

dr inż. Piotr Grzybowski
Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza
Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa

2025

Autoreferat

ZAŁĄCZNIK III DO WNIOSKU

1. Imię i nazwisko

Piotr Grzybowski

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

Uzyskałem stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn nadany przez Radę Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej w 2015 r. Tytuł mojej rozprawy doktorskiej to:

„Heurystyczne prawa sterowania wspomagające pilotaż mikrosamolotu” [Załącznik V]

Uzyskałem dyplom magistra inżyniera na kierunku Mechanika i Budowa Maszyn, na specjalności Lotnictwo (kierunek dyplomowania: awionika) na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej w 2007r.

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych

2016 - obecnie; Politechnika Rzeszowska, umowa o pracę na stanowisku adiunkta w grupie pracowników badawczo-dydaktycznych w wymiarze pełnego etatu, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Awioniki i Sterowania,

2015 - 2016 - Politechnika Rzeszowska, umowa o pracę na stanowisku asystenta w wymiarze pełnego etatu, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Awioniki i Sterowania,

2011 - 2015; Politechnika Rzeszowska, umowa o pracę na stanowisku asystenta w wymiarze pełnego etatu, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Awioniki i Sterowania,

2010 - 2011; Politechnika Rzeszowska, umowa o pracę na stanowisku asystenta w wymiarze 3/4 etatu, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Awioniki i Sterowania,

2009 - 2010; Politechnika Rzeszowska, umowa o pracę na stanowisku asystenta w wymiarze 2/3 etatu, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Awioniki i Sterowania,

2008 - 2009; Politechnika Rzeszowska, umowa o pracę na stanowisku asystenta w wymiarze 1/3 etatu, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Awioniki i Sterowania.

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.)

Jako osiągnięcia naukowe wynikające z art. 219 ust. 1 pkt 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm.), i stanowiące podstawę ubiegania się o uzyskanie stopnia naukowego doktora habilitowanego (zgodnie z art. 219 ust. 1 pkt 2b Ustawy), wskazuję cykl powiązanych tematycznie 10 artykułów naukowych zatytułowany: „**Zaawansowane systemy poprawy bezpieczeństwa w lotnictwie**”, który składa się z następujących publikacji:

- [A1] G. Kopecki, P. Rzucidło, P. Grzybowski, D. Kordos, 'A family of universal miniature autopilots – design solutions, characteristics, hardware/software-in-the-loop simulations', AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference, 2016, p. 3220. (artykuł – Załącznik A1, oświadczenia współautorów o wkładzie habilitanta w pracę – Załącznik W1)
- [A2] P. Grzybowski, M. Klimczuk, P. Rzucidło, 'Distributed measurement system based on CAN data bus', Aircraft Engineering and Aerospace Technology, vol. 90, no. 8, pp. 1249–1258, 2018. (IF=0.924) (artykuł – Załącznik A2, oświadczenia współautorów o wkładzie habilitanta w pracę – Załącznik W2)
- [A3] P. Grzybowski, E. Szpakowska-Peas, 'Flight reconfiguration system – an emergency system of the future', Aircraft Engineering and Aerospace Technology, vol. 92, no. 9, pp. 1393–1399, 2020. (IF=0.975) (artykuł – Załącznik A3, oświadczenie współautora o wkładzie habilitanta w pracę – Załącznik W3)
- [A4] V. Di Vito, J. Beran, T. Kabrt, P. Grzybowski, T. Rogalski, P. Masłowski, M. Montesarchio, 'Flight management enabling technologies for single pilot operations in Small Air Transport vehicles in the COAST project', IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., vol. 1024, no. 1, 012089, 2021. (IF=0.5) (artykuł – Załącznik A4, oświadczenia współautorów o wkładzie habilitanta w pracę – Załącznik W4)
- [A5] V. Di Vito, P. Grzybowski, T. Rogalski, P. Masłowski, 'A concept for an Integrated Mission Management System for Small Air Transport vehicles in the COAST project', IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., vol. 1024, no. 1, 012087, 2021. (IF=0.5) (artykuł – Załącznik A5, oświadczenia współautorów o wkładzie habilitanta w pracę – Załącznik W5)
- [A6] V. Di Vito, P. Grzybowski, T. Rogalski, P. Masłowski, 'Design advancements for an integrated mission management system for small air transport vehicles in the COAST project', Aircraft Engineering and Aerospace Technology, vol. 94, no. 9, pp. 1508–1516, 2022. (IF=1.5) (artykuł – Załącznik A6, oświadczenia współautorów o wkładzie habilitanta w pracę – Załącznik W6)
- [A7] J. Lucky, V. Di Vito, J. Beran, T. Kabrt, T. Vaispacher, L. Korenciak, M. Dobes, P. Grzybowski, P. Masłowski, 'Synergy in future avionics: an overview of multiple technologies for small air traffic segment in the COAST project', J. Phys.: Conf. Ser., vol. 2716, no. 1, 012047, 2024. (IF=0.56) (artykuł – Załącznik A7, oświadczenia współautorów o wkładzie habilitanta w pracę – Załącznik W7)
- [A8] G. Drupka, P. Grzybowski, P. Szczerba, L. Bichajło, 'Examination of the influence of the integrated mission management system on the pilot's situational awareness', Aircraft Engineering and Aerospace Technology, vol. 97, no. 1, pp. 52–69, 2025. (IF=1.3 w 2024) (artykuł – Załącznik A8, oświadczenia współautorów o wkładzie habilitanta w pracę – Załącznik W8)
- [A9] P. Grzybowski, K. Ziółkowski, 'In-flight testing of the integrated mission management system', Aircraft Engineering and Aerospace Technology, vol. 97, no. 1, pp. 13–27, 2025. (IF=1.3 – w 2024) (artykuł – Załącznik A9, oświadczenie współautora o wkładzie habilitanta w pracę – Załącznik W9)
- [A10] P. Szwed, P. Rzucidło, P. Grzybowski, K. Warzocha, 'Determination of Atmospheric Gusts Using Integrated On-Board Systems of a Jet Transport Airplane—3D Problem', Applied Sciences, vol. 15, no. 10, p. 5687, 2025. (IF=2.5 – w 2024) (artykuł – Załącznik A10, oświadczenia współautorów o wkładzie habilitanta w pracę – Załącznik W10)

