

Załącznik nr 2a

**Autoreferat przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych
(w języku polskim)**

Lech Sławomir Knap

Warszawa 2018

Spis treści

1. Imię i nazwisko:.....	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/ artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.	3
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/ artystycznych. ...	3
4. Wskazanie osiągnięcia* wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311):	3
Metoda projektowania i budowy zadaniowo zorientowanych systemów CPS	4
Cele pracy	4
Opis sposobu osiągnięcia celów	5
Uwzględnienie aspektów bezpieczeństwa w zaproponowanej metodzie	9
Uwzględnienie aspektów monitorowania realizacji wymagań oraz doskonalenia.....	11
Zastosowanie opracowanej metody do projektowania i budowy aktywatorów	13
Zastosowania opracowanej metody do projektowania i budowy systemów CPS	15
Podsumowanie metody oraz omówienie osiągniętych celów.....	19
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych (artystycznych).	24
5.1. Charakterystyka dorobku naukowego publikacyjnego	24
5.2. Zestawienie dorobku naukowego:.....	32
5.3. Udział w projektach badawczych.....	33
5.4. Nagrody dotyczące działalności naukowej:	35

1. Imię i nazwisko:

Lech Sławomir Knap

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/ artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

- a) magister inżynier na kierunku Mechanika i Budowa Maszyn, Politechnika Warszawska, Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych, 1994 rok,
- b) master of science in business, Warsaw University of Technology, HEC School of Management – Paris, London Business School, Norwegian School of Economics and Business Administration, 1994 rok,
- c) doktor nauk technicznych w zakresie budowy i eksploatacji maszyn, Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, 2001 rok. Tytuł rozprawy doktorskiej: *Aktywne rozpraszanie energii zderzeń w ustrojach adaptacyjnych.*

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/ artystycznych.

- a) Adiunkt – 2001 – obecnie, Politechnika Warszawska, Instytut Pojazdów, Zakład Ciągników i Napędów Hydrauliczny, ul. Narbutta 84, 02-524 Warszawa.
- b) Asystent – 1994–2001, Politechnika Warszawska, Instytut Pojazdów, Zakład Ciągników i Napędów Hydraulicznych, ul. Narbutta 84, 02-524 Warszawa,

4. Wskazanie osiągnięcia* wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311):

- a) Knap L., *Projektowanie i budowa zadaniowo zorientowanego systemu CPS*. Monograficzna seria wydawnicza Biblioteka Problemów Budowy i Eksploatacji Maszyn. Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji - PIB, Radom. 2017. ISBN 978-83-7789-491-0.

Recenzenci wydawniczy: prof. dr hab. inż. Jan Holnicki-Szulc, dr hab. inż. Jędrzej Mączak, prof. PW.

- b) omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania:

Metoda projektowania i budowy zadaniowo zorientowanych systemów CPS

Praca pod tytułem *Projektowanie i budowa zadaniowo zorientowanych systemów CPS* poświęcona została zagadnieniom związanym z projektowaniem, budową, bezpieczeństwem i eksploatacją tzw. systemów cybernetyczno-fizycznych (z ang. *Cyber-Physical System* – w skrócie CPS) zwanych w Polsce w skróconej formie jako systemy cyber-fizyczne.

Jednym z głównych celów prowadzonych badań było zaproponowanie możliwie uniwersalnej i kompleksowej metody, która może być wykorzystywana do zarządzania architekturą, funkcjonalnościami oraz ich zmianami w ramach dowolnego systemu CPS podczas jego całego tzw. cyklu życia. Zadanie to jest tym bardziej ważne, że w najbliższym czasie należy oczekiwać, że coraz więcej systemów CPS nowej generacji będzie produkowanych na całym świecie i będą one coraz bardziej oddziaływały na świat ludzi. Dzisiaj nie są już obce, tak dziwnie brzmiące do tej pory, hasła jak Internet Rzeczy (ang. *Internet of Things* – IoT), Internet Wszystkiego (ang. *Internet of Everything* – IoE) czy też kolejna rewolucja technologiczna Przemysł 4.0 (ang. *Industry 4.0*), za którymi kryją się właśnie systemy CPS o nowych i niedostępnych do tej pory możliwościach. Bezskrytyczne stosowanie nowej generacji systemów CPS, które okazały się wadliwe, co było spowodowane brakiem zastosowania standardów i wymagań bezpieczeństwa, doprowadziło w ostatnich latach do wielu spektakularnych doniesień medialnych dotyczących ataków cybernetycznych ukierunkowanych na infrastrukturę systemów CPS powodujących znaczne straty lub zagrożenia dla życia człowieka.

Cele pracy

Celem podjętych badań naukowych było zaproponowanie kompleksowej metody projektowania i budowy zorientowanych zadaniowo systemów CPS, ze szczególnym uwzględnieniem aspektów bezpieczeństwa, tak aby metoda umożliwiała:

- zidentyfikowanie wielorakich wymagań stawianych systemowi CPS i ich przełożenie na zadania (funkcjonalności), jakie ma on realizować,
- stworzenia opisu formalnego, który wraz z postępem prac projektowych i doskonalących może być stopniowo uszczegółowiany,
- powstanie stosunkowo prostego i zrozumiałego dla inżynierów z różnych dziedzin opisu formalnego systemu CPS,

- stworzenie zrozumiałej definicji i prezentacji zależności i przepływów sygnałów przetwarzanych przez poszczególne komponenty systemu CPS,
- bliskie podobieństwo opisu formalnego do form opisu algorytmu działania systemu,
- identyfikację ograniczeń (tzw. wąskich gardeł) w działaniu systemu CPS,
- rozpatrywanie bezpieczeństwa systemu CPS w kategoriach poufności, dostępności (w pewnym sensie niezawodności) oraz integralności (poprawności przetwarzania sygnałów),
- identyfikację zagrożeń i podatności, które mogą mieć wpływ na działanie i eksploatację komponentów oraz całego systemu CPS,
- oszacowanie wartości wykorzystywanych zasobów oraz stopnia ich wpływu (krytyczności) dla systemu CPS,
- obiektywne szacowanie i ocenę poziomu ryzyka poszczególnych komponentów systemu CPS oraz połączeń między nimi,
- zarządzanie bezpieczeństwem systemu CPS – począwszy od fazy jego projektowania, a skończywszy na eksploatacji,
- obiektywny i efektywny dobór zabezpieczeń oraz miejsca ich lokalizacji w systemie CPS,
- określenie wymagań oraz sposobów monitorowania i oceny poprawności działania zbudowanego systemu CPS,
- określenie i wymuszenie istnienia mechanizmów do dalszego doskonalenia systemu CPS.

Opis sposobu osiągnięcia celów

Choć naukowcy z różnych ośrodków zaproponowali już rozmaite metody projektowania systemów CPS, np.: projektowanie w oparciu o model lub projektowanie modelowo zorientowane (ang. *model-based design* oraz *model-driven development*), projektowanie zorientowane na uczestnika (ang. *actor-oriented design*) czy też projektowanie z wykorzystaniem modeli zdarzeń dyskretnych i ciągłych oraz właściwości zdarzeń (ang. *adaptive discrete event model*, *temporal and spatial properties of events model*), to każda z tych metod skupia się na innym komponencie budowy systemu CPS i żadna nie obejmuje całego cyklu życia produktu oraz nie uwzględnia w wystarczającym stopniu wymogów bezpieczeństwa dnia dzisiejszego. Natomiast zaproponowana w pracy metoda projektowania, a także budowy zadaniowo zorientowanych systemów CPS jest

podejściem kompleksowym i – jak to zostało pokazane w przykładach – zawiera właściwie część elementów z każdej metody, np. ważność modelu systemu, ważność aktorów oraz ważność następstwa zdarzeń. Dzięki temu jest ona niezwykle uniwersalna i może być traktowana w całości jako tzw. metajęzyk opisu systemu CPS, który można zastosować podczas projektowania i budowy nie tylko systemów CPS, lecz także innych systemów wykorzystujących warstwę fizyczną i cybernetyczną, np. IoT i IoE. Dzięki zaproponowanej metodzie możliwe jest także projektowanie i uwzględnienie bezpieczeństwa współpracy projektowanego systemu CPS z innymi systemami. Powszechne stosowanie metody mogłoby skutkować tworzeniem systemów w sposób modułarny, który umożliwiłaby inżynierom komponowanie nowych systemów CPS z istniejących już komponentów innych systemów CPS.

Zaproponowana metoda jest metodą o unikalnym podejściu, które powstało poprzez połączenie doświadczeń związanych z projektowaniem i budową systemów CPS, stanowisk badawczych, konstrukcji inżynierskich, a także doświadczeń wynikających z realizacji wielu projektów bezpieczeństwa infrastruktury teleinformatycznej w administracji publicznej oraz w sektorze prywatnym.

W celu zastosowania prezentowanej metody projektowania i budowy zadaniowo zorientowanych systemów CPS niezbędne jest w pierwszym kroku zidentyfikowanie wymagań, które mają być realizowane. W opisywanej metodzie kluczowe jest uwzględnienie zaleceń wszystkich zainteresowanych stron, np.: użytkowników, konstruktorów, prawodawców oraz serwisantów. Dzięki takiemu podejściu już na początku fazy projektowania systemu CPS możliwe jest zidentyfikowanie najważniejszych wymagań, także prawnych i eksploatacyjnych, które wpływają na funkcjonalności systemu, oraz tych, które określają ograniczenia i sposób realizacji tych wymagań. W omawianej pracy wagę tego etapu omówiono w rozdziale czwartym, przedstawiającym metodę, oraz w rozdziale szóstym pokazującym przykłady zaprojektowanych i zbudowanych systemów CPS. W przedstawionych przykładach pokazano, jak identyfikowane wymagania mogą kształtować sposób działania systemu CPS. Dzięki rozpoznaniu wymagań wszystkich zainteresowanych stron możliwe jest stworzenie odpowiednika tzw. specyfikacji techniczno-taktycznej systemu CPS występującej przy tradycyjnym podejściu do projektowania.

Opisywana metoda wymusza zamianę zidentyfikowanych wymagań na tzw. zadania, czyli funkcjonalności, które ma zrealizować system. Na realizowane zadania składają się tzw. działania (pojedyncze akcje realizowane przez dany komponent systemu) i działalności

(zbiory działań), które są niezbędne do realizacji przez system CPS. Na tym etapie metoda wymaga powiązania działań i działalności z poszczególnymi elementami architektury projektowanego systemu CPS. W ten sposób powstaje formalny opis, który prowadzi do określenia zbioru wszystkich działań i komponentów składowych systemu CPS zwanych w omawianej metodzie zasobami. Dzięki temu możliwe jest przełożenie zidentyfikowanych wielorakich wymagań stawianych systemowi CPS na zadania, które ma on realizować, a także stworzenie opisu formalnego, który wraz z postępem prac projektowych może być stopniowo uszczegółowiany. W rozdziale czwartym pracy zamieszczono podstawy opisu, który może być używany podczas tworzenia formalnego opisu systemu CPS.

