

Łódź, 11 grudnia 2023 r.

prof. Andrzej Bartoszewicz
Politechnika Łódzka
Instytut Automatyki

Recenzja **osiągnięcia naukowego oraz aktywności naukowej** **doktora inżyniera Ralfa Stettera**

przygotowana dla Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne
Uniwersytetu Zielonogórskiego

Podstawę do opracowania niniejszej recenzji stanowi pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Uniwersytetu Zielonogórskiego oraz przekazana z tym pismem dokumentacja dotycząca postępowania habilitacyjnego doktora inżyniera Ralfa Stettera.

Informacje podstawowe

Pan Ralf Stetter urodził się 2 stycznia 1970 roku. W 1996 roku uzyskał na Wydziale Mechaniki Uniwersytetu Technicznego w Monachium dyplom magistra inżyniera (niem. Dipl.-Ing.). W sierpniu 2000 roku – za rozprawę pod tytułem „Wdrażanie metod w procesach zintegrowanego rozwoju produktu” – na tym samym Wydziale otrzymał stopień doktora nauk technicznych (niem. Dr.-Ing.).

Pan Ralf Stetter od 1 września 2004 roku do chwili obecnej pracuje w pełnym wymiarze czasu pracy na stanowisku profesora na Uniwersytecie Nauk Stosowanych (Hochschule) Ravensburg-Weingarten. Od ponad pięciu lat pełni funkcję koordynatora współpracy międzynarodowej Wydziału Inżynierii Mechanicznej tego Uniwersytetu, a wcześniej od października 2006 roku do września 2018 roku, przez 12 lat, był prodziekanem tego samego Wydziału. Ponadto od 2016 roku Habilitant jest także kierownikiem projektu w centrum transferu Steinbeis „Automotive Systems”. Wcześniej, przez kilka lat pracował jako koordynator zespołu w dziale rozwoju produktu Audi AG, Ingolstadt i był asystentem badawczym Uniwersytetu Technicznego w Monachium. Jego prace badawcze dotyczyły różnorodnych zagadnień projektowania systemowego, zarządzania wdrażaniem innowacji, a przede wszystkim sterowania tolerującego uszkodzenia. Był kierownikiem i wykonawcą wielu projektów badawczych finansowanych przez Carl Zeiss Foundation, Niemieckie Federalne Ministerstwo Edukacji i Badań Naukowych, International Bodenseehochschule, Niemiecką Centralę Wymiany Akademickiej DAAD, Niemiecko Izraelskie Forum Przyszłości, Ministerstwo Nauki Badań Naukowych i Sztuki Badenii-Wirtembergii oraz Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego. Z powodzeniem współpracował z bardzo dobrymi

zagranicznymi zespołami naukowymi oraz z wiodącymi w skali globalnej partnerami przemysłowymi.

Ocena istotnej aktywności naukowej Habilitantki

Główny przedmiot zainteresowań naukowych doktora inżyniera Ralfa Stettera stanowi projektowanie i sterowanie systemów automatyki przemysłowej tolerujące uszkodzenia. Wyniki uzyskane w tym zakresie, po otrzymaniu stopnia doktora nauk technicznych, Habilitant opublikował w cyklu 14 publikacji (jedna monografia, 12 artykułów w czasopismach i jeden referat konferencyjny), które zgłosił w postępowaniu habilitacyjnym jako swoje osiągnięcie naukowe. Ocenę tego osiągnięcia przedstawiam w następnym punkcie recenzji. W tym punkcie oceniając aktywność naukową Habilitanta stwierdzam, że jego łączny dorobek publikacyjny po uzyskaniu stopnia doktora pod względem ilościowym jest zdecydowanie ponadprzeciętny jak na osobę ubiegającą się o stopień doktora habilitowanego oraz dobry pod względem jakościowym. Dorobek ten obejmuje jedną ważną monografię, 14 artykułów w czasopismach z listy Journal Citation Reports, liczne artykuły w innych czasopismach, a także rozdziały w książkach i referaty konferencyjne. Spośród 14 artykułów opublikowanych w czasopismach z listy Journal Citation Reports dostrzec należy prace wydrukowane w periodykach zasłużenie cieszących się dużym uznaniem w międzynarodowym środowisku automatyków, takich jak Control Engineering Practice, International Journal of Control czy też International Journal of Applied Mathematics and Computer Science. Warto także zauważyć, że Habilitant skutecznie publikował wyniki uzyskane we współpracy z niemieckimi partnerami przemysłowymi, a także z uniwersytetami w Stuttgarcie i Zielonej Górze oraz z politechnikami Koszalińską i Poznańską.