4.1. Uzasadnienie wyboru obszaru badawczego

Lotnictwo odbierane jest przez wielu jako jedna z najbezpieczniejszych form transportu, pomimo relatywnie krótkiego (niewiele ponad 100 lat) okresu jego powszechnej dostępności. Przyczynkiem ku temu jest zdolność środowiska lotniczego do wyciągania wniosków ze zdarzeń lotniczych. Począwszy od pierwszych lotów i towarzyszących im wypadków, analizowano, budowano wiedzę i zbierano doświadczenia pozwalające na zwiększenie bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych. Początkowo w lotnictwie przeważały błędy wynikające z niezrozumienia zjawisk fizycznych (np. mechaniki lotu, zjawisk aerodynamicznych) czy też błędy konstrukcyjne (np. nieodpowiedni dobór materiałów, brak uwzględnienia warunków środowiskowych oraz możliwości eksploatacyjnych).

Możliwości poznawcze ludzi są jednak ograniczone, dlatego jednym z najbardziej aktualnych problemów badawczych pozostaje tzw. czynnik ludzki jako przyczyna wypadków i incydentów lotniczych. Czynnik ten, będący przedmiotem licznych szkoleń zgodnych z wymaganiami EASA (Europejska Agencja Bezpieczeństwa Lotniczego), FAA (Federal Aviation Administration), Urzędu Lotnictwa Cywilnego w Polsce oraz międzynarodowych rezolucji ICAO, nadal stanowi ograniczenie w pełnej eliminacji błędów i wypadków nimi spowodowanych.

Pomimo stosowania uznanych koncepcji, takich jak tzw. model sera szwajcarskiego (J. Reason) do identyfikacji i zapobiegania lukom bezpieczeństwa w systemie, wypadki nadal się zdarzają. Jest to szczególnie widoczne tam, gdzie instytucjonalne podejście do bezpieczeństwa jest ograniczone, np. w aeroklubach, wśród prywatnych użytkowników statków powietrznych, a zwłaszcza w środowiskach związanych z relatywnie niedrogimi formami aktywności lotniczej, jak paralotniarstwo czy spadochroniarstwo. Taki stan rzeczy można próbować tłumaczyć uwarunkowaniami psychologicznymi człowieka – ograniczeniami percepcji, zdolności wnioskowania, komunikacji i reakcji. W praktyce często błędy te są wynikiem splotu wielu czynników, które w konsekwencji prowadzą do tragicznych zdarzeń.

Od początku mojej edukacji w specjalności lotniczej szczególne zainteresowanie budziła u mnie możliwość poprawy umiejętności jednostek poprzez szkolenia w bezpiecznych warunkach, które pozwalają zredukować ryzyko popełnienia błędów w sytuacjach trudnych. Już we wczesnych latach interesowałem się symulatorami lotu, powszechnie stosowanymi w szkoleniu profesjonalnych pilotów, jednocześnie zastanawiał mnie ich brak w wielu innych gałęziach lotnictwa. Miałem też świadomość, że duże statki powietrzne wyposażone są w złożone systemy rejestracji parametrów lotu, tzw. „czarne skrzynki”, natomiast brak podobnych rozwiązań w lotnictwie ogólnym czy sportowym uznawałem za istotne niedopatrzenie.