Proponowana metoda poprzez identyfikację zadań, zasobów, działań i działalności pozwala także na opisywanie sygnałów, które przepływają pomiędzy poszczególnymi komponentami systemu CPS. Dzięki temu możliwe jest obrazowanie i identyfikowanie dróg przepływu sygnałów – a więc informacji, jakie są przekazywane przez te sygnały. W zaprojektowanym i zbudowanym systemie CPS zgodnie z zasadami opisywanej metody (co zostało pokazane w rozdziale szóstym na bazie systemu CPS adaptacyjnego zawieszania pojazdu) zidentyfikowano na przykład wszystkie kluczowe komponenty systemu oraz działania i działalności. Wyznaczono także drogi przepływu sygnałów, co powodowało konieczność uwzględnienia wszystkich pośrednich podzespołów, jakie są wykorzystywane do generowania, przesyłania oraz odbierania danych sygnałów. W ten sposób mogą być wyznaczone nie tylko zbiory podzespołów bezpośrednio biorących udział w przetwarzaniu sygnałów, lecz także wszelkiego rodzaju sensory, aktywatory i interfejsy wymiany danych, np. z innymi systemami CPS lub z użytkownikiem (tzw. interfejsy HMI, z ang. *Human Machine Interface*) czy też pracownikiem obsługi (tzw. interfejsy diagnostyczne).

Identyfikacja wszystkich podzespołów systemu CPS i sygnałów (informacji) przez nie przepływających umożliwia rozpoznanie podzespołów, które są kluczowe ze względu na spełnienie określonych wymagań oraz realizację zadań, do jakich przeznaczono system. Dzięki temu możliwe jest wyznaczenie macierzy wymagań i zasobów. W przypadku modernizacji projektu systemu CPS ta prosta relacja pozwala bardzo szybko wyznaczyć, w jaki sposób zmiana jednego podzespołu może wpłynąć na zmianę stopnia spełnienia zidentyfikowanych wymagań.

Dzięki temu zaprezentowana metoda przynosi dodatkowe korzyści, które wynikają z podobieństwa tworzonego opisu pracy systemu do opisu działania algorytmu sterującego. Poprzez tworzenie wspomnianych powiązań budowane są równolegle dwa opisy: działania

oraz algorytmu sterowania systemem CPS – w pracy pokazano to w rozdziale szóstym na przykładzie systemu CPS napędu hybrydowego elektryczno-hydrostatycznego. Wykazano tam bardzo bliskie podobieństwo między opracowanym opisem systemu a opisem algorytmu działania oprogramowania w warstwie cybernetycznej, który został niezależnie zrobiony przez inżyniera zajmującego się stworzeniem oprogramowania. Analiza ich obu wskazuje na to, że jest to właściwie opis tego samego algorytmu działania systemu CPS, który uwzględnia takie same zasoby oraz opiera się w działaniu na tych samych sygnałach. Zbiór zasobów w algorytmie zaproponowanym przez inżyniera oprogramowania i niezbędnych do działania systemu jest zgodny ze zbiorem zasobów, który został opracowany przy wykorzystaniu opisywanej metody. Prawie identyczne są też poszczególne działania realizowane w czasie przez oba opisy.

Prezentowane podejście pod tym względem jest bardzo zbliżone do metody projektowania zorientowanej na aktora. Zawiera także elementy metody projektowania z wykorzystaniem modeli zdarzeń dyskretnych. Dzieje się to poprzez zdefiniowanie następstwa działań i działalności oraz powiązanie ich w czasie z przepływem informacji (sygnałów). W pewnym więc sensie opisywana metoda łączy czynniki, które w innych metodach są uwzględniane oddzielnie. W opracowanym podejściu czynniki te są połączone, dzięki czemu tworzą spójny, prosty, jednolity i kompleksowy opis, który jest zrozumiały dla wszystkich stron biorących udział w projektowaniu. W rozdziale szóstym pracy pokazano także, że tego typu opis jest podobny do opisów tworzonych przez inżynierów elektroników zajmujących się projektowaniem komponentów elektronicznych.

Opisywana metoda została wykorzystana w rzeczywistych warunkach podczas projektowania systemu CPS zarządzania pracą transmisji dla jednego z polskich producentów traktorów. Realizowane prace pokazały, że zaproponowana metoda opisu działania systemu CPS jest zrozumiała nie tylko dla programistów i elektroników, lecz także dla wszystkich innych stron biorących udział w projektowaniu (inżynierów z różnych dziedzin: elektroników, programistów, automatyków, mechaników, serwisantów, pracowników działów doświadczalnych, itd.). Dodatkowo w przejrzysty sposób pozwala na tworzenie opisu bardzo rozbudowanych systemów – w analizowanym przykładzie uwzględniono ponad 40 sygnałów pochodzących od różnego rodzaju czujników zlokalizowanych w rozmaitych miejscach transmisji oraz całego ciągnika.

Dlatego też na podstawie zdobytego doświadczenia z rzeczywistego wykorzystania metody można wyciągnąć wniosek, że opis stworzony dla każdej z zainteresowanych stron jest w stanie być bazą służącą do realizacji prac w sposób niezależny (równoległy) – ale tak,

że wyniki tych prac tworzą system CPS, który jest spójny i działa w uporządkowany sposób. Uproszczone przykłady opisu procesów wraz z działaniami, działalnościami, zasobami oraz drogami przepływu informacji w innych systemach CPS zostały zamieszczone w pracy w rozdziale czwartym oraz szóstym.

Należy także zwrócić uwagę na fakt, że opis projektu systemu CPS zgodnie z przedstawioną metodą może być uszczegóławiany wedle potrzeb zainteresowanych stron na dowolnym etapie, tam gdzie jest to niezbędne. Można więc podchodzić do tworzenia projektu systemu CPS jako procesu jego cyklicznego doskonalenia wraz z postępem identyfikowania wymagań i zadań oraz jego uszczegółowienia, gdy pojawią się takie potrzeby. Choć w pracy w rozdziale czwartym i szóstym przedstawiono jedynie dość ogólny opis projektu systemów CPS, to łatwo sobie wyobrazić możliwość jego uszczegółowienia w razie takiej konieczności – np. przez uszczegółowienie zasobów, co wymusi także uszczegółowienie opisu przepływu sygnałów i powiązań z wymaganiami. Widoczne jest także, że pojedyncza zmiana pociąga za sobą analizę wielu powiązanych z nią czynników – choć wymusza to dodatkowy nakład pracy, to jednak uzyskane rezultaty pozwalają na projektowanie systemu CPS w sposób przemyślany i usystematyzowany.

Uwzględnienie aspektów bezpieczeństwa w zaproponowanej metodzie

W drugim i trzecim rozdziale pracy pokazano, jak wielki wpływ na działanie systemu CPS ma bezpieczeństwo jego komponentów – a w szczególności warstwy cybernetycznej i interfejsów pomiędzy nią a warstwą fizyczną systemu CPS. Przedstawiono, jak wiele obecnych systemów CPS pada ofiarą nieautoryzowanego dostępu oraz jakie wynikły z tego konsekwencje. Dlatego też opracowana metoda projektowania i budowy zadaniowo zorientowanych systemów CPS także w tym obszarze proponuje zintegrowane rozwiązania, które są możliwe do realizacji od najwcześniejszego etapu tworzenia systemu CPS. Szczegóły metody w zakresie analizy bezpieczeństwa systemu CPS zostały opisane w rozdziale czwartym opracowania.

Proponowana metoda opiera się częściowo na podejściu powszechnie stosowanym w systemach zarządzania bezpieczeństwem informacji oraz w wytycznych norm dotyczących bezpieczeństwa, np. PN-ISO/IEC-27000 odnoszących się do systemów zarządzania bezpieczeństwem informacji, PN-ISO/IEC-23001 dotyczących zarządzania poprzez ryzyko oraz PN-ISO/IEC-25999 regulujących zarządzanie ciągłością działania.

Proponowana metoda projektowania i budowy zadaniowo zorientowanych systemów CPS nie tylko patrzy na bezpieczeństwo przez pryzmat poufności, np.

zabezpieczenia przed nieautoryzowanym dostępem, lecz także traktuje je znacznie szerzej. W opisywanej metodzie, poza poufnością, brane są pod uwagę także inne aspekty takie jak: zapewnienie zakładanego poziomu niezawodności (tj. dostępności systemu) działania systemu i poprawności przetwarzania przez niego informacji (tj. integralności systemu). Podstawą podejścia do tak szeroko rozumianego bezpieczeństwa jest analiza ryzyka, która bazuje na opisanym powyżej sposobie zidentyfikowania powiązań pomiędzy zbiorami zasobów i przetwarzanych przez nie informacji (sygnałów). Dzięki tym powiązaniom możliwe jest przeprowadzenie identyfikacji zagrożeń oraz podatności związanych z przetwarzaniem sygnałów, co po określeniu prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia i wartości zasobów systemu CPS umożliwia oszacowanie ryzyka.

Dodatkowym atutem prezentowanej metody jest możliwość identyfikacji krytycznych, tj. kluczowych zasobów dla systemu CPS na podstawie przypisanej im wartości. Metoda pozwala wyznaczyć najważniejsze komponenty w sposób obiektywny – czasami zaskakujący pod względem poprawności uzyskiwanych wyników. Daje to szansę na zwrócenie szczególnej uwagi na te komponenty w czasie projektowania systemu.

W opisywanej metodzie projektowania i budowy zadaniowo zorientowanych systemów CPS analiza ryzyka została zaproponowana tak, aby była usystematyzowana, dzięki czemu możliwie obiektywna. Zachowanie obiektywności w ocenie jest kluczowe, ponieważ umożliwia za każdym razem uzyskiwanie zbliżonych rezultatów – dzięki temu wyniki ryzyka mogą być traktowane jako tzw. benchmark bezpieczeństwa. Dzięki temu możliwe jest zapewnienie powtarzalności oceny nawet w przypadku przeprowadzania analizy przez inny zespół na różnym etapie tworzenia projektu systemu CPS. W prezentowanej metodzie analiza ryzyka została tak zaproponowana, aby była możliwa do realizacji nie tylko na początku projektowania, lecz także na każdym późniejszym etapie oraz przy mniejszej lub większej modyfikacji systemu.

W rozdziale czwartym pracy została zaprezentowana także macierz ryzyka, którą można wykorzystać do oceny ryzyka występującego w systemie CPS i jego ważności. W zależności od jego klasyfikacji możliwe jest podjęcie w sposób świadomy takich działań, które mają na celu zabezpieczenie miejsc (zasobów) o największym ryzyku. Często nie jest możliwe przeciwdziałanie całemu ryzyku ze względu na potencjalne koszty, dlatego istotne jest, aby było można zidentyfikować najważniejsze miejsca, gdzie ryzyko jest najwyższe (np. przybiera wartość krytyczną).

