

PROTOKÓŁ

z kolokwium habilitacyjnego z dnia 13 lutego 2025 r.

w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna dr. inż. Mateuszowi Kukli

Na kolokwium habilitacyjnym w dniu 13.02.2025 r. byli obecni:

- 1) prof. dr. hab. inż. Andrzej Seweryn (Politechnika Gdańska) – przewodniczący;
- 2) prof. dr hab. inż. Celina Pezowicz (Politechnika Wrocławska) – recenzentka;
- 3) prof. dr hab. inż. Rafał Rusinek (Politechnika Lubelska) – recenzent;
- 4) dr hab. inż. Paweł Baranowski, prof. uczelni (Wojskowa Akademia Techniczna im. J. Dąbrowskiego) – recenzent;
- 5) dr hab. inż. Michał Bembenek, prof. uczelni (Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie) – recenzent;
- 6) dr hab. inż. Michał Rychlik, prof. uczelni (Politechnika Poznańska) – członek komisji;
- 7) dr hab. inż. Grzegorz Ślaski, prof. uczelni (Politechnika Poznańska) – sekretarz;

oraz inni goście, w tym członkowie wydziałowej społeczności akademickiej oraz Prodziekan Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej dr hab. inż. Dominik Wilczyński.

Kolokwium miało charakter publiczny, odbyło się w sali posiedzeń Rady Wydziału oraz Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna nr 208 w budynku A1 przy ulicy Piotrowo 3 w Poznaniu.

PRZEBIEG KOLOKWIIUM

Kolokwium habilitacyjne rozpoczął o godzinie 14:15 Prodziekan Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej dr hab. inż. Dominik Wilczyński, który powitał członków komisji habilitacyjnej, Habilitanta oraz wszystkie pozostałe osoby obecne na sali. Po przywitaniu zebranych, prowadzący obrady przekazał głos przewodniczącemu komisji z prośbą o przejęcie prowadzenia kolokwium habilitacyjnego.

Przewodniczący, prof. dr hab. inż. Andrzej Seweryn, podziękował za głos oraz powitał zebranych. Stwierdził prawidłowość zwołania posiedzenia oraz przedstawił planowany przebieg kolokwium habilitacyjnego, wskazując, że:

- Habilitant, dr inż. Mateusz Kukla, otrzyma około 20 minut na zaprezentowanie swoich najważniejszych wyników badawczych, ze szczególnym uwzględnieniem ich wpływu na rozwój dyscypliny oraz dotychczasowej współpracy z krajowymi i zagranicznymi jednostkami naukowymi,
- następnie członkowie komisji oraz wszystkie osoby obecne będą miały możliwość zadawania pytań, przy czym nie przewiduje się limitu ich liczby,
- z przebiegu posiedzenia sporządzany będzie protokół, a całość zostanie zarejestrowana w formie nagrania (zgodnie z wymogami proceduralnymi).

Po krótkim wprowadzeniu przewodniczący wyraził gotowość do rozpoczęcia kolokwium oraz poprosił dr. inż. Mateusza Kuklę o przedstawienie autoprezentacji i swoich osiągnięć.

Dr inż. Mateusz Kukla rozpoczął wystąpienie od powitania zebranych i podziękowania za przybycie. Następnie przedstawił w skrócie swoją ścieżkę naukową i zawodową.

W roku 2012 uzyskał tytuł inżyniera na Politechnice Poznańskiej, na Wydziale Budowy Maszyn i Zarządzania, na kierunku mechatronika. Następnie, w roku 2013, obronił pracę magisterską na tej samej uczelni i wydziale, na kierunku mechatronika (specjalność: mechatronika w środkach transportu). Tytuł pracy magisterskiej brzmiał „Ciecze magnetoreologiczne w konstrukcji chwytaków adaptacyjnych”, a promotorem był dr inż. Stanisław Urbański. Stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn uzyskał w 2018 roku na Politechnice Poznańskiej, na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu. Tematem rozprawy doktorskiej, napisanej pod kierunkiem dr. hab. inż. Ireneusza Malujdy, prof. PP, przy współpracy promotora pomocniczego dr. inż. Krzysztofa Talaški, było „Kształtowanie cech materiałowych elastomerów magnetoreologicznych w budowie maszyn”. Poszerzając kwalifikacje, ukończył studia podyplomowe z zakresu zarządzania projektami w Wyższej Szkole Bankowej w Poznaniu oraz studia podyplomowe w obszarze zarządzania zasobami ludzkimi – specjalista ds. HR, również w tej samej uczelni.

Zawodowo, od 2013 roku jest związany z Politechniką Poznańską, początkowo jako asystent, a od 2018 roku do chwili obecnej jako adiunkt w grupie badawczo-dydaktycznej w Instytucie Konstrukcji Maszyn, na Wydziale Inżynierii Mechanicznej. Uczestniczył w realizacji projektów badawczo-rozwojowych finansowanych między innymi przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, koncentrując się między innymi na opracowywaniu innowacyjnych napędów wózków inwalidzkich.

Obszary zainteresowań naukowych dr. inż. Mateusza Kukli obejmują przede wszystkim budowę maszyn, ze szczególnym uwzględnieniem konstrukcji wózków inwalidzkich oraz zastosowań materiałów magnetoreologicznych. Prowadził również badania nad procesem cięcia materiałów drewnopochodnych, innych materiałów konstrukcyjnych, a także nad procesem aglomeracji skryształizowanego dwutlenku węgla. Współpracuje z zagranicznymi ośrodkami naukowymi, takimi jak Vilnius Gediminas Technical University czy Karaganda Technical University, co zaowocowało publikacjami w czasopiśmie naukowych.

W ramach działalności naukowo-badawczej i publikacyjnej jest autorem lub współautorem 83 publikacji (w tym 38 z Impact Factor), 6 rozdziałów monografii, 17 patentów i 23 zgłoszeń patentowych, (znaczna ich część dotyczy innowacyjnych rozwiązań wózków inwalidzkich) wygłosił 18 referatów konferencyjnych i zrecenzował 51 prac naukowych. Jest także członkiem stowarzyszeń i organizacji wspierających innowacyjność i wynalazczość.

W obszarze dydaktycznym i organizacyjnym prowadził zajęcia dydaktyczne w języku polskim i angielskim, obejmujące tematykę budowy maszyn oraz mechatroniki. Był promotorem 20 prac inżynierskich i 5 prac magisterskich, z czego trzy prace dyplomowe jego podopiecznych zostały zakończone publikacjami w czasopiśmie naukowych. Był również recenzentem 21 prac dyplomowych. Współorganizował wydarzenia popularyzujące naukę, w tym Noc Naukowców. Obecnie pełni także funkcję promotora pomocniczego w przewodzie doktorskim mgr. inż. Michała Kończaka.