Prace doktora inżyniera Ralfa Stettera były cytowane przez innych autorów. Według bazy Web of Science prace Habilitanta były cytowane 297 razy, w tym 195 razy przez innych autorów. Jego indeks Hirscha według tej bazy wynosi 9. Z kolei według bazy Scopus łączna liczba cytowań Habilitanta wynosi 630 z uwzględnieniem autocytowań i 345 po pominięciu cytowań własnych, a jego indeks Hirscha ma wartość 12 z uwzględnieniem autocytowań i 8 po ich pominięciu. Wreszcie według bazy Google Scholar liczba cytowań publikacji Habilitanta wynosi 1194 (w tej liczbie zawarte są autocytowania), a jego indeks Hirscha wynosi 16. Powyższe dane zweryfikowałem 5 grudnia 2023 roku. Mimo znacznej liczby cytowań przez Habilitanta jego własnych publikacji, wskaźniki te są wyższe niż średnia i mediana liczby cytowań i indeksu Hirscha osób ubiegających się o nadanie stopnia doktora habilitowanego w Polsce w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne. W moim przekonaniu pewną względną słabością dorobku dra Ralfa Stettera jest to, że zawiera on sporo artykułów publikowanych w popularnych ostatnio, wysoko punktowanych czasopismach open access, których faktyczna wartość jest niewspółmiernie mniejsza niż przypisana im punktacja w wykazie czasopism punktowanych MNiSW. Podsumowując tę analizę stwierdzam, że dorobek publikacyjny doktora inżyniera Ralfa Stettera z pewnością wystarcza do nadania mu stopnia doktora habilitowanego i bardzo dobrze świadczy o jego aktywności naukowej.

Doktor inżynier Ralf Stetter ponad stukrotnie recenzował artykuły dla różnych periodyków naukowych. Najbardziej znane z tych czasopism to prawdopodobnie Automatica,

ISA Transactions oraz International Journal of Production Research. Habilitant był także powoływany do recenzowania referatów zgłoszonych na kilka międzynarodowych konferencji. Doktor Ralf Stetter wypełnia też swoje obowiązki dydaktyczne na stanowisku profesora w Hochschule Ravensburg-Weingarten. Pełnił obowiązki promotora pomocniczego w trzech przewodach doktorskich (Marek Stania – Politechnika Częstochowska, Stefan Kleinmann – Politechnika Warszawska, Lothar Seybold – Uniwersytet Zielonogórski), a także trzykrotnie pełnił funkcję – w polskim systemie promocji kadr naukowych zarezerwowaną dla osób posiadających już stopień doktora habilitowanego – recenzenta rozpraw doktorskich (Alex Wagner – Delft University, Suparchoek Wangmanapituk – Sirindhorn International Institute of Technology, Torben Green – Technical University of Denmark). Habilitant wypromował 189 inżynierów i 83 magistrów. Biorąc pod uwagę powyższe fakty jego aktywność w zakresie promocji kadry należy ocenić wyjątkowo dobrze.

Aktywność naukowa Habilitanta jest dobrze oceniana w środowisku. Doktor inżynier Ralf Stetter był dwukrotnie nagrodzony i raz nominowany do nagrody za najlepsze referaty na konferencjach naukowych.

Uważam, że całość działalności badawczej doktora inżyniera Ralfa Stettera, a szczególnie jego zaangażowanie w realizację projektów i współpracę z innymi ośrodkami badawczymi, należy ocenić zdecydowanie pozytywnie. Wykazuje on dużą aktywność naukową, realizuje liczne projekty badawcze, intensywnie współpracuje z poważnymi partnerami przemysłowymi i konsekwentnie rozwija swoje prace badawcze. W moim przekonaniu ta **aktywność oraz dorobek uzyskany przez Habilitanta spełniają z naddatkiem wymagania stawiane kandydatom do uzyskania stopnia naukowego doktora habilitowanego** nauk technicznych w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