Należy podkreślić, że choć obniżanie ryzyka przy pomocy zabezpieczeń może być warte rozważenia, to dzięki jego analizie możliwe jest także oszacowanie, o ile ryzyko może

się zmniejszyć w przypadku realizacji opracowanego planu postępowania z nim – np. wdrożenia zabezpieczenia, wymiany podzespołu na inny, itd. Dzięki temu w sposób świadomy i w miarę obiektywny możliwe jest ocenienie proponowanych zmian i rozwiązań zabezpieczeń w systemie CPS. Racjonalne podejście do tworzenia z wykorzystaniem omawianej metody projektowania i budowy zadaniowo zorientowanych systemów CPS umożliwia także obniżenie kosztów zabezpieczeń oraz zapewnia rozmieszczenie ubezpieczeń tam, gdzie to jest najefektywniejsze ze względu na obniżanie ryzyka i ochronę zasobów o największej wartości. Jest to tym ważniejsze w erze bardzo rozległych systemów CPS, komunikujących się w ramach IoT, IoE, Przemysłu 4.0 i mających znaczny wpływ na bezpieczeństwo ludzi przebywających w obszarze oddziaływania. Przykłady rozpatrywania aspektów bezpieczeństwa i analizy ryzyka zostały przedstawione w rozdziale czwartym oraz szóstym na przykładzie systemu CPS adaptacyjnego zawieszenia pojazdu.

Opracowane rozwiązanie w zakresie oceny bezpieczeństwa jest na tyle uniwersalne, że może być wykorzystywane także do analizy bezpieczeństwa systemów IoT oraz IoE. O skali potencjalnych wyzwań może świadczyć liczba ataków w sieciach komputerowych, które z powodzeniem mogą być stosowane przeciwko omawianym systemom i wykorzystywanej przez nie infrastrukturze. Ważność aspektów w projektowaniu i budowie systemów CPS omówiono szerzej w rozdziale drugim i trzecim, gdzie przedstawiono także wiele skutków nieuwzględnienia bezpieczeństwa systemów CPS na etapie ich projektowania. Łatwo sobie wyobrazić, jakie konsekwencje może mieć utrata bezpieczeństwa np. systemu CPS samolotu lub infrastruktury „inteligentnego” miasta czy budynku na skutek nieautoryzowanego dostępu albo też zaburzenia przepływów sygnałów z kluczowych czujników.

Uwzględnienie aspektów monitorowania realizacji wymagań oraz doskonalenia

Prezentowana metoda projektowania i budowy zorientowanych zadaniowo systemów CPS mimo swojej nazwy nie kończy się na fazie budowy, ale w swoim założeniu obejmuje także fazy monitorowania poprawności działania oraz doskonalenia systemu CPS.

Aspekty dotyczące skuteczności i efektywności działania systemu CPS w omawianym podejściu są traktowane jako bardzo ważny czynnik, który powinien być już uwzględniany w fazie projektowania systemu i weryfikowany w fazie budowy. Pod tym względem prezentowana metoda jest zgodna z jedną z czternastu zasad zarządzania jakością opracowanych przez Williama Edwardsa Deminga – twórcę powszechnie

wykorzystywanych systemów zapewnienia jakości. Przedstawił on tę zasadę w formie tzw. cyklu PDCA (ang. *Plan-Do-Check-Act*).

W proponowanym podejściu metody projektowania i budowy zadaniowo zorientowanego systemu CPS znaczny nacisk kładzie się na zastosowanie cyklu PDCA poprzez cykliczne testowanie i ocenianie poprawności zadań realizowanych przez system CPS zgodnie z wymaganiami określonymi w fazie projektowania. Do oceny poprawności działania niezbędne jest dobranie odpowiednich kryteriów oceny skuteczności i efektywności działania systemu. Omawiana metoda umożliwia to poprzez dobranie odpowiedniego rodzaju mierników pokazujących, czy zadania zidentyfikowane na etapie projektowania realizują cel działania systemu CPS z oczekiwanym rezultatem. Dzięki temu na tym samym etapie możliwe jest zapewnienie mechanizmów pomiaru tych mierników – co może pociągać zmiany architektury systemu, tak aby np. było możliwe gromadzenie odpowiedniej ilości danych historycznych. W czwartym rozdziale zostało zaproponowanych kilka grup mierników, które mogą być wykorzystane do takiej oceny, np. mierniki efektywności i skuteczności, mierniki pojemności i wydajności, mierniki jakości, mierniki rentowności i konkurencyjności. Na schematach poszczególnych zadań, które ma realizować system CPS, pokazano także, jak zostały zaprojektowane funkcje diagnostyczne, które umożliwiają zbieranie danych historycznych pracy przekładni przełączanej pod obciążeniem, tak aby było można w przyszłości opracować algorytmy automatyzacji przełączania biegów.

Jak widać, zaproponowane mierniki pozwalają na ocenę wielu różnych aspektów działania systemu CPS. Umożliwiają także ocenę wydajności systemu, jego niezawodności, a także jakości np. algorytmów sterowania. Dzięki temu po zbudowaniu systemu CPS jasne są kryteria oceny skuteczności i efektywności jego działania. Opracowane kryteria poprawności działania mogą być dodatkowo stosowane w algorytmach działania jako funkcje celów algorytmów optymalizacyjnych – jak to miało miejsce w rozdziale szóstym w odniesieniu do systemu CPS adaptacyjnego zawieszenia pojazdu.

Ostatnim krokiem proponowanej metody, równie ważnym jak poprzednie, jest tzw. doskonalenie systemu. Możliwe jest ono w oparciu o opracowane mierniki, na podstawie których mogą być wyciągane wnioski co do konieczności zmiany projektu i wdrożenia nowszej wersji systemu CPS. Tego typu podejście zostało zaprezentowane w rozdziale piątym i szóstym w odniesieniu do projektowania, budowy i testowania aktywatorów systemów CPS, które mogą być wykorzystywane w algorytmach sterujących pracą całego systemu.

Do tej pory przedstawiono głównie zalety metody projektowania i budowy zadaniowo zorientowanych systemów CPS, ale należy zdawać sobie sprawę z tego, że choć sama metoda jest narzędziem ułatwiającym i obejmującym całościowo proces tworzenia systemów CPS, to nie rozwiązuje wszystkich problemów związanych z tworzeniem systemów CPS. Dlatego też w ramach opracowania przeprowadzono także przegląd wielu publikacji dotyczących różnych aspektów systemów CPS. Na podstawie przeprowadzonej analizy usystematyzowano zagadnienia związane z tworzeniem systemów CPS i podzielono je na cztery główne kategorie, co zostało zaprezentowane w rozdziale drugim opracowania. Wyniki pokazały, że znaczna część prac, obok aspektów bezpieczeństwa i metod zabezpieczania systemów CPS, koncentruje się na interfejsach pomiędzy warstwą cybernetyczną a warstwą fizyczną oraz modelowaniu właściwości podzespołów lub całych systemów CPS. Tym zagadnieniom w pracy poświęcono głównie rozdział piąty, w którym przedstawiono wyniki badań aktywatorów, oraz rozdział szósty, w którym pokazano wyniki badań całych systemów CPS.

Zastosowanie opracowanej metody do projektowania i budowy aktywatorów

Badania aktywatorów (zwanych także aktuatorami) przedstawione w rozdziale piątym ukierunkowane były na opracowanie urządzeń przeznaczonych do stosowania w systemach ochrony konstrukcji przed drganiami. Aby było można tam stosować aktywatory, konieczne jest opracowanie urządzeń działających w sposób bardzo szybki. Ważne jest także, żeby stworzony model numeryczny urządzeń był stosunkowo prosty, tak by obliczenia z jego wykorzystaniem nie zajmowały znacznych zasobów procesora układu elektronicznego.

Dlatego też w ramach prowadzonych prac przebadano wiele rozwiązań dostępnych na rynku, ale także opracowano własne, które charakteryzują się dobrymi własnościami oraz prostym modelem numerycznym:

- tłumiki oraz amortyzatory hydrauliczne z zaworem sterowanym elementem piezoelektrycznym – zaprojektowane urządzenia zostały zbudowane i przebadane, co wykazało, że uzyskano amortyzator o bardzo dobrych właściwościach, którego siła tłumienia może być zmieniana na skutek regulacji napięcia prawie sześciokrotnie. Uzyskano charakterystyki liniowe, co znacznie ułatwiło opracowanie algorytmów sterowania takimi amortyzatorami oraz pozwoliło na stworzenie prostego modelu numerycznego urządzenia (parametry zidentyfikowano w sposób doświadczalny). Czas

odpowiedzi amortyzatora został ustalony doświadczalnie i wynosi jedynie średnio ok. 9 ms (100% zmiany sygnału sterowania);

- urządzenia z cieczami reologicznymi, a w szczególności tłumiki bazujące na wykorzystaniu cieczy elektoreologicznych oraz tłumiki i hamulce, których praca opiera się na użyciu cieczy magnetoreologicznych. W wyniku przeprowadzonych badań numerycznych i doświadczalnych opracowano jeden uniwersalny model numeryczny, w którym możliwe jest dopasowanie go do danego urządzenia jedynie poprzez zmianę jego wybranych parametrów (które zidentyfikowano doświadczalnie dla każdego z urządzeń). Przeprowadzone badania wykazały, że choć zmienność charakterystyk też jest 3–6-krotna, to opracowane modele numeryczne są już znacznie bardziej skomplikowane niż te dla amortyzatora z zaworem piezoelektrycznym. Badania doświadczalne pokazały, że czas reakcji dostępnych na rynku rozwiązań oraz tych własnych bazujących na wykorzystaniu cieczy magnetoreologicznych wynosił od 16 do 25 ms (dla tych samych warunków obciążenia oraz tego samego poziomu zmiany sygnału sterowania);
- urządzenia doświadczalne SpinMan oraz SpinMix pozwalają na zarządzanie w czasie przepływem energii wymuszenia zewnętrznego, ukierunkowując ją do odpowiednich inerterów zabudowanych w obu konstrukcjach. Możliwe jest tam dyssypowanie zakumulowanej energii w przeznaczonym do tego interfejsie lub jej oddawanie. Choć konstrukcje tego typu nie zostały jeszcze dogłębnie przebadane doświadczalnie, to opracowano modele numeryczne, których badania wskazują, że urządzenia tego typu poprzez sposób zarządzania energią mogłyby nosić miano nawet SMART-damper.