Podczas autoprezentacji dr inż. Mateusz Kukla podkreślił, że zaprezentowany tu zakres stanowi jedynie skrócone zestawienie jego najważniejszych osiągnięć i aktywności naukowych, dydaktycznych oraz organizacyjnych, natomiast szczegółowe informacje znajdują się w autoreferacie i dokumentacji habilitacyjnej.

Następnie dr inż. Mateusz Kukla przeszedł do przedstawienia swoich osiągnięć naukowych w prezentacji zatytułowanej tak jak osiągnięcie naukowe w jego autoreferacie: „Studium modelowania dynamiki i badań biomechaniki poruszania się wózkami inwalidzkimi”. Na początku uzasadnił podjęcie tematyki badawczej, zwracając uwagę na wzrost liczby osób niepełnosprawnych ruchowo oraz niewystarczającą efektywność napędów ręcznych w wózkach inwalidzkich, pomimo ich korzystnego wpływu na zdrowie. Stwierdził, że jego prace koncentrują się na napędzie ciagowym, który charakteryzuje się prostotą i precyzją sterowania. Zdefiniował formę prezentacji swojego osiągnięcia naukowego jako treści zawartych w cyklu 7 publikacji tematycznie powiązanych (w tym monografii naukowej), a także 7 patentach uzyskanych w Urzędzie Patentowym RP. Poinformował, że celem jego prac było modelowanie dynamiki i badanie biomechaniki poruszania się wózkami inwalidzkimi z naciskiem na analizę układów napędowych w kontekście zwiększenia ich użyteczności i efektywności.

Dr inż. Kukla szczegółowo omówił kluczowe etapy swoich prac badawczych:

- opracowanie analitycznego modelu matematycznego zapotrzebowania na moment napędowy, który uwzględni więcej parametrów niż dotychczas istniejące modele,
- budowę stanowiska do symulacji warunków ruchu wózkami inwalidzkimi, pozwalającego na uwzględnienie siły bezwładności, wspomaganie napędzania i regulacji momentu hamującego,
- opracowanie dedykowanego układu hamującego z hamulcem tarczowym,
- opracowanie metody pomiaru siły oporów toczenia z wykorzystaniem lin,
- analizę wpływu zmiennej prędkości na obciążenie osi wózka, wykazując, że uwzględnienie dynamiki układu skutkuje większymi zmianami sił obciążających osie; stwierdził, że zmiana średniej prędkości nie wpływa znacząco na położenie środka ciężkości, podczas gdy kąt nachylenia ma istotny wpływ,
- wyznaczenie wysokości położenia środka ciężkości z zastosowaniem technik przechwytywania ruchu i opracowanie narzędzia do tego celu,
- opracowanie piasty koła napędowego umożliwiającej niezależny obrót koła i ciągu, co pozwala na zastosowanie przekładni mechanicznych. Zbudowano dwa prototypy z przekładnią pasową i łańcuchową.
- ocenę efektywności napędu z przekładnią za pomocą elektromiografii powierzchniowej (EMG), analizując wysiłek mięśniowy dla różnych przełożeń,
- przedstawienie autorskiego modelu procesu projektowania, wykorzystującego symulacje, założenia z literatury i pomiary.

Habilitant przybliżył zmodyfikowany model matematyczny oparty na klasycznych teoriach mechaniki ruchu pojazdów samochodowych. Stwierdził, że został on jednak w istotny sposób zaadaptowany do realiów wózków inwalidzkich, zwłaszcza pod kątem uwzględnienia zmian położenia środka ciężkości oraz specyficznej geometrii samej konstrukcji. Podkreślił, że w odróżnieniu od tradycyjnych modeli, jego koncepcja uwzględnia również biomechanikę ciała człowieka, co stanowi istotny wkład w rozwój badań nad poprawą wygody i bezpieczeństwa użytkowników wózków inwalidzkich.

Następnie Habilitant zaprezentował opracowaną metodę określania oporów toczenia, polegającą na precyzyjnym pomiarze siły potrzebnej do przeciągania wózka po różnych rodzajach nawierzchni. Zwrócił uwagę, że metoda pozwala na uwzględnienie wielu zmiennych eksploatacyjnych, takich jak rodzaj kół, ich średnica, a także sposób mocowania i potencjalne czynniki zewnętrzne.

W dalszej części przedstawił rozwinięcie stanowiska badawczego w postaci hamowni dla wózków inwalidzkich, dzięki której możliwa jest nie tylko symulacja różnorodnych warunków ruchu, ale również bezpośredni pomiar najważniejszych parametrów, w tym momentu napędowego, sił działających na koła czy mocy mechanicznej generowanej podczas jazdy. Habilitant wyraźnie zaznaczył swoją rolę w opracowaniu schematu kinematycznego i konstrukcji prototypu hamowni, w której można odtwarzać zarówno warunki rozpędzania, jak i hamowania wózka, a dodatkowo zbierać dane pozwalające na wyznaczenie położenia środka ciężkości. Dzięki temu cały system umożliwia dokładną analizę zjawisk dynamicznych występujących w trakcie ręcznego napędzania wózka. Szeroka możliwość rejestracji danych pozwoliła na ocenę efektywności prototypów różnych rozwiązań napędowych oraz dopracowanie szczegółów konstrukcyjnych.

Następnie Habilitant przybliżył kolejne elementy rozwoju stanowiska badawczego, w szczególności rozwiązań konstrukcyjnych mających na celu dohamowywanie wózka inwalidzkiego i precyzyjne wprowadzanie zadanej wartości oporu. Zaprezentowany układ hamujący, będący współautorskim projektem, umożliwia symulację różnych profili obciążenia, co pozwala analizować zachowanie wózka przy zmiennej prędkości, różnym położeniu środka ciężkości oraz przy rozmaitych kątach nachylenia. Badania przeprowadzone z użyciem tego rozwiązania dowiodły, że rzeczywiste przebiegi prędkości i przyspieszeń w cyklicznej pracy napędowej powodują znacznie większe chwilowe wahania obciążenia osi kół wózka niż wynikałoby to z założonych wartości uśrednionych. Podkreślono zatem znaczenie uwzględniania zmiennej prędkości i faktycznych zmian położenia środka ciężkości w analizach stabilności ruchu.