Ocena osiągnięcia naukowego

Jako swoje osiągnięcie naukowe, stanowiące podstawę ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne pan doktor Ralf Stetter przedstawił cykl czternastu publikacji pod wspólnym tytułem „Projektowanie i sterowanie tolerujące uszkodzenia dla inteligentnych systemów technicznych”, w skład którego wchodzi następujące prace:

1. R. Stetter: Fault-Tolerant Design and Control of Automated Vehicles and Processes. Insights for the Synthesis of Intelligent Systems. Studies in Systems, Decision and Control, Springer International Publishing, Berlin, 219 stron, 2020, ISBN 978-3-030-12845-6 (DOI: 10.1007/978-3-030-12848-7).
2. R. Stetter: Algorithms and Methods for the Fault-Tolerant Design of an Automated Guided Vehicle. Sensors. vol. 22, nr 12, 2022, (DOI: 10.3390/s22124648).
3. R. Stetter: A Fuzzy Virtual Actuator for Automated Guided Vehicles. Sensors. vol. 20, nr 15, 2020, (DOI: 10.3390/s20154154).

4. R. Stetter: Approaches for Modelling the Physical Behavior of Technical Systems on the Example of Wind Turbines. *Energies*, vol. 13, nr 8, 2020, (DOI: Doi.org/10.3390/en13082087).
5. R. Stetter: A Virtual Fuzzy Actuator for the Fault-Tolerant Control of a Rescue Vehicle. 2020 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), (ISBN 978-1-7281-6932-3), 22102.
6. R. Stetter; M. Witczak; M. Pazera: Virtual Diagnostic Sensors Design for an Automated Guided Vehicle. *Applied Sciences*. vol. 55, str. 139-148, 2018, (DOI: 10.3390/app8050702).
7. R. Stetter; R. Göser, R.; S. Gresser; M. Till; M. Witczak: Fault-Tolerant Design for Increasing the Reliability of an Autonomous Driving Gear Shifting System. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, vol. 22, nr 3, 2020, str. 482 – 492, (DOI: Doi.org/10.17531/ein2020.3.11).
8. B. Mrugalska; R. Stetter: Health Aware Model-Predictive Control of a Cooperative AGV-Based Production System. *Sensors*. vol. 19, nr 3, 2019 (DOI: 10.3390/s19030532).
9. B. Lipiec; M. Mrugalski, M. Witczak, R. Stetter: Towards a Health-Aware Fault Tolerant Control of Complex Systems: a Vehicle Fleet Case. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*. vol. 32, nr 4, str. 619-634, 2022 (DOI: 10.34768/amcs-2022-0043).
10. K. Holder; A. Zech; M. Ramsaier; R. Stetter; H.-P. Niedermeier; S. Rudolph; M. Till: Model-Based Requirements Management in Gear Systems Design Based on Graph-Based Design Languages. *Applied Sciences*. vol. 7, 1112, 2017 (DOI: 10.3390/app7111112).
11. P. Majdzik; Akielaszek-Witczak, A.; Seybold, L.; R. Stetter, B. Mrugalska: A Fault-Tolerant Approach to the Control of a Battery Assembly System. *Control Engineering Practice*. vol. 55, str. 139-148, 2016 (DOI: 10.1016/j.conengprac.2016.07.001).
12. L. Seybold; M. Witczak; P. Majdzik; R. Stetter: Towards Robust Predictive Fault-Tolerant Control for a Battery Assembly System. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*. vol. 4, str. 849-862, 2015 (DOI: 10.1515/amcs-2015-0061).
13. M. Witczak; P. Majdzik; R. Stetter; B. Lipiec: A Fault-Tolerant Control Strategy for Multiple Automated Guided Vehicles. *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 55, str. 56 – 68, 2020, (DOI: Doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.02.009).
14. M. Witczak; P. Majdzik; R. Stetter; B. Bocewicz: Interval Max-plus Fault-Tolerant Control under Resource Conflicts and Redundancies: Application to the Seat Assembly. *International Journal of Control*, vol. 93, nr 11, 2020, str. 2662-2674, (DOI: 10.1080/00207179.2019.1630749).