W rozdziale piątym, obok wyników badań dla powyższych urządzeń, przedstawiono także wyniki testów innych urządzeń, a w szczególności inerterów opracowanych z wykorzystaniem technologii szybkiego prototypowania. Przeprowadzone badania w odniesieniu do metody projektowania zadaniowo zorientowanych systemów CPS wykazały, że:

- przy opracowywaniu aktywatorów można wykorzystywać opisaną metodę projektowania zadaniowo zorientowanych systemów CPS. Bardzo duże znaczenie ma zastosowanie wszystkich faz, tj. projektowania, budowy, pomiarów oraz fazy doskonalenia. Projektowanie w oparciu o zidentyfikowane wymagania zapewnia możliwość budowy efektywnie działających podzespołów. Pomiarzy przeprowadzane na podstawie wyników badań doświadczalnych w jasny sposób

pokazują, czy opracowana konstrukcja może być uważana za udaną, czy też nie (faza monitorowania i doskonalenia);

- mechanizmy, jakie udostępnia opisywana metoda, umożliwiają wielokryterialną oraz wieloaspektową ocenę działania aktywatorów w sposób obiektywny. Ułatwia to podejmowanie decyzji o tym, czy danego typu konstrukcję można dalej doskonalić, czy też należy ją porzucić, np. z powodu niskiej szansy otrzymania lepszej (taka decyzja jest możliwa na etapie doskonalenia oraz w kolejnym cyklu projektowania; pozwala na to także analiza ryzyka poprzez ocenę szansy otrzymania lepszego rozwiązania przy dodatkowym wzroście wartości danego zasobu);
- metoda pozwala na projektowanie aktywatorów z wykorzystaniem metody projektowania przez budowę modelu (ang. *design by model*), co w szczególności ułatwia tzw. szybkie prototypowanie aktywatorów;
- metoda jest na tyle uniwersalna, że pozwala na budowę dowolnego urządzenia czy też podzespołu z jej wykorzystaniem – także aktywatory innych niż omawiane;
- analizy uzyskanych wyników wskazują, że każda z faz metody projektowania zadaniowo zorientowanych systemów CPS posiada swój cykl doskonalenia – to znaczy przykładowo w fazie projektowania także można wyróżnić podfazy, np. przygotowania projektu (projektowanie), opracowania projektu (budowa), weryfikacji poprawności projektu (monitorowanie) oraz zmian w projekcie (doskonalenie). Podobnego typu „małe” cykle PDCA są realizowane wewnątrz kolejnych faz metody projektowania i budowy zadaniowo zorientowanych systemów CPS. To zagadnienie jest o tyle ważne, że pozwala na ciągłe doskonalenie wszystkich faz wytwarzania systemu CPS na podstawie racjonalnych przesłanek (mierników).

Zastosowania opracowanej metody do projektowania i budowy systemów CPS

Badania przedstawione w rozdziale szóstym dotyczą całych systemów CPS. Zaprezentowano tam przykłady zbudowanych i testowanych systemów CPS: adaptacyjnego zawieszenia pojazdu oraz napędu hybrydowego elektryczno-hydrostatycznego. Pokazano także wyniki badań koncepcyjnych innych systemów, np. ograniczania drgań własnych konstrukcji oraz ochrony konstrukcji przed obciążeniami udarowymi.

Wyniki przeprowadzonych badań obejmowały wszystkie fazy omawianej metody, począwszy od projektowania, a skończywszy na doskonaleniu systemów. Uzyskane wyniki wskazują, że opracowane systemy charakteryzują się przeważnie dobrymi własnościami użytkowymi:

- system adaptacyjnego zawieszenia pojazdu – zawieszenie pojazdu wykorzystuje amortyzatory sterowane zaworem piezoelektrycznym. Dzięki zastosowaniu omówionych wcześniej aktywatorów możliwe było opracowanie i budowa kompletnego, sterowanego zawieszenia pojazdu. Do poprawnego działania systemu CPS opracowany i wykorzystany został bardzo prosty algorytm sterowania bazujący na modelu numerycznym zawieszenia pojazdu. Wielokrotne doświadczalne testy drogowe przeprowadzone na odcinku drogi pomiędzy Warszawą a Konstancinem pokazały, że możliwe było znaczne ograniczenie drgań nadwozia. Miarą służącą do oceny skuteczności działania systemu CPS zawieszenia pojazdu było kryterium wynikające z normy ISO-2631 dotyczące dopuszczalnego czasu ekspozycji. Szczegółowe wyniki działania zawieszenia pasywnego oraz adaptacyjnego zawieszenia pojazdu z systemem CPS wskazują, że dla małych prędkości ruchu pojazdu, tj. dla prędkości 45 km/h, uzyskano wydłużenie czasu ekspozycji w niektórych kategoriach nawet do 83–252%. Wartość tych przyrostów dla prędkości 60 km/h wynosi już tylko ok. 70–88%, podczas gdy skuteczność gwałtownie maleje wraz ze wzrostem prędkości do 90 km/h, dla której czas ekspozycji został wydłużony maksymalnie o 6–11% w zależności od porównywanej kategorii. Uzyskane więc wyniki należy uznać za bardzo dobre dla tego typu zawieszenia (tzw. zawieszenie semi-aktywne, nie zaś aktywne);
- sposób rozpoznawania wybranych uszkodzeń aktywatorów adaptacyjnego zawieszenia pojazdu – w ramach prac związanych z projektowaniem i budową adaptacyjnego zawieszenia pojazdu z amortyzatorami wyposażonymi w zawory piezoelektryczne stworzono algorytm, który może być wykorzystywany do identyfikacji uszkodzeń. Choć badania w tym zakresie prowadzono w oparciu o modele numeryczne, to wyniki badań wskazują na możliwość identyfikacji wybranych uszkodzeń, np. luzu w zawieszeniu pojazdu;
- system napędu hybrydowego elektryczno-hydrostatycznego – system ten został zaprojektowany jako system tzw. *full-hybrid* i składa się z połączonych równolegle napędów – elektrycznego i hydrostatycznego. Przy czym napęd hydrostatyczny jest

używany podczas rozpędzania pojazdu oraz odzyskowego hamowania nim. Takie połączenie napędów pozwala na pracę obu równocześnie lub każdego z nich z osobna w określonej fazie ruchu pojazdu. Omawiany system CPS został zbudowany w formie stanowiska badawczego. Wyniki badań doświadczalnych pokazują, że przy wspomaganie napędu elektrycznego napędem hydrostatycznym możliwe jest efektywniejsze przetwarzanie energii podczas hamowania odzyskowego i ruszania pojazdu niż w pojeździe tylko z napędem elektrycznym. Objawiało się to obniżeniem wartości skutecznej natężenia prądu przepływającego przez napęd elektryczny przy wspomaganie hydrostatycznym do 12,2 A, w porównaniu do 20,0 A uzyskiwanych w trybie pracy tylko napędu elektrycznego. Takie wyniki oznaczają znaczne odciążenie układu elektrycznego, które skutkuje mniejszymi stratami w akumulatorze i silniku elektrycznym oraz w przewodach;

- koncepcyjny system ochrony konstrukcji przed wibracjami – idea tego systemu bazuje na pomysłach aktywnej zmiany częstości drgań własnych konstrukcji na skutek wprowadzenia do wybranych elementów konstrukcji naprężeń wstępnych poprzez oddziaływanie aktywatorami. Badania takiego systemu zostały przeprowadzone w oparciu o model numeryczny konstrukcji śmigłowca, którą odwzorowano w systemie Abaqus. Uzyskane wyniki analiz numerycznych pokazały, że początkowo w konstrukcji bez wprowadzenia naprężenia wstępnego widoczne są dość zbliżone do siebie dwie częstości rezonansowe ok. 23,1 Hz oraz 24,1 Hz drgań podłogi. Po wprowadzeniu naprężenia wstępnego do elementów podłogi pod przedziałem pilotów możliwe było znaczne ograniczenie drgań podłogi w kabinie śmigłowca, a tym samym i foteli pasażerów. Podłoga przy częstotliwości 23,91 Hz wymuszenia zewnętrznego prawie nie poddawana jest drganiom. Badania wykazały, że częstotliwość drgań własnych podłogi poprzez wprowadzenie dodatkowych naprężeń została przesunięta do wartości ok. 20,8 Hz poza zakres wymuszeń pochodzących od wirnika poruszającego się z częstotliwością 22–25 Hz. Wyniki analiz opartych na modelu numerycznym konstrukcji wskazują, że możliwe jest zbudowanie systemu, który może ją chronić poprzez zmianę w czasie jej częstotliwości drgań własnych.

Pokazane w rozdziale szóstym różnorodne systemy CPS w różnych fazach rozwoju pozwalają na wyciągnięcie wniosków dotyczących opracowanej metody projektowania i budowy zadaniowo zorientowanych systemów CPS:

- przy opracowywaniu i budowie systemów CPS można wykorzystywać opisaną metodę projektowania zadaniowo zorientowanych systemów CPS. W celu opracowania efektywnie i skutecznie działającego systemu CPS konieczne jest realizowanie wszystkich faz, tj. projektowania, budowy, pomiarów oraz doskonalenia. W przypadku systemu CPS poprawne jego zaprojektowanie możliwe jest tylko poprzez zidentyfikowanie stawianych wymagań. Na podstawie projektu jesteśmy w stanie zbudować system oraz zweryfikować poprawność działania przez monitorowanie, np. w oparciu o wyniki badań doświadczalnych. Wyniki pomiaru tych badań w jasny sposób pokazują, czy opracowane konstrukcje można uważać za udane, czy też nie – pozwalają także na tzw. benchmark opracowanych rozwiązań z innymi podobnymi;
- metoda jest na tyle uniwersalna, że umożliwia także projektowanie zupełnie odmiennych systemów CPS niż zaprezentowane – o różnej konstrukcji i zróżnicowanym obszarze działania;
- metoda pozwala na projektowanie systemów CPS z wykorzystaniem metody projektowania poprzez budowę modelu (ang. *design by model*). Może być ona częścią integralną fazy projektowania, gdzie jest szczególnie przydatna w przypadku budowy zupełnie nowych systemów o unikalnych właściwościach lub funkcjonalnościach;
- metoda pozwala przy projektowaniu całych systemów CPS na kilkukrotne realizowanie cykli projektowania, budowy, monitorowania i doskonalenia. Przydatne jest wstępne opracowanie złożonego projektu (nawet ogólnego przy ograniczonej wiedzy na początku projektowania), który wraz z postępem prac w kolejnych fazach może być w miarę potrzeby uszczegółowiany. Mimo znacznego nakładu pracy prowadzi to do opracowania systemu CPS działającego w sposób efektywny i skuteczny;
- metoda przy doborze architektury systemu CPS, w tym sensorów i aktywatorów, pozwala na wykorzystanie sprawdzonych mechanizmów analiza ryzyka. Dzięki temu możliwa jest obiektywna ocena wielu zagrożeń i szans związanych z działaniem systemu CPS i jego podzespołów. Efektem fazy projektowania systemu CPS bazującej właśnie na wynikach analiz ryzyka oraz na wynikach monitorowania i doskonalenia jest opracowanie właściwego projektu warstwy fizycznej i cybernetycznej. Jak pokazano w omawianej pracy na przykładzie jednego z

systemów CPS, możliwe było w oparciu o analizę ryzyka odrzucenie kosztownych rozwiązań, a także powodujących (przy obecnym stanie technologii) duże zagrożenia poprawnego działania systemu CPS;

