR)	17
2	Zrealizowane oryginalne osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne i technologiczne	3
3	Udzielone patenty: a) międzynarodowe b) krajowe	0 1
4	Wynalazki oraz wzory użytkowe i przemysłowe, które zostały wystawione na międzynarodowych lub krajowych wystawach lub targach	1
5	Monografie, publikacje naukowe w czasopismach innych niż znajdujące się w bazie JCR	68
6	Opracowania zbiorowe, katalogi zbiorów, dokumentacja prac badawczych, ekspertyz	54
7	Sumaryczny <i>impact factor</i> według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania:	31,163
8	Liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science (WoS):	93
9	Indeks Hirscha według bazy Web of Science (WoS)	6
10.A	Kierowanie projektami badawczymi: a) międzynarodowymi b) krajowymi	0 4
10.B	Udział w projektach badawczych: a) międzynarodowych b) krajowych	4 15
11	Międzynarodowe i krajowe nagrody za działalność naukową	20
12	Wygłoszenie referatów na tematycznych konferencjach a) międzynarodowych b) krajowych	8 4
13	Uczestnictwo w programach europejskich oraz innych programach międzynarodowych i krajowych	3
14	Aktywny udział w konferencjach naukowych: a) międzynarodowych b) krajowych	16 10
15	Udział w komitetach organizacyjnych konferencji naukowych: a) międzynarodowych b) krajowych	3 0
16	Otrzymane nagrody i wyróżnienia inne niż wymienione wyżej	7
17	Udział w konsorcjach i sieciach badawczych	2
18	Kierowanie projektami realizowanymi we współpracy z: a) naukowcami z innych ośrodków polskich, b) naukowcami z ośrodków zagranicznych, c) przedsiębiorcami, innymi niż wymienione wyżej	0 1 1

19	Udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism	3
20.A	Członkostwo w międzynarodowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych	3
	a) ogółem	1
20.B	Członkostwo w krajowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych	1
	a) ogółem	1
21	Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki	6
22	Opieka naukowa nad studentami	Promotor: 37 prac magisterskich, 39 inżynierskich; Opiekun Koła Naukowego „PWr In Space” od 2017 r.
23	Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze:	
	a) opiekuna naukowego	0
	b) promotora pomocniczego	2
24	Staże w ośrodkach naukowych lub akademickich	
	a) zagranicznych	3
	b) krajowych	1
25	Wykonane ekspertyzy lub inne opracowania na zamówienie	2
26	Udział w zespołach eksperckich i konkursowych	7
27	Recenzowanie projektów:	
	a) międzynarodowych	24
	b) krajowych	5
28	Recenzowanie publikacji w czasopismach:	
	a) międzynarodowych	37
	b) krajowych	4
29	Inne osiągnięcia, recenzowanie referatów konferencyjnych, zapraszane wykłady	wykłady zamawiane: 2
Łącznie liczba spełnionych kryteriów:		29