W tym cyklu Habilitant przedstawił wyniki swoich prac badawczych dotyczących systematycznego projektowania inteligentnych systemów technicznych automatyki przemysłowej oraz ich układów sterowania wykazujących odporność na uszkodzenia, ze szczególnym uwzględnieniem praktycznej walidacji proponowanych rozwiązań. W literaturze fachowej zagadnienia te określane są jako projektowanie tolerujące uszkodzenia – w skrócie FTD od angielskiego terminu Fault-Tolerant Design oraz sterowanie tolerujące uszkodzenia – w skrócie FTC od angielskiego określenia Fault-Tolerant Control. Oba te zagadnienia bez wątplenia bardzo dobrze wpisują się w dyscyplinę automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne, choć zawierają także wątki interdyscyplinarne w kontekście projektowania systemów mechatronicznych, a w szczególności ich podsystemów pomiarowych i wykonawczych. Zagadnienia badawcze poruszane przez Habilitanta są bardzo aktualne i istotne w perspektywie ich praktycznego wykorzystania w złożonych systemach technicznych, a szczególnie w zastosowaniach krytycznych ze względu na bezpieczeństwo lub ze względu na efektywność wykorzystania ograniczonych zasobów (np. energii). Systemowe podejście do projektowania elementów i układów automatyki jest zagadnieniem trudnym i stosunkowo rzadko stosowanym w praktyce przemysłowej, mimo że jego zastosowanie umożliwia zwiększenie niezawodności układów automatyki oraz prowadzi do poprawy jakości regulacji i zwiększenia skuteczności działania mechanizmów zabezpieczeń oraz optymalizacji pracy systemów.

Jak już wcześniej wspominałem przedłożone do recenzji osiągnięcie naukowe Habilitanta składa się z czternastu prac mieszczących się w obszarze projektowania zautomatyzowanych systemów tolerujących uszkodzenia, przy czym siedem artykułów dotyczy (w różnym stopniu i nie we wszystkich przypadkach w sposób wyraźny) problematyki FTD (prace [2, 3, 4, 5, 6, 7] i [10]), sześć artykułów dotyczy zagadnień FTC (publikacje [8, 9, 11, 12, 13] oraz [14]), a monografia [1] podsumowująca wyniki Autora uzyskane do roku 2020 stanowi kombinację zagadnień z obu tych obszarów oraz przegląd aktualnego stanu i rozwoju badań w tych obszarach. Na podstawie wykazanych udziałów w przygotowaniu poszczególnych artykułów jednotematycznego cyklu publikacji można wnioskować, że główne osiągnięcia dra Ralfa Stettera plasują się w obszarze systemowego projektowania tolerującego uszkodzenia (tj. FTD) – Habilitant wykazał tutaj pięć swoich samodzielnych prac (w tym monografię) i trzy współautorskie (w tym jedna przy współudziale Habilitanta wynoszącym 75%, a pozostałe dwie przy jego współudziale w wysokości 40% i 20%). Dla każdego z sześciu artykułów poświęconych zagadnieniom FTC Habilitant wykazał swój udział na poziomie nie przekraczającym 30%, chociaż trzeba zauważyć, że w wielu przypadkach merytoryczne znaczenie tego udziału, wskazane w dokumentacji, jest istotne. Należy jednocześnie dostrzec, że w podejściu systemowym, które proponuje i stosuje Autor zgłoszonego osiągnięcia, zagadnienie FTD jest ściśle związane z problemem FTC (tzn. FTD niejako zawiera komponent FTC) i tym samym wymusza stosowne koncepcyjne połączenie obu składowych w ramach wynikowej metodyki projektowej. Zgłoszone artykuły współautorskie zostały opublikowane w ramach współpracy badawczej Wnioskodawcy z niemieckimi podmiotami gospodarczymi, a także z Uniwersytetem w Stuttgarcie, Uniwersytetem Zielonogórskim, Politechniką Koszalińską oraz Politechniką Poznańską.