- ważną rolę podczas tworzenia systemu CPS odgrywa przeprowadzenie badań doświadczalnych, ale w taki sposób, aby uzyskane wyniki mogły być wykorzystywane do oceny poprawności działania systemu CPS. Zapewnienie takich możliwości wymaga uwzględnienia w fazie projektowania zagadnień eksploatacji systemów CPS – co jest jedną z zalet omawianej metody projektowania i budowy zadaniowo zorientowanych systemów CPS. Co ciekawie tego typu podejście jest zbieżne z podejściem, jakie można zaobserwować w rozwoju oprogramowania z zastosowaniem metodyki DevOps – metody błyskawicznego rozwoju z uwzględnieniem na wczesnym etapie relacji ze wszystkimi zainteresowanymi stronami, w tym także służbami odpowiedzialnymi po wdrożeniu za utrzymanie systemu,
- metoda poprzez poszczególne fazy wprowadza uporządkowany sposób zarządzania projektowaniem i budową systemów CPS. Dzięki zaproponowanemu sposobowi zarządzania możliwe jest ocenianie i doskonalenie wszystkich działań, które są niezbędne do zaprojektowania oraz budowy skutecznie i efektywnie działającego systemu CPS.

Podsumowanie metody oraz omówienie osiągniętych celów

O ile na początku niniejszego opracowania odniesiono się do celów podjętych badań naukowych, o tyle przedstawione wyniki badań opracowanej metody projektowania i budowy zadaniowo zorientowanego systemu CPS pokazują doskonale jej możliwości i zalety. Jest ona rozwiązaniem kompleksowym pozwalającym na realizowanie wszystkich zadań począwszy od projektowania, a skończywszy na eksploatacji. Nie tylko pozwala na tworzenie formalnego opisu różnych etapów projektowania i budowy systemu, lecz także prowadzi do stworzenia całego systemu zarządzania projektowaniem, budową, utrzymaniem i doskonaleniem systemu CPS. Pod tym względem prezentowana metoda jest jedyną tak kompleksową i uniwersalną w skali światowej. W innych istniejących metodach projektowania i budowy systemów CPS często nie uwzględnia się także czynników związanych z bezpieczeństwem, eksploatacją i serwisem.

Wielu specjalistów na świecie dostrzega te problemy i choć powstało wiele prac naukowych w tym zakresie, cały czas nie istnieje jeden dominujący sposób opisu metody projektowania i budowy systemu CPS. Jest wprowadzone wiele różnych i różnego poziomu znanych metod wspomagających projektowanie – ale tak jak pokazano, metody te mogą być częściami opracowanej metody i mogą określać, jak można doskonalić prace w wybranych fazach tworzenia systemu CPS. Mimo że opracowana metoda sama w sobie pozwala na skuteczne i efektywne projektowanie i budowę systemów CPS, to może ona także być traktowana jako łącznik pomiędzy wszystkimi metodami – integruje wszystkie możliwe sposoby pracy nad projektem w jedno kompleksowe podejście do zarządzania projektowaniem i budową zadaniowo zorientowanych systemów CPS.

Jak już nieraz podkreślano opracowana metoda jest bardzo uniwersalna i może być stosowana do projektowania, budowy, zabezpieczania i doskonalenia nie tylko systemów CPS, lecz także IoT, IoE czy też SmartCity, SmartDom, SmartBudynek i wszystkich innych systemów bazujących na wykorzystaniu warstwy cybernetycznej. Jej powszechne wykorzystanie, dzięki mechanizmom zaproponowanej obiektywnej oceny oraz zastosowaniu zrozumiałego metajęzyka opisu działania, mogłoby doprowadzić do budowy potencjalnie komplementarnych modułów systemów CPS, z których w dowolny sposób można byłoby budować system CPS realizujący oczekiwane zadania przy uwzględnieniu danych wymagań. Opisana metoda mogłaby wypełnić lukę braku standardów, które pozwalałyby na zamienność podzespołów systemów CPS jak w technologii PnP (*Plug and Play*) w teleinformatyce. Potrzeby wykorzystania nowszej generacji podzespołów sprawiają, że teraz konieczne jest właściwie budowanie systemu CPS od nowa. Obecny brak tej komplementarności i zamienności podzespołów przejawia się tym, że systemy CPS są najczęściej ukierunkowane na realizację tylko określonej funkcjonalności, mimo że poszczególne podzespoły danego systemu mogłyby być wykorzystane także w innych systemach. Pokazano to przykładowo w rozdziale szóstym w oparciu o układ elektronicznego systemu CPS adaptacyjnego zawieszania pojazdu, który był także wykorzystywany w innych systemach CPS (po zmianie algorytmu sterowania).

Przedstawiona metoda projektowania i budowy zorientowanych zadaniowo systemów CPS, choć może wymagać dopracowania jeszcze w wielu aspektach, sprawdza się doskonale podczas realizacji projektów budowy systemów CPS o różnie zdefiniowanych zadaniach. W szczególności opracowana metoda zapewnia:

- zidentyfikowanie wymagań stawianych systemowi CPS – realizowane jest to poprzez zidentyfikowanie wymagań wszystkich interesariuszy oraz przekładanie ich

na zadania (funkcjonalności), które ma realizować system CPS. Dzięki temu możliwe jest opracowanie tzw. założeń techniczno-taktycznych projektowanego systemu CPS,

- stworzenia opisu formalnego, który wraz z postępowaniem prac projektowych może być stopniowo uszczegółowiany – zaproponowana metoda pozwala na opisywanie zadań, które ma realizować system CPS, w prosty i czytelny sposób za pomocą przepływów informacji (sygnałów) pomiędzy poszczególnymi działaniami. Zaproponowany opis formalny jest łatwy do modyfikacji i pozwala na uszczegółowianie w zależności od potrzeb i wiedzy projektantów. Wraz ze zmianami opisu formalnego możliwe jest zmienianie powiązań i przepływów sygnałów pomiędzy działaniami i zasobami w ramach procesu realizującego daną funkcjonalność. Pozwala to także na wyznaczenie relacji i zależności pomiędzy działaniami a zaplanowanym celem procesu odpowiedzialnego za daną funkcjonalność systemu CPS. Zidentyfikowanie celu procesu umożliwia wybór mierników do oceny stopnia jego osiągnięcia;
- stosunkowo prosty i zrozumiały dla inżynierów z różnych dziedzin opis formalny systemu CPS oraz prosta prezentacja zależności i przepływów sygnałów przetwarzanych przez poszczególne zasoby systemu CPS – poprzez stosowanie i budowanie relacji pomiędzy działaniami oraz sygnałami powstają schematy przepływów sygnałów, które są kluczowe dla inżynierów elektroniki oraz oprogramowania. Powiązanie działań oraz sygnałów z zasobami jest także wygodną formą opisu dla inżynierów mechaników, gdyż pokazuje, jakiego rodzaju podzespoły są zaangażowane w realizację danej funkcjonalności. Powstający w ten sposób opis jest także powiązany z ograniczeniami i wymaganiami kryjącymi się za danymi funkcjonalnościami, co jest ważne na etapie doboru wydajności (parametrów konstrukcyjnych) planowanych do użycia zasobów. Informacje uzyskiwane w ten sposób mogą być w dowolnym momencie uszczegółowiane według potrzeby i wiedzy w danej chwili;
- bliskie podobieństwo opisu formalnego do form opisu algorytmu działania systemu – stosowany prosty opis formalny określający powiązanie zasobów, działań i sygnałów przetwarzanych przez zasoby w danych działaniach jest odpowiednikiem algorytmu pracy oprogramowania systemu CPS. Odniesienie działań do osi czasu pozwala także na określenie następstwa lub równoległości podczas zdarzeń.

Umożliwia to na wykrywanie potencjalnych kolizji zdarzeń lub miejsc, w których różne zdarzenia muszą być agregowane w jedno kolejne;

- identyfikacja ograniczeń (tzw. wąskich gardeł) w działaniu systemu CPS – identyfikowanie zasobów biorących udział w przetwarzaniu sygnałów oraz odpowiedzialnych za realizację danego działania umożliwia przeprowadzenie analizy wydajności dobranych zasobów. W oparciu o wyniki takiej analizy możliwe jest wykrywanie ograniczeń przyjętej architektury systemu CPS – zarówno dotyczących wydajności zasobów, jak i dróg przepływów sygnałów;
- rozpatrywanie bezpieczeństwa systemu CPS w kategoriach poufności, dostępności (w pewnym sensie niezawodności) oraz integralności (poprawności przetwarzania sygnałów) – w ramach metody już na etapie projektowania wykorzystuje się analizę, której celem jest, w oparciu o zidentyfikowane zasoby i sygnały, ocena działania systemu CPS pod kątem możliwości utraty informacji ukrytej w sygnałach czy też integralności tych informacji. Brane pod uwagę są także aspekty możliwości zapewnienia poprawnej i niezaburzonej informacji w danym sygnale;
- identyfikację zagrożeń i podatności, które mogą wpływać na działanie i eksploatację komponentów oraz całego systemu CPS – zastosowanie analizy ryzyka w odniesieniu do zasobów oraz sygnałów wymusza działania mające na celu ocenę wykorzystywanych zasobów pod kątem wyżej wspomnianych aspektów bezpieczeństwa. W wyniku tej analizy jest się w stanie zidentyfikować zagrożenia, które mogą wpływać na poszczególne zasoby – a poprzez te zasoby na cały system CPS;
- oszacowanie wartości wykorzystywanych zasobów oraz stopnia ich wpływu (krytyczności) dla systemu CPS – opracowana metoda dzięki identyfikacji relacji pomiędzy zasobami, działaniami oraz sygnałami pozwala na wyznaczenie wartości zasobów poprzez stosowanie metod jakościowych (np. na podstawie wagi przetwarzanych sygnałów, które też mogą mieć przypisaną wartość) lub ilościowych (np. koszty zasobów),
- obiektywne szacowanie i ocena poziomu ryzyka poszczególnych komponentów systemu CPS oraz połączeń między nimi – metoda zapewnia narzędzie do analizy ryzyka dzięki wyznaczeniu wartości zasobów oraz identyfikacji zagrożeń i określeniu prawdopodobieństwa ich wystąpienia – w oparciu o to jest szacowane

ryzyko. Wyznacza się je w sposób możliwie obiektywny i zapewnia szansę uzyskania powtarzalnych wyników;