W dalszej części prezentacji dr inż. Mateusz Kukla przedstawił wyniki pomiarów pozycji środka ciężkości przy użyciu metody przetwarzania obrazu ze znacznikami rozmieszczonymi na górnych segmentach ciała osoby prowadzącej wózek. Zastosowanie tych technik pozwoliło określić dokładny rozkład masy w fazach napędowych, co skutkowało wyznaczeniem przebiegu czasowego zmiany wysokości środka ciężkości. Zwrócił uwagę, że w praktyce często zakłada się stałą wartość tej wielkości, ewentualnie oblicza się ją jednokrotnie, podczas gdy jego badania wykazały wyraźnie cykliczne i zmienne zachowanie tego parametru. Rezultatem było opracowanie zintegrowanego narzędzia, pozwalającego na przejście od chmury punktów do ustalonych wartości w funkcji czasu, a w dalszej konsekwencji – na włączenie tych danych do symulacji dynamicznych w środowisku MATLAB/Simulink.

Habilitant poinformował, że zebrane wyniki eksperymentalne włączył następnie do rozszerzonego modelu numerycznego, który oblicza między innymi wielkości sił obciążających osie kół w zależności od chwilowej prędkości, przyspieszenia oraz zmiennego położenia środka ciężkości. Habilitant przedstawił przykład obliczanego indeksu stabilności pozwalającego ocenić ryzyko utraty stabilności wózka w sytuacjach granicznych, takich jak wznoszenie się na krawężniku czy gwałtowne hamowanie. Przeanalizowano trzy warianty symulacyjne: jeden zakładający stałą (uśrednioną) wysokość i rzut środka ciężkości, drugi z uwzględnieniem zmiennej w czasie pozycji w rzucie poziomym oraz trzeci obejmujący jednocześnie zmiany zarówno w rzucie poziomym, jak i w wysokości. Uzyskane przebiegi wartości wskaźnika stabilności różniły się amplitudą wahań, co – według prelegenta – wskazuje na istotność uwzględniania obu tych czynników dla pełniejszej analizy dynamiki wózka inwalidzkiego.

Podsumowując, Habilitant podkreślił, że opisane badania i wnioski wskazują korzyści płynące ze zintegrowanego podejścia do zagadnień biomechaniki i dynamiki poruszania się wózkiem inwalidzkim, z uwzględnieniem realistycznych warunków eksploatacyjnych, zmieniającego się położenia środka

ciężkości i zmiennej prędkości jazdy. Opracowana metodyka stanowić może podstawę do projektowania nowych lub udoskonalonych rozwiązań konstrukcyjnych układów napędowych, pozwalających w jeszcze większym stopniu poprawić efektywność, komfort i bezpieczeństwo użytkowników wózków inwalidzkich.

Na zakończenie tej części prezentacji Habilitant wskazał, że uzyskane wyniki pomogły w sformułowaniu metodyki projektowania wózków inwalidzkich ukierunkowanej na podnoszenie efektywności oraz wygody użytkownika. Podkreślił również znaczenie interdyscyplinarności badań między badaniami z zakresu mechaniki, materiałoznawstwa i biomechaniki człowieka, które wzajemnie się uzupełniają, prowadząc do lepszych rozwiązań w obszarze technik rehabilitacyjnych.

Kontynuując prezentację, Habilitant przeszedł do zagadnień związanych z opracowanymi prototypami rozwiązań konstrukcyjnych. Jako punkt wyjścia zaprezentował autorski projekt piasty koła napędowego przystosowanej do wielobiegowych napędów ręcznych wózków inwalidzkich. Koncepcja ta opiera się na rozdzieleniu funkcji mocowania koła i przekazywania napędu za pomocą dwóch współosiowych wałków, co pozwala na niezależny obrót koła oraz ciągów. Na podstawie tego rozwiązania opracowano dwa prototypy: jeden z przekładnią pasową i drugi z przekładnią łańcuchową, przypominającą rozwiązania znane z rowerów. Habilitant podkreślił, że istotą projektu jest możliwość dynamicznej zmiany przełożenia, co ułatwia poruszanie się wózkami w odmiennych warunkach terenowych.

Dalej omówił badania skuteczności tych prototypów, realizowane przy użyciu elektromiografii powierzchniowej (EMG), która umożliwiła jakościową ocenę obciążenia mięśni ramion i górnej części tułowia. Zastosowane elektrody pozwalały zbierać dane dotyczące aktywności wybranych grup mięśni (m.in. mięsień ramienny, triceps, mięśnie odpowiedzialne za chwyt dłoni), co następnie poddano zaawansowanej obróbce sygnału. Analiza wartości amplitudy, wartości skutecznej i całki z sygnału EMG w kontekście różnych ustawień przełożeń przekładni wykazała, że zwiększanie, bądź zmniejszanie przełożenia rzeczywiście wpływa na wielkość obciążenia mięśni użytkownika wózka. Istotnym wnioskiem był fakt, że konieczne jest rozpatrywanie kilku parametrów sygnału EMG jednocześnie, gdyż opieranie się wyłącznie na jednej wielkości (np. samej amplitudzie) może prowadzić do błędnych wniosków w ocenie komfortu i efektywności jazdy.

Następnie Habilitant zaprezentował opracowaną metodykę projektowania ręcznych wózków inwalidzkich, łączącą jednocześnie prowadzenie badań eksploatacyjnych i analiz modelowych. Zwrócił uwagę, że w procesie rozwoju takich konstrukcji należy uwzględnić nie tylko właściwości samego wózka (np. rodzaj napędu), lecz także biomechanikę użytkownika, w tym rozkład masy i sposób generowania siły. Opracowana koncepcja obejmuje wieloparametrowe podejście do oceny stabilności oraz wygody użytkownika, a także wdrożenie wyników symulacji w środowisku obliczeniowym do kolejnych etapów prototypowania.

W dalszej części przedstawił przykład praktycznego zastosowania metodyki przy analizie wózka elektryczno-ręcznego. Omówił wpływ konfiguracji oraz rozmieszczenia akumulatorów na masę, rozkład środka ciężkości i sprawność silnika, co w konsekwencji przekłada się na czas pracy, dystans możliwy do pokonania i stabilność ruchu. Oceniał, że dzięki temu dowiódł, że kluczowe w projektowaniu jest kompromis pomiędzy większą pojemnością akumulatorów a rosnącą masą wózka, szczególnie gdy uwzględni się charakterystykę energetyczną napędu i różne scenariusze eksploatacyjne.