Dr Ralf Stetter w swoich publikacjach podał rozwiązania kilku postawionych i dobrze określonych problemów badawczych związanych z definicją i sposobami praktycznej realizacji procesu projektowego typu FTD, z efektywnym połączeniem zagadnień FTD oraz FTC przy projektowaniu systemów technicznych, ze sposobami zwiększania zdolności tolerowania uszkodzeń w systemach technicznych poprzez stosowanie wirtualnych czujników i wirtualnych urządzeń wykonawczych, z metodami projektowania strategii tolerujących uszkodzenia przy założeniu redundancji zasobów w ramach danego systemu lub podziału tych zasobów między podsystemy składowe, a także ze sposobami zwiększania długości czasu działania systemów technicznych poprzez estymację żywotności komponentów składowych tych systemów. Podane przez niego rozwiązania, opublikowane w samodzielnej monografii (wydawnictwo Springer Nature) oraz w trzynastu samodzielnych i współautorskich artykułach zaliczonych do jednotematycznego cyklu, zasadniczo wynikają z zastosowania wybranych metod lub technik formalnych (tj. technik o charakterze matematycznym) do problemów pojawiających się w praktyce przemysłowej, w szczególności w obszarze intensywnie rozwijanego dziś zautomatyzowanego transportu logistycznego oraz w obszarze zautomatyzowanych procesów wytwórczych. Zastosowanie metod formalnych do rozwiązywania zagadnień i problemów przemysłowych jest podejściem zasadnym i wartym podkreślenia, ponieważ przyczynia się do systematyzacji i skuteczniejszego transferu nowej wiedzy i nowych technologii do gospodarki. Zastosowanie takiego podejścia było możliwe dzięki znacznej wiedzy oraz wyjątkowo dużemu doświadczeniu przemysłowemu i projektowemu Habilitanta.

Wyniki stanowiące wskazane osiągnięcie naukowe można podzielić tematycznie na kilka wspomnianych wyżej spójnych zagadnień badawczych. Pierwszy temat badań doktora R. Stettera dotyczy próby zdefiniowania czym jest FTD, jak można skonkretyzować i uściślić paradygmat FTD i w jaki sposób można go implementować w praktycznych problemach. Wnioskodawca spróbował tutaj rozszerzyć i uogólnić koncepcję FTD na tle dotychczasowych cząstkowych wyników znanych z literatury, strukturyzując paradygmat FTD poprzez wpisanie go w znany z praktyki przemysłowej tzw. V-model projektowania i walidacji systemów technicznych, w którym opracowano i wyróżniono reguły FTD na kilku poziomach projektowych. Podano również możliwe metody realizacji poszczególnych poziomów projektowych w paradygmacie FTD. Tej tematyce poświęcono znaczną część monografii [1] oraz artykuły [2] i [7]. Te ostatnie zawierają przykłady wykorzystania metodyki FTD do projektowania zautomatyzowanych pojazdów w transporcie logistycznym.

Kolejne zagadnienie poruszane przez Wnioskodawcę w pracach [1, 2] i [7] dotyczy łączenia zagadnień FTD i FTC w ramach spójnej metodyki optymalnego (wg Habilitanta) projektowania systemów tolerujących uszkodzenia. Autorskim pomysłem jest tutaj uwzględnienie w ramach aktywnego sterowania typu FTC (poza klasycznymi rozwiązaniami stosowanymi w przypadku uszkodzeń czujników i/lub układów wykonawczych) miary bieżącej żywotności wybranych komponentów systemu, a także estymacji oraz integracji z algorytmami FTC wskaźnika RUL (ang. Remaining Useful Life), tj. pozostałego czasu użyteczności wybranych komponentów w celu maksymalizacji średniego czasu do awarii całego systemu technicznego. Ponadto Autor zaproponował strategię zwiększania (czy wręcz maksymalizacji) wskaźnika RUL systemu poprzez zwiększanie efektywności wykorzystania jego podsystemów.

Zaproponowane rozwiązania mogą znaleźć zastosowanie w (dynamicznym) harmonogramowaniu pracy złożonych systemów logistycznych lub systemów wytwórczych prowadzącym do zwiększonego średniego poziomu wskaźnika RUL (tj. pozostałego czasu użyteczności systemu). Nową koncepcję integracji metodyk FTD i FTC wpisano w schemat V-modelu projektowania systemów.