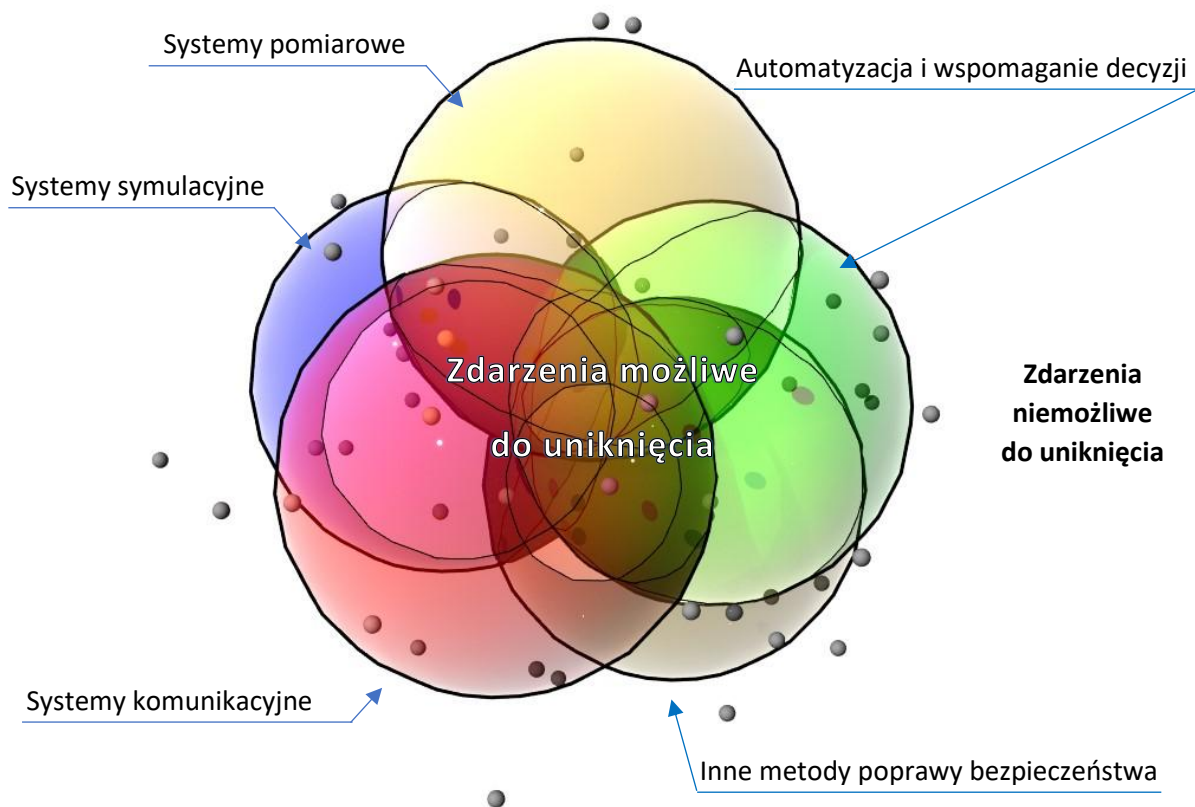
Dodatkowo, jako osoba aktywnie zaangażowana w działalność dydaktyczną, zauważyłem, że mimo dostępnych szkoleń i z perspektywy akademickiej oczywistych zagadnień, świat lotniczy wciąż pozostaje pełen mitów i uproszczeń. Wiedza, która często nie wymaga głębokiego rozumienia podstaw fizycznych czy matematycznych, pozwala jednak w wielu wypadkach na bezpieczne wykonywanie operacji lotniczych. Stąd też wynikało moje zainteresowanie budową systemów automatycznego wnioskowania i sterowania lotem statków powietrznych, które miałyby zabezpieczać luki w systemach bezpieczeństwa wynikające z niedostatecznych umiejętności i braku wiedzy.

Wszystkie przedstawione w dalszej części rozwiązania, w których definiowaniu, opracowaniu, weryfikacji i badaniach miałem aktywny udział, mają na celu poprawę bezpieczeństwa w lotnictwie, w tym redukcję ryzyka błędów ludzkich, od etapu szkolenia, poprzez eksploatację (m.in. zautomatyzowane podejmowanie decyzji), aż po formułowanie obiektywnych wniosków z zaistniałych zdarzeń w celu zapobieżenia wystąpieniu analogicznych wypadków w przyszłości.

4.2. Szczegółowy opis wkładu w rozwój dyscypliny

W celu poprawy bezpieczeństwa w lotnictwie należy podejść do zagadnienia wielotorowo. Jak przedstawiono na rys. 1, całkowity zbiór zdarzeń lotniczych można podzielić na dwa rozłączne podzbiory: zdarzeń możliwych do uniknięcia oraz zdarzeń niemożliwych do uniknięcia za pomocą znanych metod. Oczywiście jest, że poprzez rozwój dyscypliny dążymy do tego, aby ten drugi z nich był jak najmniejszy. Złożoność wybranego obszaru badawczego generuje trudności i ujawnia nowe luki, szczególnie na styku obszarów badawczych, takich jak systemy pomiarowe i systemy komunikacyjne. W realizacji celu poprawy bezpieczeństwa konieczne jest często łączenie wiedzy z wielu dziedzin.

Dodatkową trudność stanowi aspekt praktyczny i wdrożeniowy. Obszarem moich szczególnych zainteresowań była identyfikacja i wypełnianie luk badawczych powstających na styku teorii i praktyki, a zwłaszcza tworzenie nowych rozwiązań technicznych o niespotykanych dotąd właściwościach lub takich, których funkcje w znaczący sposób wykraczają poza możliwości opisywane w znanych i publicznie dostępnych źródłach.