- obiektywny i efektywny dobór zabezpieczeń oraz miejsca ich lokalizacji w systemie CPS – metoda wymaga tego, aby po oszacowaniu ryzyka opracować plan postępowania z nim. Poprzez wyznaczenie ryzyka możliwe jest określenie jego priorytetów oraz opracowanie planów postępowania odnoszących się do jego najwyższego stopnia. Dzięki temu możliwe jest stosowanie jej w miejscach, które zostały wyznaczone w oparciu o obiektywną metodę oceny ryzyka;
- zarządzanie bezpieczeństwem systemu CPS począwszy od fazy jego projektowania, a skończywszy na eksploatacji – w metodzie postanowiono położyć szczególny nacisk na aspekt bezpieczeństwa systemów CPS i dlatego też zapewniono możliwość realizacji analizy ryzyka w dowolnej fazie tworzenia systemu CPS. Dzięki temu nawet potencjalne zmiany realizowane w ramach doskonalenia mogą być wcześniej oceniane pod względem ryzyka;
- określenie wymagań oraz sposobów monitorowania i oceny poprawności działania zbudowanego systemu CPS – kluczowym elementem metody jest monitorowanie, którego wyniki umożliwiają podejmowanie działań doskonalących. Dlatego też metoda oczekuje dobrania mierników pozwalających na ocenę, czy dane funkcjonalności są realizowane w sposób skuteczny, czy też nie. Takich mierników może być wiele, a metoda proponuje taki ich dobór, aby mogły być powiązane np. z wydajnością, niezawodnością czy też kosztami utrzymania;
- określenie i wymuszenie istnienia mechanizmów do dalszego doskonalenia systemu CPS – bardzo ważnym elementem metody projektowania i budowy systemów CPS jest doskonalenie, które powinno być dokonywane w oparciu o pomiary przyjętych mierników służących do oceny stopnia realizacji ustanowionych celów systemu CPS. W ten sposób doskonalenie oparte jest na obiektywnych przesłankach i może być podejmowane w racjonalny sposób;
- zarządzanie procesem projektowania i budowy systemu CPS – metoda zapewnia znacznie więcej niż tylko podział na fazy, zaproponowanie formalnego opisu czy też zaadaptowanie mechanizmu analizy ryzyka. Zaproponowana metoda właściwie wymusza wdrożenie systemu zarządzania cyklem życia systemu CPS na różnych etapach. Każde z działań realizowane podczas tworzenia systemu CPS może być doskonalone w oparciu o obiektywne przesłanki. W ten sposób możliwe jest nie tylko

zbudowanie jednego skutecznie i efektywnie działającego systemu CPS, lecz także wdrożenie procedur produkcji takich systemów w sposób kontrolowany i w pełni dojrzały.

Metoda projektowania i budowy zadaniowo zorientowanego systemu CPS jest pierwszą próbą stworzenia i sformułowania meta języka opisującego zglobalizowane systemy mechatroniczne, wykorzystujące pojęcia Internetu Rzeczy, SMART, permanentny, globalny monitoring on-line oraz wybraną aplikację mechatroniczną, zanurzoną w samokontrolującym się środowisku. Taki uniwersalny opis ułatwi rozwój meta narzędzi do analizy odległych od siebie zastosowań, które zaczynają być realizowane na naszych oczach.

Opracowana metoda nie ustępuje innym, a właściwie integruje większość z nich poprzez poszczególne fazy oraz pokazuje, jak te metody mogą być między sobą powiązane, aby stworzyć skutecznie i efektywnie działający system CPS. Podjęte zadanie stworzenia metody projektowania systemów CPS jest o tyle ważne, że w niektórych krajach w jej opracowanie zostały zaangażowane już instytucje lub organizacje rządowe, np. NIST – National Institute of Standards and Technology w USA oraz NSF – National Science Foundation w USA, które już kilka lat temu uruchomiły narodowe celowe programy badawcze.

W monografii dokonano także przeglądu zastosowania rozmaitych autorskich systemów CPS w inżynierii transportowej np. systemy zawieszenia pojazdów, systemy napędu hybrydowego oraz systemy stabilizacji dynamicznej. Istotnym wyróżnikiem diskutowanych systemów jest ich adaptacyjność, rozumiana jako zdolność dostosowania do zmiennych wymuszeń środowiskowych, bez dodawania do układu energii mechanicznej. Sterowane on-line aktywatory modyfikują jedynie własności mechaniczne np. tłumików, a nie wymuszają w systemie sił reaktywnych. Rozumiane w ten sposób systemy adaptacyjne mogą być traktowane w przybliżeniu jako zero-energetyczne: tłumiące drgania wymuszone i dyssypujące wymuszoną energię udaru.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych (artystycznych).

5.1.Charakterystyka dorobku naukowego publikacyjnego

a) Rozdziały z książek:

- [1] Grzesikiewicz W., Knap L., Makowski M.: Matematyczny opis napędu i hamowania pojazdu elektrycznego, w: Polioptymalizacja i Komputerowe Wspomaganie

Projektowania. Mielno 2014 / Kiczowski Tomasz (red.), nr 278, 2014, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, ISBN 978-83-7365-358-0, s. 50–70

- [2] Knap L., Makowski M.: Nowe metody w diagnostyce uszkodzeń półaktywnych i aktywnych zawiesznień pojazdów, w: Wykorzystanie wieloźródłowej informacji w proaktywnej strategii eksploatacji, 2012/ Dybała Jacek (red.), Radkowski Stanisław (red.):, Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – Państwowego Instytutu Badawczego, ISBN 978-83-7789-035-6, s. 65–76.

b) Czasopisma znajdujące się w bazie Journal Citation Reports (JCR):

- [3] Grzesikiewicz W., Knap L., Makowski M., Pokorki J.: Study of the Energy Conversion Process in the Electro-Hydrostatic Drive of a Vehicle. *Energies* 2018, 11(2), 348; doi: 10.3390/en11020348 (IF 2,26 (2018); 25 pkt MNiSW).
- [4] Faraj R., Holnicki-Szulc J., Knap L., Seńko J.: Adaptive inertial shock-absorber , w: *Smart Materials & Structures*, vol. 25, nr 3, 2016, s. 1–9, DOI:10.1088/0964-1726/25/3/035031 (IF 2,91 (2016); 40 pkt MNiSW).
- [5] Makowski M., Knap L.: Reduction of wheel force variations with magnetorheological devices, w: *Journal of Vibration and Control*, vol. 20(10), 2014, s. 1552–1564, DOI:10.1177/1077546312472916 (2013) (IF 4,36 (2013); 45 pkt MNiSW).
- [6] Holnicki-Szulc J., Knap L.: Adaptive crashworthiness concept, w: *International Journal of Impact Engineering*, vol. 30, nr 6, 2004, s. 639–663, DOI:10.1016/j.ijimpeng.2003.08.004 (IF 0,59; 35 pkt MNiSW)

c) Czasopisma inne oraz publikacje konferencyjne:

- [7] Faraj R., Graczykowski C., Holnicki-Szulc J., Knap L., Seńko J., Adaptable pneumatic shock-absorber, SMART 2017, 8th Conference on Smart Structures and Materials, 2017-06-05/06-08, Madrid (ES), s. 86–82 (15 pkt MNiSW)
- [8] Mikułowski G., Suwała G., Knap L., Holnicki-Szulc J., Adaptive techniques for suppression of forced vibrations, SMART 2017, 8th Conference on Smart Structures and Materials, 2017-06-05/06-08, Madrid (ES), s. 166–175 (15 pkt MNiSW).
- [9] Grzesikiewicz W., Knap L., Makowski M., Pokorski J.: BADANIA DOŚWIADCZALNE HYBRYDOWEGO NAPĘDU ELEKTRO-HYDROSTATYCZNEGO, w: *Modelowanie Inżynierskie*, vol. 28, nr 59, 2016, s. 19–25 (8 pkt MNiSW).

- [10] Grzesikiewicz W., Knap L., Makowski M., Pokorski J.: Badania hybrydowego napędu elektryczno-hydrostatycznego, w: *Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, nr 12, 2016, s. 177–180 (7 pkt MNiSW).
- [11] Faraj R., Holnicki-Szulc J., Knap L., Seńko J.: Mitigation of the structure response based on inertial shock-absorber, 2016, s. 1–6, 6th European Conference on Structural Control 2016.
- [12] Suwała G., Knap L., Holnicki-Szulc J.: Prestressing for local isolation of forced vibrations, 2016. s. 1–6, 6th European Conference on Structural Control 2016.
- [13] Grzesikiewicz W., Knap L., Makowski M., Pokorski J.: SYMULACYJNE BADANIA HYBRYDOWEGO NAPĘDU ELEKTRYCZNO-HYDROSTATYCZNEGO, w: *Modelowanie Inżynierskie*, vol. 27, nr 58, 2016, s. 37–43 (8 pkt MNiSW).
- [14] Makowski M., Knap L., Gałęzia A., Jasiński M.: AN INVESTIGATION OF ACOUSTIC NOISE GENERATED BY WATER FLOWING THROUGH NOZZLES, w: *Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów*, vol. 109, nr 5, 2016, s. 59–67 (8 pkt MNiSW).
- [15] Suwała Gr., Knap L., Holnicki-Szulc J.: PRESTRESSING FOR REDUCTION OF LOCAL VIBRATIONS IN A ROTORCRAFT, w: *Engineering Transactions (Rozprawy inżynierskie)*, vol. 64, nr 3, 2016, s. 367–380 (15 pkt MNiSW).
- [16] Biskup K., Knap L., Zieliński Ł.: Wykrywanie ingerencji w system przeciwwkradzieżowy pojazdów, w: *Logistyka: czasopismo dla profesjonalistów*, vol. 3/2015, 2015, s. 438–443.
- [17] Grzesikiewicz W., Knap L., Makowski M., Pokorski J.: Dobór regulatora PID do hydrostatycznego napędu pojazdu, w: *Logistyka: czasopismo dla profesjonalistów*, nr 3/2015, 2015, s. 1686–1695.
- [18] Grzesikiewicz W., Knap L., Makowski M., Pokorski J.: Identyfikacja charakterystyk stanowiska laboratoryjnego do badania hybrydowego napędu elektryczno-hydrostatycznego, w: *Logistyka: czasopismo dla profesjonalistów*, vol. 3/2015, 2015, s. 1696–1705.
- [19] Grzesikiewicz W., Knap L., Makowski M.: STUDIUM ENERGETYCZNE HYDROSTATYCZNEGO NAPĘDU AKUMULATOROWEGO, w: *TTS Technika Transportu Szynowego*, vol. 19, nr 12, 2015, s. 1235–1238 (5 pkt MNiSW).
- [20] Makowski M., Grzesikiewicz W., Knap L., Pokorski J.: Analiza doboru układu regulacji do elektrycznego napędu pojazdu, w: *TTS Technika Transportu Szynowego*, nr 12/2015, 2015, s. 1006–1010 (5 pkt MNiSW).