W pracach [1, 3, 5, 6] Habilitant porusza zagadnienie wpływu wykorzystania wirtualnych sensorów i wirtualnych elementów wykonawczych na poprawę poziomu tolerancji uszkodzeń, w szczególności w zautomatyzowanych pojazdach transportu logistycznego typu AGV (ang. Automated Guided Vehicles). Dr R. Stetter zaproponował estymator sił wzdłużnych i momentów obrotowych kół pojazdu AGV korzystając z modelu matematycznego nowo zaprojektowanego i zbudowanego przez jego zespół badawczy pojazdu o czterech kołach skrętnych i napędzanych (poprzez zmianę sposobu sterowania napędami taki pojazd może naśladować kilka klasycznych kinematyk robotów mobilnych o ograniczonej mobilności; w literaturze można znaleźć podobne rozwiązania pojazdów o 'rekonfigurowalnej' kinematyce). Skuteczność działania wirtualnego sensora diagnostycznego sił i momentów została sprawdzona eksperymentalnie i pomyślnie zweryfikowana na wspomnianym pojeździe AGV w warunkach uszkodzeń, co pozwala na wykorzystanie wyekstrahowanej z wirtualnego czujnika informacji o możliwej anomalii działania systemu do podjęcia aktywnego działania sterującego ograniczającego negatywne skutki wykrytego uszkodzenia. Ponadto Habilitant zaproponował i zweryfikował doświadczalnie nową klasę rozmytych wirtualnych elementów wykonawczych, która umożliwia ograniczanie skutków wybranych uszkodzeń w systemach sterowania bez konieczności podmiany sterownika nominalnego – zastosował tutaj modułowe rozwiązanie typu 'add-on', co ma niewątpliwe zalety praktyczne. Weryfikację wykonał na zbudowanym przez swój zespół laboratoryjnym pojeździe AGV (w pracy [3] przedstawiono inną wersję zautomatyzowanego pojazdu o rekonfigurowalnej kinematyce dedykowanego do zadań logistycznych).

Zagadnieniami sterowania w metodyce FTC Habilitant zajmował się w pracach [1, 11, 12, 13] i [14], gdzie brał udział w opracowaniu algorytmów sterowania tolerującego uszkodzenia dla systemów z redundantnymi i dzielonymi zasobami, w szczególności dla zautomatyzowanych systemów transportowych w zastosowaniach logistycznych. Nowe strategie sterowania FTC Habilitant opracował wykorzystując matematyczny model podstawowego komponentu systemu logistycznego (model systemu o zdarzeniach dyskretnych, ang. discrete event system) uzyskany z wykorzystaniem tzw. 'max plus algebry' i połączeniem tego typu modeli w jeden system złożony. Opis systemu dopuszcza oddziaływanie uszkodzeń, którymi są w tym przypadku opóźnienia w realizacji zaplanowanego zadania logistycznego. Wnioskodawca zaproponował kompensację wpływu takich opóźnień poprzez właściwie zaprojektowany algorytm predykcyjnego sterowania FTC, która zapewnia większą odporność jakości (efektywności) pracy całego systemu logistycznego na opóźnienia realizacji zadań elementarnych. W pracach [11] i [12] wykazano, że strategia predykcyjnego FTC jest korzystniejsza od klasycznej strategii sterowania predykcyjnego. Opracowana metodyka sterowania FTC okazała się skuteczna również w problemie z dzielonymi i redundantnymi zasobami, co dr R. Stetter zilustrował w artykule [13] na przykładzie systemu

zautomatyzowanych pojazdów AGV pracujących w magazynie wysokiego składowania. W rozwiązaniu uwzględnił takie aspekty, jak: konkurencyjność i synchronizację pracy pojazdów, niepewność parametryczną modeli działania pojazdów wykorzystując arytmetykę interwałową, integrację diagnostyki uszkodzeń z układem sterowania typu FTC, a także modelowanie matematyczne zbioru redundantnych pojazdów (jako systemu o zdarzeniach dyskretnych). Porównanie zaproponowanego algorytmu sterowania typu FTC z algorytmem typu MPC (ang. Model Predictive Control) w warunkach występowania uszkodzenia systemu (tj. opóźnienia jednego z pojazdów AGV) wskazuje na istotne praktyczne zalety tego pierwszego. Prace [11] i [12] oraz [14] prezentują przykładowe zastosowania opracowanego układu sterowania FTC, odpowiednio, w zadaniach montażu baterii oraz transporcie i montażu siedzeń samochodowych.