Rys. 1. Zbiór zdarzeń lotniczych wraz z metodami ich zapobiegania

Spośród dostępnych metod poprawy bezpieczeństwa skoncentrowałem się na zagadnieniach dotyczących systemów pomiarowych, symulacyjnych i komunikacyjnych, a także na automatyzacji oraz wspomaganii decyzji pilota. W szczególności interesowały mnie aspekty związane z możliwością poprawy bezpieczeństwa poprzez opracowanie nowoczesnych systemów i metod umożliwiających rozszerzenie zdolności kognitywnych jednostek w kontekście czynnika ludzkiego w lotnictwie. Swoją szczególną uwagę poświęciłem słabiej wyszkolonym operatorom, pilotom paralotniowym i skoczkom spadochronowym na wczesnych etapach ich kariery lotniczej. W dalszej części rozdziału 4 szczegółowo przedstawiam badawczy wkład dotyczący opracowanych przeze mnie systemów, natomiast wdrożenia będące efektem moich prac i ich zastosowania praktyczne omówiłem w rozdziale 7.

4.2.1. Wkład w rozwój systemów pomiarowych dedykowanych poprawie bezpieczeństwa w lotnictwie

Jednym z pierwszych projektów realizowanych przeze mnie po zakończeniu doktoratu był miniaturowy system rejestracji danych PRP-W2, przedstawiony w części wdrożeniowej [7.1.1](#). Było to wdrożenie, które jest już stosunkowo odległe czasowo, gdyż pierwsze badania wykonane z użyciem tego systemu realizowane były już w 2015 roku, ale do dzisiaj znajduje on zastosowanie w wybranych projektach realizowanych m.in. w Politechnice Rzeszowskiej, Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie oraz Wojskowym Instytucie Technicznym Uzbrojenia.

Istotą projektu było dokonanie znaczącej miniaturyzacji systemu pomiarowego przy jednoczesnym zachowaniu jego modułowej struktury. W założeniu miał on umożliwiać pomiary na obiektach, dla których takie pomiary były dotychczas niedostępne, przy jednoczesnym zachowaniu dobrych właściwości metrologicznych systemu pomiarowego.

Miniaturyzacja i właściwości metrologiczne były efektem opracowanych przeze mnie założeń konstrukcyjnych dla systemu, wynikających z mojej wiedzy i doświadczeń związanych z możliwościami oraz ograniczeniami współczesnych czujników MEMS. Jestem również autorem wybranych rozwiązań problemów programistycznych. W szczególności moim udziałem jest ogólna struktura kodu dla modułów. Jednym z przykładów takich osiągnięć jest wprowadzenie znaczników czasowych dla informacji pozyskiwanych przez moduł rejestratora z użyciem magistrali CAN, co pozwoliło na określenie nie tylko wartości wielkości mierzonych za pomocą innych modułów przesyłających dane na magistralę, ale również precyzyjne określenie próbek dyskretnych w funkcji czasu. Bez wspomnianych funkcji system pomiarowy nie posiadałby istotnych właściwości umożliwiających jego zastosowanie do prowadzenia zaawansowanych badań statków powietrznych z jego użyciem.

Jego struktura oraz przykład zastosowania zostały opisane m.in. w publikacji stanowiącej **załącznik A2**. W przedstawionym artykule pokazano przykład wykorzystania modułu rejestratora danych oraz układu pomiaru przyspieszeń do stworzenia wirtualnego czujnika detekcji przyziemia. Istotną różnicą w stosunku do typowo stosowanych do tego celu czujników jest fakt, że przyziemie wykrywane było za pomocą opracowanej metody bazującej na analizie drgań mierzonych układem pomiarowym w trakcie ruchu statku powietrznego. Przedstawiona metoda pozwoliła nie tylko na pośrednie stwierdzenie chwili przyziemia, ale również precyzyjne określenie przyspieszeń działających na konstrukcję lotniczą w jego trakcie. W konsekwencji możliwe było stwierdzenie, czy nie zostały przekroczone parametry eksploatacyjne statku powietrznego.

Warto zaznaczyć, że przedstawiony system pomiarowy ze względu na miniaturowe wymiary i modułową strukturę posiada unikalne właściwości, pozwalające na realizację złożonych badań na obiektach, które w momencie premiery systemu w 2015 roku, a także w wielu przypadkach współcześnie, nie mogły z takiej techniki pomiarowej skorzystać, a wykorzystany został m.in. w pomiarach właściwości obiektów bezzałogowych, w próbach miniaturowych raket modelarskich, a także w badaniach wybranych statków powietrznych, w tym samolotów kategorii CS-VLA.