Na koniec Habilitant podsumował całość dotychczasowych badań oraz rozwiązań konstrukcyjnych, wskazując, że opracowane prototypy, metody pomiarowe i modele analityczno-numeryczne stanowią

spójny zestaw narzędzi pozwalających na świadome projektowanie i optymalizację wózków inwalidzkich. Podkreślił swój wkład w rozwój dyscypliny inżynieria mechaniczna, przejawiający się w opracowaniu i syntezie metod, opracowaniu prototypów, analizach dynamicznych oraz stworzeniu zintegrowanej koncepcji projektowania urządzeń asystujących.

Na koniec wymienił swoje osiągnięcia w postaci informacji o liczbie publikacji, referatów i przyznanych nagród, a także liczbie realizowanych projektów. Podkreślił także, że przedstawione prace i wnioski mają szerokie zastosowanie w praktyce inżynierskiej, zwłaszcza w dziedzinie rehabilitacji i poprawy jakości życia osób z niepełnosprawnością ruchową.

Po zakończeniu prezentacji Habilitanta, przewodniczący poprosił o zadawanie pytań, przede wszystkim zapisanych na kartkach, na których oprócz pytania poprosił o wpisanie imienia i nazwiska osoby pytającej.

Habilitant odczytał pytanie zapisane przez Panią Annę Ossowską: *W kontekście pomiarów parametrów biomechanicznych, czy analizowano inne metody wyznaczenia położenia środka ciężkości? Jak ocenia Pan możliwość ich zastosowania do przeprowadzanej analizy.*

Habilitant wyjaśnił, że w praktyce występują dwie główne kategorie metod pozwalających na określenie położenia środka ciężkości: takie, które umożliwiają wyznaczenie pojedynczej wartości (zgodnie z normą ISO) oraz te pozwalające na określenie całego przebiegu zmian w czasie. Pierwsze polegają na przechyleniu wózka inwalidzkiego (z umieszczonym wewnątrz manekinem o standardowych wymiarach antropometrycznych) do momentu przewrócenia się układu, dzięki czemu można obliczyć wysokość środka ciężkości. Drugie bazują m.in. na zastosowaniu szali wagowej o dwu, trzech lub czterech podporach, na technikach *motion capture* (analiza ruchu markerów umieszczonych na ciele człowieka) lub na połączeniu obu podejść, co sam Habilitant wdrożył w swoich badaniach. Wspomniał też o mniej popularnej metodzie „wahadła”, w której wózek wprowadza się w ruch oscylacyjny, aby na tej podstawie ustalić parametry środka ciężkości, jednak rozwiązanie to, w jego ocenie, nie jest efektywne i praktycznie nie występuje w badaniach. Zwrócił uwagę, że konkretne metody różnią się złożonością oraz zakresem danych, a w praktyce najczęściej stosuje się szalę wagową i/lub *motion capture*, uwzględniając ograniczenia sprzętowe oraz konieczność przetwarzania dużej ilości danych.

Następnie przewodniczący komisji prof. Andrzej Seweryn zadał ustnie swoje pytanie: *Dlaczego nie zacytował pan żadnej publikacji w swojej prezentacji?*

Habilitant odpowiedział, że oznaczał w prezentacji tylko publikacje będące częścią cyklu przedstawionego do oceny oznaczając je w nawias kwadratowych z numerem publikacji – od [A1] do [A7].

Przewodniczący poprosił o przejście do kolejnego pytania informując, że kolejność ich wyboru jest dowolna. Habilitant odczytał pytanie dr hab. inż. Łukasza Gierza, prof. PP: *Jak uzyskano poprawę efektywności i komfortu zwiększając masę gabaryty wózka i ograniczając funkcję napędu poprzez konieczność chwytania koła podczas precyzyjnego manewrowania?*

Habilitant podkreślił, że jego praca nie odnosi się bezpośrednio do komfortu czy ergonomii wózków inwalidzkich, lecz skupia się na zwiększeniu efektywności rozumianej jako dostosowanie zapotrzebowania na moment napędowy, co potwierdzono badaniami EMG. Wspomniał też o dodatkowych analizach obejmujących pomiary parametrów metabolicznych i momentu napędowego wprost (za pomocą momentomierza), które wykazały, że rzeczywiście istnieją zauważalne zmiany

w obciążeniu układu mięśniowego. Zauważył przy tym, że wprowadzanie do wózka dodatkowych funkcjonalności (np. systemów pionizacji czy wspomagających przesiadanie) nieuchronnie podnosi jego masę, co silnie rzutuje na opory ruchu i sposób postrzegania wózka przez użytkownika. Zwiększenie masy wiąże się również z koniecznością uwzględnienia bardziej złożonych warunków eksploatacji i utrudnia transport, podczas gdy zastosowanie przekładni wpływa na zmianę relacji między kątem obrotu koła a kątem obrotu ciągu, wymagając od użytkowników ponownego przyzwyczajenia się do innej charakterystyki jazdy.

Następnie Habilitant odczytał pytanie prof. Celiny Pezowicz, recenzentki w postępowaniu: *Czy zaproponowany model oraz cała metodyka uwzględnia przypadki inne niż porażenie kończyn dolnych, jak amputacja kończyny dolnej lub otyłość olbrzymia. Jak wpłynie to na zmianę położenia środka ciężkości sprawności układu człowiek – wózek?*

Habilitant odpowiedział, że tego przypadku nie analizowano. Zadająca pytanie skomentowała, że brano pod uwagę przypadek „wyidealizowany”, z czym Habilitant się zgodził. Stwierdził z kolei, że jeśli chodzi o porażenie kończyn dolnych, to tacy uczestnicy badań byli. Zadająca pytanie rozszerzyła je o dodatkowe pytania: *A co przy amputacji pełnej kończyny dolnej? To zmienia całkowicie rozkład nacisków na wózek i położenie środka ciężkości. I co z nadmierną nadwagą, która staje się narastającym problemem na świecie? Czy już uwzględnia się to w budowie wózków inwalidzkich?*

Habilitant odpowiedział, że tak, to zagadnienie dotyczy głównie środka ciężkości oraz tego, że konstrukcja ramy wózka lub materiały, z których musi być wykonany, powinny być zmodyfikowane w celu zwiększenia sztywności. Stwierdził, że jednak do tej pory nie analizował tych przypadków, ale że parametry geometryczne wózka uwzględnione są w tym modelu poprzez odległość osi kół i że można by też jeszcze uwzględnić zmianę środka ciężkości związaną z kątem siedziska, co sprawia, że uczestnik siedząc jest spychany w jedną stronę i powstaje siła dociskająca go do oparcia.