Rozszerzenie strategii sterowania typu FTC umożliwiają wyniki zawarte w pracach [8] i [9], gdzie Habilitant zaproponował użycie obserwatora Luenbergera do estymacji stanu i w konsekwencji predykcji wskaźnika RUL (tj. pozostałego czasu użyteczności), a następnie jego wykorzystania do szacowania stanu naładowania i żywotności akumulatorów pojazdów AGV. Ponadto, Aplikant zaproponował wykorzystanie wspomnianych szacowanych wskaźników w strategii sterowania typu FTC dla pojazdów AGV z różnymi poziomami naładowania akumulatorów, co umożliwiło zrównoważone użytkowanie poszczególnych pojazdów podczas realizacji zadań transportowych.

Podsumowując analizę zestawu czternastu prac zgłoszonych w ramach osiągnięcia naukowego można stwierdzić, że dr R. Stetter uzyskał oryginalne wyniki badawcze w obszarze ustrukturyzowanego projektowania zautomatyzowanych systemów tolerujących uszkodzenia, ze szczególnym uwzględnieniem systemów logistycznych wyposażonych w pojazdy typu AGV. Większość autorskich wyników uzyskanych do 2020 roku zostało przedstawionych w uporządkowany sposób w monografii opublikowanej w znanym i cenionym wydawnictwie Springer Nature. Nie jest jednak do końca jasne jak należy rozumieć związek wyników zawartych w artykułach [4] i [10] z tematyką przedłożonego zasadniczego osiągnięcia naukowego (Habilitant nie wyjaśnił tego wystarczająco klarownie w autoreferacie). Prace te dotyczą projektowania [10] lub modelowania [4] systemów dynamicznych, przy czym tylko praca [4] jawnie odnosi się, w pewnym zakresie, do kwestii tolerowania uszkodzeń, choć problem FTD nie wydaje się należeć do głównego nurtu tej publikacji. Treść pracy [10], poświęconej zasadom projektowania z wykorzystaniem języka UML (ang. Unified Modeling Language), wydaje się nie nawiązywać do tematyki FTD i FTC. Tym samym zawarcie jej w cyklu przedłożonych prac wydaje się dyskusyjne.

Podsumowanie oceny osiągnięcia naukowego: Analizując wyniki zawarte w przedstawionym zbiorze publikacji, stanowiącym główne osiągnięcie naukowe Habilitanta, można stwierdzić, że jego zasadniczy wkład w rozwój dyscypliny automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne polega na rozwinięciu i konkretyzacji koncepcji FTD oraz strukturyzacji procesu projektowego w metodyce FTD w ramach V-modelu, z uwzględnieniem nowo opracowanych i właściwie zintegrowanych układów sterowania FTC jako składowych całego systemu, oraz na opracowaniu modeli, metod i algorytmów do celów projektowania systemów tolerujących uszkodzenia z wykorzystaniem nowo opracowanych lub

zaczepniętych z literatury i dostosowanych do potrzeb FTD narzędzi matematycznych, wirtualnych sensorów i wirtualnych elementów wykonawczych oraz predyktorów wskaźników efektywności działania systemów złożonych. Ponadto do wkładu Habilitanta należy zaliczyć podane weryfikacje opracowanych metod projektowych (a także ich porównania z alternatywnymi metodami znanymi z literatury przedmiotu) na przykładach zautomatyzowanych systemów logistycznych i wytwórczych działających w obecności uszkodzeń, z uwzględnieniem redundancji i dzielenia zasobów. Wyraźne **odniesienie proponowanych rozwiązań do realiów praktyki przemysłowej stanowi istotny walor praktyczny uzyskanych wyników badawczych Habilitanta**. Biorąc pod uwagę wyżej wymienione walory, **cykl prac doktora Ralfa Stettera oceniam bardzo dobrze i stwierdzam, że z pewnością wypełnia on wymagania dotyczące osiągnięć naukowych stanowiących podstawę do nadania stopnia doktora habilitowanego**.

Wniosek końcowy

Stwierdzam, że omówiona powyżej bardzo duża aktywność badawcza doktora inżyniera Ralfa Stettera bez wątplenia spełnia kryteria określone w Ustawie w odniesieniu do wymagań dotyczących habilitacji. Również przedstawione przez Habilitanta osiągnięcie naukowe wnosi istotny aplikacyjny wkład do rozwoju dyscypliny naukowej automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne. W związku z tym wnoszę o nadanie panu doktorowi inżynierowi Ralfowi Stetterowi stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynierijno-technicznych w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.