Doświadczenia zebrane przeze mnie podczas realizacji projektu systemu PRP-W2 stały się naturalną podstawą do rozwoju systemów pomiarowych w ramach prowadzonego przeze mnie projektu Zintegrowanego Systemu Wspomagania Szkolenia Spadochronowego PSSP-01, w szczególności rejestratorów eksploatacyjnych GUARDA oraz GUARDA-TE, wdrożonych w PILC sp. z o.o. W odróżnieniu od systemu o strukturze rozproszonej, dedykowanego do prowadzenia badań — jak miało to miejsce w przypadku systemu PRP-W2 — opracowywane rejestratory, zgodnie z przyjętymi przeze mnie założeniami wysokiego poziomu, miały zapewniać ergonomiczne warunki pracy wynikające ze specyfiki pomiarów, umożliwiając użytkowanie przez skoczków spadochronowych nieposiadających doświadczenia w analizie i obróbce danych.

Jako architekt systemu oraz projektant określiłem dwa istotne czynniki z punktu widzenia poprawy bezpieczeństwa: możliwość aktywnego wspomaganie treningu skoczków spadochronowych przez instruktora, poprzez zwiększenie zdolności do bieżącej analizy danych zbieranych w czasie trwania lotu oraz możliwość wyciągania wniosków z lotów poprzez analizę danych odtworzonych w symulatorze lotu. Takie podejście pozwoliło mi na zaadresowanie luk w bezpieczeństwie operacji lotniczych związanych ze skokami spadochronowymi, a w szczególności tych powstałych na styku systemów pomiarowych i komunikacyjnych oraz na styku systemów pomiarowych i symulacyjnych. Należy zauważyć jednocześnie, że nie było dotychczas stosowane w domenie skoków spadochronowych i lotów na paralotniach. W okresie opracowania systemu brak było rozwiązań technicznych umożliwiających współdziałanie instruktora i ucznia na bazie obiektywnych danych.

Szczegółowy opis wdrożenia systemu przedstawiłem w części [7.1.4](#), niemniej należy podkreślić, że mój autorski wkład obejmuje również określenie minimum niezbędnych informacji przekazywanych instruktorowi nadzorującemu proces szkolenia, tak aby nawet poza zasięgiem wzroku mógł on podejmować racjonalne decyzje wspomagające wykonanie lotu przez niedoświadczonych skoczków w trakcie szkolenia (w ramach opracowanego przeze mnie protokołu transmisji danych bezprzewodowych).

Opracowane minimum informacyjne posłużyło jako podstawa do implementacji programowej modułu oprogramowania, który pozwala na odtworzenie trajektorii lotu w symulatorze spadochronowym typu wirtualnej rzeczywistości. Ułatwia to analizę błędów popełnionych w trakcie szkolenia, bez konieczności użycia typowo stosowanych narzędzi, takich jak analiza przebiegów parametrów na wykresach w funkcji czasu. Dodatkowym zastosowaniem opracowanego minimum informacyjnego była wizualizacja danych w naziemnej stacji instruktorskiej, co pozwoliło na ocenę prawidłowości przebiegu skoku przez instruktora nawet w przypadku braku bezpośredniego kontaktu wzrokowego z uczniem-skoczkiem.

Aby możliwe było odtworzenie trajektorii lotu w symulatorze, istotnym systemem dostarczającym dane, a niedostępnym w komercyjnych rozwiązaniach dedykowanych skokom spadochronowym jest moduł określenia orientacji i kursu (ang. Attitude and Heading Reference System). Aby umożliwić pozyskanie danych o kątach orientacji przestrzennej, opracowałem koncepcję użytkowania rejestratorów oraz ich wewnętrzną strukturę, a w szczególności sposób montażu minimalizujący wpływ ruchów własnych pilota na parametry mierzone.

Kolejnym wyzwaniem technicznym było określenie kątów orientacji w fazie spadku swobodnego. Znane z publikacji algorytmy określania kątów na bazie przyspieszeń, składowych pola magnetycznego oraz prędkości kątowych nie uwzględniały sytuacji pomiarów w trakcie takiej fazy lotu (a w szczególności właściwości pomiarowych przyspieszeniomierzy). Znane są z lotnictwa metody poprawy właściwości metrologicznych lotniczych systemów pomiaru orientacji przestrzennej, np. poprzez odłączanie korekcji od sygnału z przyspieszeniomierzy w zakreście ustalonym, na bazie analizy sygnału z żyroskopów.

Moim autorskim wkładem we wdrożoną technologię było opracowanie algorytmów, które wprowadzenie korekcji kątów orientacji przestrzennej od sygnału z przyspieszeniomierzy uzależniały od mierzonego wypadkowego wektora przyspieszeń. W ten sposób, zarówno w trakcie spadku swobodnego, jak i podczas wykonywania zakrętów, wpływ korekcji z systemów pomiarowych był adaptacyjnie dostosowywany, niwelując błędy wynikające ze specyficznych wskazań przyspieszeniomierzy w tych fazach lotu.

Tym samym brałem istotny udział w opracowaniu systemu poprawy bezpieczeństwa w domenie skoków spadochronowych i lotów na paralotni, posiadającego unikalne funkcje w skali światowej.