Następnie dr inż. Mateusz Kukła odczytał pytania dr hab. inż. Grzegorza Ślaskiego, prof. PP, sekretarza komisji: *1. W jaki sposób planuje Pan rozwinąć prowadzone dotychczas badania? 2. Czy może Pan wskazać praktyczne zainteresowanie lub zastosowanie zaprezentowanych osiągnięć - wyników badań i patentów?*

Zauważając podobieństwo odczytał także pytanie prof. dr hab. inż. Andrzeja Seweryna, przewodniczącego komisji: *Jakie jest zainteresowanie producentów wózków Pańskimi konstrukcjami? Czy są to prototypy czy demonstratory technologii?*

Odpowiadając na pierwsze pytanie Habilitant wyjaśnił, że rozwinięcie planowanych prac badawczych można by wskazać w sposób analogiczny do schematu już zrealizowanych działań, obejmując przy tym ujęcie stricte modelowe, ujęcie badań związanych z dynamiką i kinematyką, a także aspekt biomechaniczny. W ramach ujęcia modelowego rozważane byłoby rozszerzenie obecnego, idealnie symetrycznego, płaskiego modelu wózka o elementy trójwymiarowe, co umożliwiłoby analizę kolejnych zjawisk, w tym stabilności przechyłowej w sytuacjach takich jak różnica wysokości powierzchni pod kołami czy wychylenie się użytkownika w celu sięgnięcia przedmiotu. Stwierdził, że z kolei w kontekście rozwiązań konstrukcyjno-inżynierskich możliwe jest zastosowanie innych, dodatkowych przekładni (w tym zabudowanych w piaście) oraz wprowadzenie mechanizmów pionizacyjnych, obecnie zyskujących na popularności. Głównym celem jest redukcja barier społecznych, wynikających z faktu, że osoby znajdujące się na wózkach inwalidzkich nie zawsze uczestniczą w codziennych interakcjach w

równym stopniu, chociażby z uwagi na różnice w poziomie, na którym rozgrywa się komunikacja w miejscu pracy czy w przestrzeni publicznej.

Z kolei w ujęciu modelowo-biomechanicznym ocenił, że istotne wydaje się stworzenie modelu, który określałby kąty i przemieszczenia najważniejszych stawów kończyny górnej (barku, łokcia i nadgarstka). Tego typu narzędzie pozwoliłoby na obliczanie sił i momentów w stawach, a następnie proponowanie rozwiązań konstrukcyjnych ograniczających ich nadmierne wartości. Jest to szczególnie ważne, gdyż częste użytkowanie wózka prowadzi u niektórych osób do przeciążeń tych stawów, co może skutkować schorzeniami zwyrodnieniowymi lub chronicznym bólem. W efekcie badania eksperymentalne i modelowe mogłyby wesprzeć opracowanie optymalnych mechanizmów napędowych, minimalizujących niepożądane obciążenia w układzie mięśniowo-szkieletowym.

Odpowiadając z kolei na drugie pytanie Habilitant wyjaśnił, że poza przedstawionym w osiągnięciu dorobkiem rozpoczęto wstępne rozmowy z firmą produkującą wózki nieinwalidzkie (służące wyłącznie do transportu osób w stopniu sparaliżowania uniemożliwiającym samodzielne napędzanie). Celem współpracy jest wykorzystanie opracowanych metod badawczych, zwłaszcza w zakresie wyznaczania położenia środka ciężkości i prowadzenia testów zgodnych z normami obowiązującymi w tej branży. Firma ta rozważa również zaprojektowanie rozwiązania, które pozwoli na zmianę pozycji użytkownika wózka (pochylenie w przód lub w dół), co dodatkowo podkreśla istotność zagadnień dotyczących wysokości środka ciężkości.

W dalszej części odpowiedzi Habilitant omówił status prototypów układów napędowych, zaznaczając, że obecnie należy je traktować jako dowód koncepcji (proof of concept) bądź prototypy pierwszej kategorii. Wynika to z faktu, iż dla potrzeb projektu wykorzystano już istniejące konstrukcje, traktując opracowane rozwiązania jako moduły modyfikacyjne, nieoptymalizowane pod kątem masy czy innych parametrów w sposób wymagany w finalnym produkcie. Podkreślił, że nie jest to demonstrator przeznaczony wyłącznie do prezentacji, lecz działający demonstrator funkcjonalności, który potwierdza prawidłowość założeń technicznych.

Następnie Habilitant odczytał pytanie dr hab. inż. Michała Bembenka, profesora AGH, recenzenta wniosku habilitacyjnego: *Czy zasadne byłoby opracowanie wózka inwalidzkiego o zmiennym środku ciężkości? - wyzwania przy dynamicznym kontrolowaniu środka ciężkości.*

Habilitant odpowiedział, że choć byłoby to zasadne w kontekście wózków inwalidzkich, rozwiązanie to prawdopodobnie nie znalazłoby szerokiego zastosowania, gdyż osoby z niepełnosprawnością ruchową często dysponują więcej niż jednym wózkiem. Najczęściej podstawowym wózkiem jest lekki i aktywny, natomiast dodatkowe egzemplarze mogą spełniać inne, bardziej specyficzne funkcje. Podkreślił, że zmiana środka ciężkości wpływa na proces napędzania wózka, a w konstrukcjach klasycznych istnieje możliwość regulacji mocowania kół tylnych, zwykle w kilku pozycjach (choć nie w sposób płynny). Dodatkowo parametry geometrii siedziska, takie jak kąt jego pochylenia, oparcie czy podłokietniki, także można w pewnym zakresie regulować, co przekłada się na położenie środka ciężkości. Habilitant nie zetknął się dotąd z rozwiązaniem pozwalającym na dynamiczne dostosowywanie tego położenia, jednak wyobraża sobie sytuacje, w których taki mechanizm mógłby okazać się przydatny.

Kolejnym odczytanym pytaniem było pytanie dr. hab. inż. Jarosława Markowskiego: *W jaki sposób opracowane przez Pana innowacje zmieniają funkcję przeznaczenia wózka inwalidzkiego? Jak te nowe*

rozwiązania usprawniają użytkowanie wózka przez osoby niepełnosprawne? Pytanie to zostało uszczegółowione przez zadającego: W nawiązaniu do wcześniejszej wypowiedzi, w której podkreślił Pan kluczowe znaczenie masy wózka inwalidzkiego, pojawia się wątpliwość: skoro masa powinna być możliwie niska, to dlaczego wprowadzane przez Pana innowacje w ogóle ją zwiększają? Czy nie prowadzi to do sytuacji, w której ich zastosowanie staje się niepraktyczne właśnie ze względu na nadmierną wagę?