- [21] Makowski M., Grzesikiewicz W., Knap L., Pokorski J.: Badania numeryczne elektrycznego układu napędowego pojazdu, w: TTS Technika Transportu Szynowego, nr 12/2015, 2015, s. 1011–1015 (5 pkt MNiSW).
- [22] Grzesikiewicz W., Knap L., Makowski M., Pokorski J.: Symulacyjne badanie ruchu pojazdu z napędem hydrostatycznym, w: Logistyka: czasopismo dla profesjonalistów, nr 4, 2014, s. 387–395 (10 pkt MNiSW).
- [23] Knap L., Makowski M., Grzesikiewicz W.: Badania doświadczalne właściwości akumulatora hydropneumatycznego, w: Logistyka: czasopismo dla profesjonalistów, vol. 3/2014, 2014, s. 2992–3001 (10 pkt MNiSW).
- [24] Makowski M., Knap L., Grzesikiewicz W.: Eksperymentalne badania elementów napędu elektro-hydrostatycznego – akumulator hydropneumatyczny, w: Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów, nr 3(99)/2014, 2014, s. 67–78 (8 pkt MNiSW).
- [25] Dybała J., Knap L., Makowski M. [i in.]: Badania wpływu zmiany temperatury na właściwości sterowanego tłumika piezoelektrycznego, w: Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów, vol. 2, nr 93, 2013, s. 67–78 (8 pkt MNiSW).
- [26] Grzesikiewicz W., Knap L., Makowski M.: Matematyczny model napędu elektryczno-hydrostatycznego, w: TTS Technika Transportu Szynowego, vol. 20, nr 10, 2013, ss. 887–894 (5 pkt MNiSW).
- [27] Makowski M., Knap L.: Badania sterowanych tłumików elektreologicznych stosowanych do redukcji drgań układów mechanicznych, w: TTS Technika Transportu Szynowego, nr 10/2013, 2013, s. 2755–2762 (5 pkt MNiSW).
- [28] Makowski M., Knap L.: Numeryczne badania drgań konstrukcji budowlanych ze sterowanymi tłumikami, w: TTS Technika Transportu Szynowego, nr 10, 2013, s. 2755–2762 (5 pkt MNiSW).
- [29] Grzesikiewicz W., Knap L., Makowski M.: BADANIA ORAZ MODELOWANIE WŁAŚCIWOŚCI STEROWANEGO TŁUMIKA PIEZOELEKTRYCZNEGO, w: TTS Technika Transportu Szynowego, nr 9/2012, 2012, s. 1243–1452 (4 pkt MNiSW).
- [30] Grzesikiewicz W., Knap L., Makowski M.: STUDIUM ENERGETYCZNE HYDROSTATYCZNEGO NAPĘDU AKUMULATOROWEGO, w: TTS Technika Transportu Szynowego, nr 9/2012, 2012, s. 1235–1242 (4 pkt MNiSW).
- [31] Grzesikiewicz W., Knap L., Makowski M.: SYMULACYJNE BADANIA NAPĘDU HYDROSTATYCZNEGO, w: TTS Technika Transportu Szynowego, nr 9/2012, 2012, s. 1243–1452 (4 pkt MNiSW).

- [32] Knap L., Mydlowski T., Dybała J., Makowski M.: Badanie właściwości sterowanego tłumika piezoelektrycznego, w: *Measurement Automation Monitoring*, nr 10/2012, 2012, s. 879–882 (7 pkt MNiSW)
- [33] Knap L., Makowski M., Grzesikiewicz W.: Identyfikacja uszkodzeń półaktywnego zawieszenia pojazdu, w: *Logistyka*, nr 3/2012, 2012, s. 1049–1056 (4 pkt MNiSW).
- [34] Makowski M., Grzesikiewicz W., Knap L.: Identyfikacja parametrów sterowanych tłumików MR I PZ, w: *Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów / Politechnika Warszawska*, nr 3/2012, 2012, s. 89–100 (4 pkt MNiSW).
- [35] Makowski M., Grzesikiewicz W., Knap L.: Koncepcja stanowiska do badań wpływu sterowania tłumikami na drgania układu mechanicznego, w: *TTS Technika Transportu Szynowego*, nr 9/2012, 2012, s. 3335–3342 (4 pkt MNiSW).
- [36] Makowski M., Knap L., Grzesikiewicz W.: Badania ograniczania zmian nacisku kół pojazdu z tłumikami magnetoreologicznymi, w: *Modelowanie Inżynierskie*, vol. 10, nr 41, 2011, s. 251–260 (4 pkt MNiSW).
- [37] Makowski M., Knap L., Grzesikiewicz W.: Identyfikacja parametrów sterowanego tłumika piezoelektrycznego, w: *Logistyka*, nr 6, 2011, s. 2419–2428 (4 pkt MNiSW).
- [38] Makowski M., Knap L., Grzesikiewicz W.: Modelowanie i identyfikacja parametrów sterowanych tłumików magnetoreologicznych, w: *Modelowanie Inżynierskie*, vol. 10, nr 41, 2011, s. 261–269 (4 pkt MNiSW).
- [39] Makowski M., Knap L., Grzesikiewicz W.: REDUCTION OF VEHICLE BODY VIBRATIONS WITH PIEZOELECTRIC DAMPERS, w: *Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów / Politechnika Warszawska*, nr 5, 2011, s. 95–102 (4 pkt MNiSW).
- [40] Makowski M., Knap L., Grzesikiewicz W.: Vibration investigation of vehicle equipped with controlled piezoelectric dampers, w: *Journal of KONES*, vol. 18, nr 4, 2011, ss. 251-257 (7 pkt MNiSW)
- [41] Knap L., Grzesikiewicz W., Makowski M.: Modeling and Experimental Studies of Controlled Torsional Magnetorheological Damper, w: *Machine Dynamics Research*, vol. 34, nr 2, 2010, s. 70–77 (4 pkt MNiSW).
- [42] Makowski M., Grzesikiewicz W., Knap L.: Badania drgań pojazdu ze sterowanymi tłumikami piezoelektrycznymi, w: *Logistyka*, nr 6, 2010, s. 2111–2118 (4 pkt MNiSW).
- [43] Makowski M., Grzesikiewicz W., Knap L.: Ograniczenie drgań pojazdu za pomocą sterowanych tłumików piezoelektrycznych, w: *Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów / Politechnika Warszawska*, vol. 3, nr 79, 2010, s. 75–82 (4 pkt MNiSW).

- [44] Knap L., Grzesikiewicz W., Makowski M.: Experimental studies and modeling of mechanical systems with controlled torsional magneto-rheological damper. *Logistyka* 6/2009. ISSN 1231-5478 (4 pkt MNiSW)
- [45] Knap L., Grzesikiewicz W., Makowski M.: Modelowanie i badania właściwości magnetoreologicznego tłumika drgań skrętnych. *Logistyka*, nr 6/2008, s. 179-185.
- [46] Makowski M., Grzesikiewicz W., Knap L.: Symulacyjne badania drgań pojazdu z tłumikami magnetoreologicznymi. *Symulacja w badaniach i rozwoju*, Materiały konferencyjne XV Warsztatów Naukowych Polskiego Towarzystwa Symulacji Komputerowej, Zakopane 2008, s. 232-239.
- [47] Makowski M., Grzesikiewicz W., Knap L.: Symulacyjne badania drgań pojazdu z tłumikami piezoelektrycznymi. *Symulacja w badaniach i rozwoju*, Kraków, luty 2008, s. 261-268.
- [48] Makowski M., Grzesikiewicz W., Knap L.: Model układu sterowania tłumików drgań pojazdów. XI Międzynarodowa Konferencja „Komputerowe Systemy Wspomagania Nauki, Przemysłu i Transportu”, *TransComp 2007*, Vol. 2, Zakopane 3-6 December 2007 Poland, s. 21-26.
- [49] Makowski M., Knap L., Grzesikiewicz W., Pokorski J.: Badanie możliwości ograniczenia drgań pojazdu przy użyciu sterowanych amortyzatorów magneto-reologicznych. *Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów*, 3(62)/2006, Warszawa 2006, s. 33-54.
- [50] Makowski M., Knap L., Grzesikiewicz W., Pokorski J.: Modelowanie i badania drgań sterowanego układu z tłumikiem magnetoreologicznym. *Poliptymalizacja i Komputerowe Wspomaganie Projektowania*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2006, s. 145-152.
- [51] Makowski M., Knap L., Grzesikiewicz W., Pokorski J.: Steuermöglichkeiten eines schwingungssystems mit magnetorheologischen dämpfer (MR). *Development Trends in Design of Machines and Vehicles*, *ZN Instytutu Pojazdów*, 4(63)/2006, Warszawa 2006, s. 73-80.
- [52] Makowski M., Knap L., Pokorski J.: Badania i modelowanie drgań układu wyposażonego w sterowany tłumik magnetoreologiczny. *Modelowanie Inżynierskie*, Tom 1, Nr 32, Gliwice 2006, s. 361-368.
- [53] Sekula K., Holnicki-Szulc J., Knap L.: New Sensor System for Monitoring of Traffic Load, *Proc. of the 2nd European Workshop on Structural Health Monitoring*, July 7-9, Munich, Germany, 2004

d) Patenty:

[54] Knap L., Makowski M.: Sonda drogowa, Wynalazek, Zaakceptowany, Numer zgłoszenia: P-401084, Numer patentu/prawa: ZRPat/2161/17, Data zgłoszenia: 07-10-2012, Data udzielenia (decyzji): 10-07-2017.

e) Raporty z projektów badawczych:

[55] Knap L., Grzesikiewicz W., Makowski M. i Pokorski J. (2013). Wykorzystanie technologii materiałów piezoelektrycznych w aktywnej kontroli drgań pojazdu. Załącznik 3 do raportu z realizacji projektu NN509403036. Warszawa: Politechnika Warszawska, Instytut Pojazdów.