4.2.2. Wkład w rozwój systemów symulacyjnych dedykowanych poprawie bezpieczeństwa w lotnictwie

W ramach działalności naukowo-projektowej specjalizuję się w symulacji systemów sterowania w środowiskach Software-In-The-Loop (SIL) oraz Hardware-In-The-Loop (HIL), a także w projektowaniu symulatorów lotu opartych na technologii wirtualnej rzeczywistości.

Byłem autorem koncepcji oraz wykonawcą stanowiska laboratoryjnego umożliwiającego symulację dynamiki statku powietrznego oraz testowanie algorytmów sterowania i nawigacji w warunkach symulacji typu Software-In-The-Loop (SIL) i Hardware-In-The-Loop (HIL), przedstawionego w **załączniku A1**. Kluczowym elementem opracowanego rozwiązania było rozdzielenie warstwy pomiarowej od warstwy algorytmicznej, co umożliwiało ich niezależną walidację oraz ocenę poprawności działania. Takie podejście pozwalało na istotne ograniczenie liczby kosztownych i obciążonych ryzykiem prób w locie bezzałogowych statków powietrznych na etapie projektowania systemów sterowania.

Jako współautor stanowiska byłem odpowiedzialny za implementację algorytmów sterowania w rozwiązaniu sprzętowym, integrację środowiska Hardware-In-The-Loop oraz opracowanie nieliniowych modeli symulacyjnych dla różnych typów obiektów latających. W okresie realizacji prac (2016 r.) dostępne rozwiązania autopilotów typu open source (m.in. ArduPilot, Paparazzi, Pixhawk) nie oferowały spójnych i w pełni zintegrowanych środowisk SIL/HIL, a stosowane symulatory nie zapewniały realistycznego odwzorowania aerodynamiki UAV ani ciągłości procesu walidacji algorytmów sterowania.

Stanowisko bazujące na opracowanych przeze mnie koncepcjach oraz rozwiązaniach technicznych wniosło nową jakość, w szczególności w branży awioniki dla bezzałogowych statków powietrznych opracowywanych w Polsce, poprzez pełną integrację symulatora X-Plane z mikrokomputerowym autopilotem. Umożliwiało ono m.in. płynne przełączanie pomiędzy trybami SIL i HIL oraz realistyczne testowanie algorytmów sterowania i nawigacji w warunkach zbliżonych do rzeczywistego lotu. Opracowane mechanizmy komunikacji oraz modele symulacyjne były kluczowe zarówno dla opracowania i walidacji działania autopilota w środowisku symulacyjnym, jak i podczas badań operacyjnych, znacząco redukując ryzyko oraz koszty takich badań.

Doświadczenia zdobyte w ramach budowy i integracji zaawansowanych środowisk symulacyjnych SIL/HIL stanowiły bezpośredni impuls do podjęcia przeze mnie prac nad rozwojem nowoczesnych urządzeń treningu lotniczego wykorzystujących technologię rzeczywistości wirtualnej (VR). W odróżnieniu od wcześniej opracowywanych rozwiązań o charakterze stricte badawczo-testowym, nowe systemy symulacyjne projektowane były jako kompletne narzędzia dydaktyczne i treningowe o wysokim stopniu realizmu, przeznaczone do praktycznego wdrożenia oraz eksploatacji poza środowiskiem laboratoryjnym.

Efektorem tych prac było opracowanie serii symulatorów PSVR-01, PSVR-02 oraz PSVR-04, których szczegółowy opis przedstawiono odpowiednio w rozdziałach [7.1.2](#), [7.1.3](#) oraz [7.1.4](#). Systemy te umożliwiły po raz pierwszy w Polsce zapoznanie szerokiego grona odbiorców z immersyjnymi doświadczeniami związanymi zarówno z lotami samolotami (PSVR-01), jak i ze skokami spadochronowymi (PSVR-02 oraz PSVR-04). Jeden z opracowanych symulatorów został włączony do ekspozycji Muzeum Lotnictwa Polskiego w Krakowie, co potwierdza zarówno jego dojrzałość techniczną, jak i istotne walory edukacyjne oraz popularyzatorskie.

W okresie realizacji opisywanych prac zaawansowane systemy symulacji skoków spadochronowych istniały wyłącznie w zastosowaniach wojskowych i miały charakter specjalistycznych, zamkniętych rozwiązań szkoleniowych. Systemy te, wykorzystywane m.in. w szkoleniu wojsk powietrznodesantowych, charakteryzowały się poprawnymi właściwościami, jednak

ich dostępność była ściśle ograniczona, a architektura techniczna oraz modele symulacyjne nie były publicznie dostępne ani możliwe do adaptacji w zastosowaniach cywilnych, akademickich lub popularyzatorskich.

W konsekwencji brakowało mobilnych i możliwych do wdrożenia systemów treningowych, które umożliwiałyby bezpieczne, powtarzalne i dostępne poza strukturami wojskowymi szkolenie spadochronowe. Opracowane przeze mnie rozwiązania wypełniły tę lukę, przenosząc elementy zaawansowanej symulacji znanej dotąd wyłącznie z zastosowań wojskowych do obszaru cywilnego, dydaktycznego i szkoleniowego.