Habilitant odpowiedział, że zwrócił już wcześniej uwagę na fakt, że wiele osób dotkniętych niepełnosprawnością nie ogranicza się do jednego wózka inwalidzkiego. Przeważnie dysponują oni lekkim, aktywnym wózkiem, przeznaczonym do pokonywania większych dystansów, oraz dodatkowym, być może cięższym, ale za to zapewniającym większy komfort dzięki różnego rodzaju mechanizmom (np. ułatwiającym jazdę lub pozycjonowanie). W środowisku domowym, w którym potrzebna jest większa precyzja manewrowania, a odległości są mniejsze, taka dodatkowa funkcjonalność może być zdecydowanie bardziej przydatna niż minimalna masa. Istotne są tu na przykład mechanizmy umożliwiające pionizację przy blacie stołu albo wspomagające przesiadanie się z wózka na łóżko lub do toalety, co stanowi duże ułatwienie w codziennym funkcjonowaniu. Z kolei w przypadku dłuższych wyjazdów – chociażby do pracy czy do urzędu – masa wózka staje się krytycznym parametrem, ponieważ osoby z niepełnosprawnością często muszą samodzielnie załadować wózek do samochodu. Wymaga to nieraz zdemontowania kół, a rama powinna być możliwie lekka, by można ją było podnieść jedną ręką.

Jeśli chodzi o praktyczne wdrożenia innowacyjnych rozwiązań, prototypy opracowane w ramach naszych prac ograniczały się dotychczas głównie do badań laboratoryjnych, natomiast układy wykorzystujące przekładnię mechaniczną są już obecne na rynku i cieszą się pewną popularnością (np. handlowa nazwa „Magic Wheel” – rozwiązanie z przekładnią planetarną zabudowaną w piaście koła). W zależności od nastawy możliwe są tam dwa lub trzy przełożenia, a całość można w prosty sposób zainstalować zamiast standardowego koła (zwykle wyposażonego w szybkozłącze). Fakt, że produkty te są komercyjnie dostępne i stosowane, dowodzi zapotrzebowania na tego typu innowacje.

W przeprowadzanych przez nas badaniach, obejmujących udział osób z niepełnosprawnością, większość badanych wyrażała duże zainteresowanie wózkami aktywnymi, z ramą wykonaną z włókna węglowego (czyli możliwie najlżejszą), co w ich przekonaniu znacznie ułatwia transport i codzienne użytkowanie. Niektórzy rozważali również możliwość wyposażenia wózka w akumulatory bądź dodatkowe mechanizmy, choć trzeba zaznaczyć, że wiele zależy od indywidualnych potrzeb i stylu życia użytkownika. Dotyczy to zwłaszcza specjalistycznych zastosowań, na przykład w sporcie (jak koszykówka na wózkach), w których lekkość i wytrzymałość konstrukcji mają kluczowe znaczenie.

Odpowiadając na drugą część pytania dr. hab. inż. J. Markowskiego Habilitant odpowiedział, że z zespołem przeprowadził badania wśród osób z niepełnosprawnościami w celu rozpoznania ich rzeczywistych potrzeb i priorytetów. W praktyce oznaczało to ankietowanie użytkowników wózków inwalidzkich, z którymi współpracowano, aby ustalić między innymi, jak istotna jest dla nich masa wózka, na ile liczy się wytrzymałość, a także czy byłiby skłonni ponieść wyższe koszty zakupu w zamian za większą sztywność czy dodatkowe mechanizmy poprawiające funkcjonalność. Interesowało ich również, jakie problemy najczęściej pojawiają się w trakcie eksploatacji, na przykład kwestie konserwacji kół,łożysk czy utrzymania wózka w czystości.

Kolejnym pytaniem odczytanym przez Habilitanta było pytanie dr. hab. inż. Łukasza Warguły, prof. PP: *Dodatkowe mechanizmy mogą wprowadzić luz. Czy w badanych konstrukcjach luz występował? Jeżeli tak, to jak przekładał się na funkcjonalność?*

Habilitant stwierdził, iż domyśla się, że chodzi tu nie o tradycyjne luzy, ale o specyficzną „miękką reakcję” pojawiającą się podczas napędzania. Jest to istotna obserwacja, uzyskana między innymi dzięki badaniom prototypowych rozwiązań, które zaprojektował i zbudował wraz z zespołem. Okazało się, że zastosowanie komponentów z przekładnią ze sprzęgłem jednokierunkowym (podobnym do tego, jakie stosuje się w rowerach, by wykorzystać znormalizowane części) skutkuje występowaniem ruchu jałowego, w którym przekładnia zaczyna rzeczywiście „chwycić” dopiero po przekroczeniu pewnego kąta obrotu ciągu. W praktyce przekłada się to na konieczność rozważenia projektowania układów pozbawionych sprzęgła jednokierunkowego lub – w alternatywie – wyposażenia ich w układ napinający, który stale dopycha ciąg do pozycji zapewniającej natychmiastowe załączenie napędu. Ma to istotny wpływ na precyzję oraz komfort poruszania się wózkami inwalidzkimi.

Kolejnymi odczytanymi pytaniami były pytania prof. dr hab. inż. Rafała Rusinka, recenzenta wniosku habilitacyjnego: *1. Proszę wyjaśnić na czym polega zaproponowana metoda obliczania położenia środka ciężkości w płaszczyźnie poziomej? 2. Proszę wyjaśnić jaki jest wpływ oporu powietrza (siły) na działanie całego modelu? 3. Jaki jest model wyjściowy do obliczeń mechanicznych wózka?*

Habilitant odniósł się do kwestii wyznaczania położenia środka ciężkości na płaszczyznę ruchu przy wykorzystaniu szali wagowej, podkreślając, że metoda ta została jedynie przez niego zastosowana, a nie opracowana. Zgodził się również, że jej matematyczny opis może prowadzić do osobliwości, co wynika z układu równań. W szczególności, jeśli podstawione zostaną określone wartości, może pojawić się symbol nieoznaczoności. Przykładem takiej sytuacji jest przypadek, w którym środek ciężkości znajduje się dokładnie w środku układu – wówczas równanie zwraca wyrażenie nieoznaczone.

Habilitant wyjaśnił, że metoda ta została oparta na układzie belkowym, w którym czteropodporowa szala wagowa pozwala na wyznaczenie reakcji i określenie położenia siły obciążającej. Poprowadzenie dwóch prostych dla każdej z czterech belek wyznacza środek ciężkości w układzie. Podkreślił, że przeprowadzono weryfikację tej metody w praktyce poprzez fizyczne rozmieszczenie ciężarków i sprawdzenie zgodności wyników obliczeń z rzeczywistością. Potwierdził również, że metoda ta posiada pewne ograniczenia, jednak wynikające z warunków teoretycznych, które w rzeczywistych eksperymentach nie miały zastosowania. Przykładem jest sytuacja, w której środek ciężkości znalazłby się na końcu szali wagowej, co w praktyce było niemożliwe do uzyskania, ponieważ układ wózka po prostu nie mógłby w takiej pozycji stabilnie się utrzymać.