[56] Knap L., Grzesikiewicz W., Lasota W., Makowski M. i Pokorski J. (2005). Badania możliwości ograniczenia drgań pojazdu przy użyciu sterowanych amortyzatorów.. Załącznik do raportu z realizacji projektu 5T12C041/24. Warszawa: Politechnika Warszawska, Instytut Pojazdów.

f) Opis zagadnień naukowych poruszanych w publikacjach:

W ramach wymienionych w tej części publikacji znaczny nacisk położono na projektowanie, budowę oraz badania doświadczalne i numeryczne mające na celu opracowanie wybranego typu sensorów, aktywatorów przeznaczonych do stosowania głównie w systemach wibroizolacji. W wyniku prowadzonych prac badawczych realizowanych zespołowo lub samodzielnie uzyskano wiele typów aktywatorów o dobrych lub bardzo dobrych parametrach użytkowych:

- opracowano sensor „Sonda drogowa” pozwalający na dynamiczny pomiar wagi przejeżdżających pojazdów – zagadnienia te omówiono w pracy [53] i [54];
- opracowano projekt i stworzono konstrukcję lub przebadano kilka typów tłumików i amortyzatorów magnetoreologicznych oraz hamulca magnetoreologicznego, z których jeden zabudowano w zawieszeniu rzeczywistego pojazdu – zagadnienia związane z tą tematyką zostały przedstawione w pracach [34], [36], [38], [41], [44-46], [49-52], [56];
- przeprowadzono badania doświadczalne tłumików elektromagnetycznych – zagadnienia te omówiono w pracy [27];

- opracowano projekt i zbudowano konstrukcję kilku zaworów sterowanych elementem piezoelektrycznym przeznaczonym do tłumików gazowych oraz tłumików hydraulicznych – zagadnienia te omówiono w pracy [25], [29], [32], [37], [42-43];
- opracowano projekt i zbudowano konstrukcję tłumika i amortyzatora z zaworem piezoelektrycznym. Amortyzator piezoelektryczny zabudowano w zawieszeniu rzeczywistego pojazdu – zagadnienia te omówiono w pracy [55];
- opracowano projekt i zbudowano modele 3D tłumików zarządzających przepływem dyssypowanej energii np. SpinMan i SpinMiX oraz innych tłumików pasywnych – zagadnienia te przedstawiono w pracy [4], [7], [11];
- opracowano projekt i zbudowano dysze natryskowe o obniżonej emisji akustycznej – zagadnienia te przedstawiono w pracy [14];
- przeprowadzono badania doświadczalne i zidentyfikowano modele wraz z parametrami wyżej wymienionych sensorów oraz aktywatorów – zagadnienia te omówiono w pracy [1], [3], [5], [9], [13], [15], [17], [19-22], [26], [28], [30-31], [34], [36], [39], [48];
- w celu realizacji badań doświadczalnych zaprojektowano i zbudowano szereg stanowisk badawczych pozwalających na badania właściwości wspomnianych rozwiązań lub badania innych zjawisk fizycznych – zagadnienia te omówiono w pracy [8], [9], [12], [18], [23-24], [35].

Druga część publikacji związana była z zaprezentowaniem wyników badań mających na celu zbudowanie całych systemów CPS, które miały za zadanie ograniczanie drgań w konstrukcji lub ograniczanie zużycia energii. Część z tych systemów została zaprojektowana i zbudowana, a część opracowano jedynie koncepcyjnie. W wyniku prowadzonych zespołowo prac stworzono:

- system CPS adaptacyjnego zawieszenia pojazdu dostawczego oraz terenowego z tłumikami magnetoreologicznymi - zagadnienia te omówiono w pracy [5], [28], [36], [44], [48], [50], [56];
- system CPS adaptacyjnego zawieszenia pojazdu dostawczego z tłumikami piezoelektrycznymi – zagadnienia te omówiono w pracy [39-40], [42-43], [47], [55];
- system CPS hybrydowego napędu elektryczno-hydrostatycznego – zagadnienia te omówiono w pracy [1], [3], [9-10], [13], [17-19], [22], [29-30];
- koncepcję systemu CPS ochrony konstrukcji przed zewnętrznymi obciążeniami dynamicznymi – zagadnienia te omówiono w pracy [4], [6], [7];

- koncepcję systemu CPS ochrony konstrukcji przed drganiami z częstotliwościami zbliżonymi do częstotliwości drgań własnych – zagadnienia te omówiono w pracy [8], [13];
- metodę identyfikowania uszkodzeń lub nieuprawnionej ingerencji w bezpieczeństwo systemu CPS pojazdu – zagadnienia te przedstawiono w pracy [2], [16], [33].

Opracowane konstrukcje przeważnie charakteryzują się dobrymi parametrami użytkowymi. Przykładowo w przypadku zawiesznień adaptacyjnych uzyskano bardzo dobre rezultaty z wykorzystaniem amortyzatorów z zaworem piezoelektrycznym. Trochę gorsze rezultaty uzyskano z wykorzystaniem amortyzatorów magnetoreologicznych. Zupełnie unikalnym w skali światowej i nowatorskim rozwiązaniem było opracowanie wspomagania hydrostatycznego podczas ruszania i hamowania do pojazdów z napędem elektrycznym. Uzyskane rezultaty wskazują, że możliwe jest zwiększenie zasięgu pojazdu elektrycznego poruszającego się w mieście nawet do ok. 40% przy równoczesnym znacznym odciążeniu prądowym układu elektrycznego (tj. akumulatora, silnika oraz przewodów).

Uzyskane wyniki badań doskonale uzupełniają te wyniki, które przedstawiono w monografii, związane z metodą projektowania i budowy zadaniowo zorientowanych systemów CPS. Badane rozwiązania pokazują też, jak wybrane elementy metody mogą być wykorzystane do budowy efektywnie i skutecznie działających aktywatorów oraz całych systemów CPS. Razem z opisaną poprzednio metodą uzupełniają się, tworząc jednolitą całość w formie gotowej do stosowania.

5.2.Zestawienie dorobku naukowego:

Liczba publikacji (po doktoracie):

- Monografie: 1
- Rozdziały w monografiach: 2
- Publikacje w czasopismach z listy JCR: 4
- Publikacje w czasopismach WoS: 2
- Publikacje w czasopismach na liście B: 31
- Publikacje w materiałach konferencyjnych zagranicznych i krajowych: 14
- Łączna liczba publikacji (po doktoracie): 54

Statystyki:

- Sumaryczna wartość Impact Factor: 10,12
Publikacja [3] – rok publikacji elektronicznej 2018 – IF 2,26
Publikacja [4] – rok publikacji elektronicznej 2016 – IF 2,91

Publikacja [5] – rok publikacji elektronicznej 2013 – IF 4,36

Publikacja [6] – rok publikacji 2004 – IF 0,59

- Liczba cytowań oraz indeks Hirscha wg. bazy Web of Science (w oparciu o opcję *Cited Reference Search*)
 - Liczba cytowań: 37
 - Liczba cytowań (bez autocytowań): 33
 - H-index: 4

- Liczba cytowań oraz indeks Hirscha wg. bazy Google Scholar (na podstawie *Publish or Perish v6*):
 - Liczba cytowań: 156
 - Liczba cytowań (bez autocytowań): brak danych
 - H-index: 6

5.3. Udział w projektach badawczych

a) Projekty realizowane w roli kierownika projektu:

- [1] Wykorzystanie technologii materiałów piezoelektrycznych w aktywnej kontroli drgań pojazdów. Projekt badawczy MNiSW N N 509 40 30 36, 2009 – 2012.
- [2] Badanie własności hamulców magnetoreologicznych. Praca statutowa 504/G/1153/4990-2007.
- [3] Badania możliwości ograniczenia drgań pojazdu przy użyciu sterowanych amortyzatorów. Projekt badawczy KBN-5T12C 041 24, 2003-2006.

b) Projekty realizowane w roli wykonawcy

- [4] Zastosowanie koncepcji AIA (Adaptive Impact Absorption) w inżynierii lotniczej i kosmicznej AIA-Aero. Projekt badawczy TANGO2/341494/NCBR/2017, 2017-2019.
- [5] ADBAG – Adaptacyjne poduszki awaryjnego lądowania dla bezzałogowych statków powietrznych. Projekt badawczy POIR.01.02.00-00-0083/16, 2017-2019.
- [6] Autonomiczny robot polowy do siewu i pielęgnacji upraw szerokorzędowych. Projekt badawczy PBS3/B9/32/2015, 2015 - 2018.
- [7] Technologie autonomicznej rekonfiguracji materiałów w pojazdach. Projekt badawczy PBS3/A9/30/2015, 2015 – 2018.
- [8] Aktywny system tłumienia drgań pojazdu, Projekt badawczy PBS3/B6/34/2015, 2015–2018.

- [9] Poprawa jakości życia człowieka przez zmniejszenie drgań i hałasu sprzętu gospodarstwa domowego, Projekt badawczy NCBiR PBS2/B6/20/2013, 2013 – 2015.
- [10] Adaptacyjna absorbcja udaru AIA (Adaptive Impact Absorption), Projekt badawczy 2012/05/B/ST8/02971, 2012-2015.
- [11] Badania napędów elektryczno-hydraulicznych z odzyskiem energii hamowania. Projekt badawczy NCN 2011/01/B/ST8/06822, 2011-2013.
- [12] Redukcja drgań maszyn i konstrukcji budowlanych za pomocą sterowanych dyssypatorów. Projekt badawczy MNiSW N N 502 1492 39, 2010 – 2013.
- [13] Badanie wpływu sterowania systemów w zawieszeniu wojskowego pojazdu patrolowego na bezpieczeństwo jazdy. Projekt badawczy MNiSW O N 509 0027 35, 2008 – 2012.
- [14] Badanie własności modelu aktywno-adaptacyjnego pojazdu. Praca statutowa 504/G/1153/5990-2008.
- [15] Badanie wpływu sterowania tłumikiem magneto-reologicznym w zawieszeniu pojazdu samochodowego na komfort jazdy. Projekt badawczy MNiSW N 509 023 31/1373, 2007-2009.
- [16] UPWIND - Integrated wind turbine design. 6th RTD Framework Programme. European Commission, 2006-2011.
- [17] ADLAND Adaptive Landing Gears for Improved Impact Absorption. 6th RTD Framework Programme. European Commission, FP6-AERO-1.1 - Strengthening competitiveness, 2003-2006.

Opis projektów:

W ramach projektów badawczych realizowano wiele prac doświadczalnych jak i symulacji numerycznych dotyczących opracowania semi-aktywnych systemów wibroizolacji, adaptacyjnych systemów ograniczania drgań konstrukcji, zawiesznień pojazdów, napędów elektrycznych, napędów hydrostatycznych, napędów hybrydowych, platform mobilnych i autonomicznych, platform latających wysokich pułapów. Wyniki realizowanych prac były publikowane w wyżej wymienionych publikacjach lub raportach z projektów.

W ramach projektów zbudowano ponad 20 stanowisk badawczych zarówno dla Politechniki Warszawskiej, Politechniki Rzeszowskiej, Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN jak i podmiotów gospodarczych np. Adaptronica Sp. z o.o, Bogart Sp. z o.o.

5.4. Nagrody dotyczące działalności naukowej:

- [1] Nagroda zespołowa I stopnia JM Rektora PW za osiągnięcia naukowe w roku 2012, 2013.
- [2] Nagroda zespołowa III stopnia JM Rektora Politechniki Warszawskiej za osiągnięcia naukowe w latach 2011, 2012.



Lech Knap