W ramach projektu PSSP-01, opracowałem m.in. autorski model symulacyjny lotu z otwartą czaszą spadochronu. Model ten uwzględniał wpływ wybranych zjawisk atmosferycznych, w tym oddziaływanie wiatru, a także umożliwiał symulację stanów niebezpiecznych, takich jak niepełne wypełnienie czasu spadochronu (tzw. „grucha”).

Ponadto zaprojektowałem autorski system synchronizacji przyziemienia w środowisku symulacyjnym, umożliwiający instruktorowi ocenę poprawności pozycji lądowania kursanta. Rozwiązanie to pozwalało na bezpieczne i wielokrotne trenowanie jednej z najbardziej newralgicznych faz skoku spadochronowego, bez narażania użytkownika na konsekwencje błędów popełnianych podczas rzeczywistych operacji lotniczych.

Na etapie projektowania przyjąłem również założenie pełnej mobilności opracowanych systemów, co umożliwiło ich prezentację podczas licznych targów i wydarzeń popularyzujących naukę i technikę (m.in. Międzynarodowego Salonu Przemysłu Obronnego MSPO oraz wydarzeń „Noc Odkrywców”). Co istotne, opracowane symulatory znalazły praktyczne zastosowanie w działalności ośrodków szkolenia lotniczego zatwierdzonych przez Urząd Lotnictwa Cywilnego.

Paradoksalnie, w niektórych przypadkach opracowane symulatory przyczyniały się również do poprawy bezpieczeństwa lotniczego poprzez zniechęcenie części użytkowników do podejmowania rzeczywistych operacji lotniczych. Wysoki stopień realizmu symulacji, wywołujący silne reakcje emocjonalne oraz uświadamiający brak odpowiednich predyspozycji do realizacji określonych zadań (np. skoków spadochronowych), pełnił istotną funkcję selekcyjną i prewencyjną, trudną do osiągnięcia przy zastosowaniu tradycyjnych metod szkoleniowych.

Powyższe doświadczenia okazały się również niezbędne z perspektywy kompetencji koniecznych do podjęcia się realizacji projektu COAST, opisanego w dalszej części autoreferatu. Dzięki uprzednio rozwiniętym i sprawdzonym metodom symulacyjnym możliwa była wstępna walidacja opracowywanego systemu jeszcze przed etapem prób w locie. Miało to kluczowe znaczenie z uwagi na fakt, że projekt realizowany był przez międzynarodowy zespół badawczo-inżynierski, działający w warunkach ograniczonych możliwości spotkań bezpośrednich.

4.2.3. Wkład w rozwój systemów automatycznego sterowania dedykowanych poprawie bezpieczeństwa w lotnictwie

Następne realizowane przeze mnie prace, stanowiące wkład w rozwój dyscypliny, koncentrowały się na opracowaniu systemów umożliwiających rekonfigurację lotu w sytuacjach awaryjnych – w szczególności w kontekście automatyzacji sterowania statkiem powietrznym w przypadku utraty zdolności pilota do dalszego prowadzenia lotu.

Rozwiązania mojego autorstwa opierały się na założeniu możliwości rozbudowy funkcjonalności tradycyjnych autopilotów, które działają zgodnie z ustalonym wcześniej przez człowieka schematem sterowania (np. utrzymanie wysokości lotu, realizacja zaplanowanej trasy w systemie FMS – Flight

Management System). Ich możliwości operacyjne są jednak ograniczone w sytuacjach kryzysowych, takich jak nagła utrata przytomności pilota. Ograniczenie to ma szczególne znaczenie w przypadku operacji jednoosobowych, gdzie brak drugiego pilota uniemożliwia przejście manualnego sterowania i kontynuację misji.

Jednym z kluczowych rezultatów moich działań był udział w projekcie COAST. Pełniąc funkcję kierownika zespołu z ramienia Politechniki Rzeszowskiej w projekcie COAST (Cost Optimized Avionics SysTem), realizowanym w ramach programu Clean Sky 2 (będącego częścią programu ramowego Horyzont 2020), byłem odpowiedzialny za projektowanie oraz implementację algorytmów decyzyjnych dla systemu automatycznej rekonfiguracji lotu (Flight Reconfiguration System – FRS).

Moim autorskim wkładem w rozwój tej technologii było opracowanie algorytmów preselekcji lotnisk docelowych, automatycznego wyznaczania tras oraz systemu wnioskowania opartego na wielokryterialnej metodzie decyzyjnej (MCDM – Multi-Criteria Decision Making). Kluczowym elementem zaproponowanego rozwiązania była wieloetapowa architektura decyzyjna, w której cały proces został podzielony na cztery etapy działania (A–D), odpowiadające selekcji, ocenie oraz wyborowi optymalnego miejsca do lądowania, przy jednoczesnym ograniczeniu zapotrzebowania na zasoby obliczeniowe platformy pokładowej.