W odniesieniu do wpływu oporu powietrza na model, Habilitant wyjaśnił, że jest on znikomy ze względu na niską prędkość ruchu wózka. Choć współczynnik aerodynamiczny może być względnie wysoki, to sama prędkość jest niewielka, co sprawia, że wpływ siły oporu powietrza jest marginalny. W związku z tym zagadnienie to nie było przedmiotem szczegółowej analizy. Opór powietrza został jednak uwzględniony w modelu numerycznym, ponieważ jego implementacja była stosunkowo prosta, a jego wartość zależy wyłącznie od prędkości, która i tak była mierzona w badaniach.

Odpowiadając na pytanie dotyczące modelu wyjściowego do obliczeń mechanicznych, Habilitant odniósł się do równania 22 przedstawionego w monografii. Potwierdził, że pierwotnie zawierało ono niedoskonałość w postaci braku współczynników przed wyrażeniami odnoszącymi się do momentów

bezwładności poszczególnych kół. Przyznał, że był to jego błąd, który został wychwycony przez recenzenta i poprawiony w kolejnych analizach Habilitanta. Po korekcie przeprowadzono ponowne obliczenia w modelu numerycznym, które wykazały, że wpływ tej niedoskonałości był niewielki – w zależności od przypadku błąd w wartości momentu napędowego wynosił od 1,4% do 10%. Podkreślił, że mimo tej niedoskonałości charakter uzyskanych krzywych nie uległ zmianie – wartości były przesunięte, lecz ich przebieg pozostawał ten sam. Ostatecznie uznał, że choć wartość momentu napędowego w pierwotnej wersji była zaniżona, nie miało to wpływu na kluczowe wnioski dotyczące tarcia, indeksu stabilności czy obciążeń osi kół wózka.

Na koniec odniósł się do uwagi dotyczącej faktu, że błąd ten pojawił się w kilku publikacjach, a nie został wcześniej zauważony w procesie recenzji. Podziękował za zwrócenie uwagi i zauważył, że rzeczywiście nikt wcześniej tego nie wychwytał. W odpowiedzi na komentarz zadającego pytanie profesora Rafała Rusinka dotyczący jakości czasopisma, w którym publikowano wyniki badań, nie odniósł się bezpośrednio do tej uwagi, kończąc swoją wypowiedź podsumowaniem wpływu błędu na ogólną poprawność przeprowadzonych analiz.

Kolejnym pytaniem na które odpowiedział dr inż. Mateusz Kukla było pytanie dr. hab. inż. Pawła Baranowskiego: *Czy realizował Pan w swoich badaniach, bądź planuje wprowadzić do nich modelowanie numeryczne stosując układy wielocłonowe lub metodę elementów skończonych? Przede wszystkim w aspekcie implementacji modeli manekinów albo człowieka?*

Habilitant odpowiedział, że tak, planowane jest zastosowanie analizy MES, jednak głównie w kontekście konstrukcji ramy nośnej wózka. Jest to interesujące zagadnienie inżynierskie, ponieważ z jednej strony dążymy do minimalizacji masy, a z drugiej – nawet jeśli konstrukcja nie ulega zniszczeniu pod wpływem obciążeń, to jako cienkościenna może doświadczać istotnych przemieszczeń. Takie odkształcenia mogą znacząco utrudniać zastosowanie mechanizmów ze względu na zmiany odległości pomiędzy poszczególnymi elementami konstrukcji. W związku z tym planowane jest zastosowanie metody elementów skończonych, jednak nie w odniesieniu do układu ludzkiego ciała, lecz wyłącznie w kontekście konstrukcji ramy wózka. Stwierdził, że jego podejście jest bardziej mechaniczne, dlatego skupia się przede wszystkim na analizie strukturalnej.

Pytający dopytał: *Czyli przewidziane są optymalizacje strukturalne?* Habilitant odpowiedział, że tak. Następnie pytający dopowiedział: *A jeszcze skomentuję, że istnieje interesujący model ludzkiego ciała, tzw. model THUMS, który pozwala na projektowanie napięcia mięśni i powiązanie go z pomiarami EMG. Uważam, że mogłoby to dodać istotny aspekt naukowy do Pana badań i umożliwić wyciągnięcie dodatkowych wniosków.* Habilitant podziękował za propozycję.

Prowadzący kolokwium prof. Andrzej Seweryn zachęcił do zadania kolejnych pytań.

Kolejne pytanie zadane zostało przez dr. hab. inż. Dominika Wilczyńskiego: *Czy zastanawiał się Pan nad zastosowaniem innego typu przekładni niż cięgnowej? Mam na myśli przekładnię planetarną lub wariator.*

Habilitant wyjaśnił, że jeśli chodzi o zastosowanie wariatora, teoretycznie w opracowanej przez niego piaście można wykorzystać każdą przekładnię mechaniczną, jednak każda z nich posiada swoje unikalne wady i zalety. Na przykład przekładnia ślimakowa nie miałaby większego sensu, głównie ze względu na zmianę kierunku osi – nie są one równoległe, lecz ustawione pod kątem. Habilitant przyznał,

że rozważał także zastosowanie przekładni planetarnej, jednak zrezygnował z tego rozwiązania z dwóch powodów. Po pierwsze, tego typu przekładnie są już dostępne na rynku, a po drugie, w Instytucie Konstrukcji Maszyn prowadzone są równoległe badania nad tym zagadnieniem, więc nie chciał dublować prac badawczych. Należy jednak podkreślić, że przekładnie planetarne są zasadnym rozwiązaniem i mogą znaleźć zastosowanie w tego typu konstrukcjach.

Jeśli natomiast chodzi o wariator, kluczowe jest sprecyzowanie, czy mówimy o wariatorze ciernym, czy pasowym. Wózek wykorzystujący przekładnię pasową w pewnym sensie stosował wariator cierny, ponieważ zawierał koła o zmiennej średnicy. Próbowaliśmy również zastosować wariator cierny – zakupiliśmy nawet gotową, zabudowaną wersję w piaście, podobną do tych, które są powszechnie stosowane w rowerach. Jednak technicznym problemem okazało się to, że przekładnie cierne zabudowane w piaście nie pozwalają na rozebranie i ingerencję w ich wnętrze. Ich zasada działania opiera się na wykorzystaniu specjalnego, charakterystycznego płynu, co sprawia, że ich modyfikacja jest praktycznie niemożliwa.

Habilitant stwierdził, że po szczegółowej analizie wraz zespołem doszedł do wniosku, że liczba potencjalnych problemów technicznych wynikających z tego rozwiązania przewyższa możliwe korzyści, dlatego ostatecznie z niego zrezygnował. Niemniej jednak, zagadnienie to było przedmiotem jego badań i analiz.

Ostatnim odczytanym pytaniem było pytanie członka komisji habilitacyjnej dr hab. inż. Michała Rychlika, prof. PP: *Czy w badaniach brano pod uwagę asymetrię ruchu kończyn napędzających wózek w kontekście pomiaru z wykorzystaniem systemu Motion Capture?*

Habilitant odpowiedział, że nie i że, ten aspekt nie był brany pod uwagę. Powstał jednak artykuł dotyczący tej kwestii, ponieważ wśród badaczy nie ma jednoznacznego konsensusu co do różnic pomiędzy lewą a prawą stroną ciała. Kluczowe pytanie brzmi, czy różnice te są statystycznie istotne i w jakich warunkach. Badania w tym zakresie były prowadzone przy okazji wyznaczania wysokości środka ciężkości oraz analizy przebiegów z systemu *motion capture*. Wyniki wskazują, że pewne różnice pomiędzy obiema stronami ciała rzeczywiście istnieją, ale ich statystyczna istotność zależy od wielkości badanej populacji. W przypadku niektórych prób badawczych różnice pomiędzy lewą a prawą stroną są na tyle duże, że należałoby je uwzględnić, natomiast w innych przypadkach rozbieżności te są mniejsze niż różnice występujące pomiędzy poszczególnymi osobami w populacji, co oznacza, że nie zawsze są one istotne z punktu widzenia analizy statystycznej.

Pytający doprecyzował swoje pytanie: *Chciałbym doprecyzować, ponieważ ten aspekt nie wybrzmiał w artykule. Oczywiście każdy człowiek jest w pewnym stopniu asymetryczny, jednak chodzi mi przede wszystkim o osoby z niepełnosprawnością ruchową, gdzie asymetria pomiędzy lewą a prawą stroną ciała jest wyraźna – zarówno pod względem motorycznym, jak i siłowym. Czy ten aspekt był uwzględniony w badaniach?*

Dr inż. Mateusz Kukla odpowiedział, że nie, tego zagadnienia nie analizował. Jednym z kryteriów ograniczających nabór uczestników do badań było to, aby ich kończyny górne – choć niekoniecznie w pełni sprawne – nie wykazywały istotnych różnic funkcjonalnych pomiędzy lewą a prawą stroną ciała. Zgodził się, że jest to ważny aspekt i może stanowić przedmiot dalszych badań, jednak każde osiągnięcie naukowe musi mieć określony zakres, stanowić zamkniętą całość, a ten element nie był w niej uwzględniony.

Następnie przewodniczący Komisji Habilitacyjnej poprosił dr inż. Mateusza Kukle o wyświetlenie celów swoich prac. Od razu także zwrócił, uwagę, że celem pracy nie może być samo „modelowanie”, ponieważ modelowanie jest metodą badawczą, a nie celem samym w sobie. W związku z tym istotne jest właściwe sformułowanie celu, który powinien odnosić się do konkretnego wyniku badań. Odpowiednie sformułowanie powinno wskazywać na opracowanie modelu lub uzyskanie określonych wyników analizy, a nie na sam proces modelowania jako narzędzie badawcze.

Następnie Przewodniczący zwrócił uwagę, że Habilitant przedstawił aż osiem różnych aspektów wpływu swojej pracy na dyscyplinę, co uznał za zbyt rozdrobnione. Poprosił wobec tego Habilitanta o sformułowanie dwóch kluczowych, ale dobrze uzasadnionych wpływów, zgodnie z wymogami ustawowymi.

Habilitant udzielił odpowiedzi stwierdzając, że jeżeli miałby syntetycznie przedstawić główne elementy wpływu mojej pracy na dyscyplinę, wskazałbym dwa kluczowe aspekty:

1. Pierwszy to opracowanie i synteza metod badawczych umożliwiających kompleksową analizę kinematyki, biomechaniki oraz dynamiki ruchu układu człowiek–wózek inwalidzki.
2. Drugi to rozwinięcie modelu procesu projektowania urządzeń asystujących, który uwzględnia nie tylko analizę modelową i prototypową, ale również interakcję czynników technicznych i parametrów użytkownika w procesie projektowym.

Przewodniczący zwrócił uwagę, że pierwszy z tych obszarów wymaga większej precyzji. W odpowiedzi Habilitant doprecyzował, że kluczowym osiągnięciem w tym zakresie jest opracowanie zestawu narzędzi umożliwiających wielokryterialną analizę ruchu układu człowiek–wózek. Podkreślił, że choć część tych metod istniała wcześniej, to ich integracja w jedną spójną i funkcjonalną całość oraz przeprowadzenie szerokiej analizy w wielu aspektach stanowi jego unikalny wkład w rozwój dyscypliny.

Przewodniczący zapytał, czy ktoś z obecnych chciałby jeszcze zadać pytanie. Ponieważ nie było dalszych zgłoszeń, zgodnie z przyjętym zwyczajem zaprosił Habilitanta do krótkiej, swobodnej wypowiedzi końcowej. Habilitant, otrzymując głos, podziękował wszystkim zgromadzonym za udział w kolokwium. Szczególne podziękowania skierował do swojej rodziny – żony i rodziców – za wsparcie w trakcie całego procesu, zauważając, że w pewnych momentach jego praca mogła wystawiać ich cierpliwość na próbę. Podziękował również koleżankom i kolegom z instytutu, którzy wspierali go w pracy naukowej, zarówno poprzez udzielanie porad, sprawdzanie wyników, jak i pomoc w konstruowaniu oraz przeprowadzaniu badań. Podkreślił, że ich pomoc była nieoceniona i warta podkreślenia.

Przewodniczący podsumował, że Habilitant dobrze wykorzystał czas przeznaczony na końcową wypowiedź i że była ona adekwatna do okoliczności. Następnie oficjalnie zamknął kolokwium habilitacyjne i zaprosił członków komisji habilitacyjnej do pokoju 212 na obrady w celu sformułowania opinii dotyczącej osiągnięć naukowych Habilitanta.

Sekretarz komisji

Przewodniczący komisji

dr hab. inż. Grzegorz Ślaski prof. PP

prof. dr hab. inż. Andrzej Seweryn