Zaproponowany przeze mnie algorytm – dzięki rozdzieleniu procesów decyzyjnych oraz ich częściowej realizacji przed aktywacją procedury awaryjnej – umożliwił niemal natychmiastową inicjację działań oraz przekazanie komend do autopilota. Stanowi to istotną różnicę w stosunku do klasycznych jednoetapowych metod optymalizacji wielokryterialnej, w których istnieje ryzyko braku możliwości wykonania złożonych obliczeń dla dużej liczby obiektów w czasie niezbędnym do podjęcia decyzji. Podejście to zostało szczegółowo opisane w artykule stanowiącym **załącznik A3**.

Zaprojektowana przeze mnie metoda na etapie A ograniczała zbiór potencjalnych lotnisk do wykonania lądowania awaryjnego wyłącznie do tych, które były w zasięgu danego statku powietrznego oraz spełniały jego minimalne wymogi operacyjne (przed rozpoczęciem operacji lotu).

W etapie B dokonywana była ocena punktowa i sortowanie (ang. score based sorting), a następnie kolejna redukcja zbioru potencjalnych lotnisk pod kątem wybranych kryteriów. Do ich budowy zaproponowałem wykorzystanie m.in. funkcje przynależności znanych z logiki rozmytej (fuzzy logic) w celu oceny lotnisk pod kątem takich właściwości jak: długość drogi startowej, estymowany czas przelotu (bez uwzględnienia przeszkód na trasie) oraz dostępność służb ratowniczych.

Etap C służył wyznaczeniu bezpiecznej trasy do wybranych lokalizacji biorąc pod uwagę ograniczone możliwości obliczeniowe jednostki sprzętowych, na której wykonywane były obliczenia. Zatem tylko najlepsze z potencjalnych lotnisk wyłonionych w etapie B były uwzględniane w najbardziej kosztownych czasowo obliczeniach – wyznaczaniu trasy.

W końcowym etapie D wybierana była ta konfiguracja lotniska i trasy, która uzyskała najwyższą ocenę w porównaniu z innymi potencjalnymi rozwiązaniami wyznaczonymi w etapie C. Zasadnicza różnica w stosunku do rozwiązania B polegała na tym, że w tym etapie uwzględniano trasę obliczoną do danego lotniska wynikającą z egzekucji etapu C, jednakże obliczenia te nie musiały być wykonywane dla pełnego podzbioru lotnisk z etapu B.

Skuteczność tego rozwiązania została potwierdzona zarówno w symulacjach typu Software-In-The-Loop (SIL), jak i w końcowych próbach w locie. W testach wykazano, że system jest zdolny do samodzielnego podejmowania decyzji w czasie krótszym niż 3 sekundy, co jest wartością w pełni akceptowalną z punktu widzenia bezpieczeństwa operacji awaryjnych. Zaproponowana architektura

wieloetapowego wnioskowania stanowi udoskonalenie podejścia do problemu rekonfiguracji lotu w warunkach ścisłych ograniczeń czasowych i obliczeniowych.

Doświadczenia zdobyte przeze mnie w projektowaniu oraz integracji stanowisk SIL/HIL, opisane we wcześniejszej części autoreferatu, okazały się kluczowe dla realizacji projektu COAST. Umożliwiły one przeprowadzenie rzetelnej walidacji algorytmów FRS jeszcze przed etapem prób w locie, które stanowiły końcową weryfikację ich działania w warunkach rzeczywistych oraz potwierdzenie skuteczności opracowanej przeze mnie metody automatycznego wyboru lotniska docelowego spośród dynamicznie generowanego zbioru kandydatów. Warto podkreślić, że projekt COAST został wyróżniony przez środowisko Clean Sky 2 / Clean Aviation i zaprezentowany w publikacji „Technical Highlights 2021” jako przykład rozwiązania o istotnym znaczeniu dla rozwoju nowoczesnych systemów awioniki pokładowej (**załącznik N5**).

4.2.4. Wkład w rozwój systemów komunikacji dedykowanych poprawie bezpieczeństwa w lotnictwie

Kolejnym obszarem mojej aktywności badawczej, stanowiącym wkład w rozwój dyscypliny, były zagadnienia związane z komunikacją pomiędzy systemami pokładowymi, w szczególności w kontekście wielodomenowej wymiany danych dotyczących zagrożeń dla egzekucji planowanej trasy. W badaniach tych koncentrowałem się na problemie integracji informacji o zagrożeniach pochodzących z różnych obszarów operacyjnych w ramach jednego, spójnego procesu decyzyjnego.

Problem, który zidentyfikowano podczas prac rozwojowych projektu COAST, dotyczył zamkniętej architektury większości stosowanych systemów pokładowych. Pomimo istniejącego potencjału technologicznego, taka architektura uniemożliwiała efektywną wymianę informacji między komponentami odpowiedzialnymi za różne funkcje, takie jak ruch lotniczy, warunki meteorologiczne czy ograniczenia przestrzeni powietrznej. W efekcie dane pozyskiwane przez jeden system nie mogły być wykorzystywane przez inne moduły, co ograniczało możliwości kompleksowej analizy sytuacji operacyjnej przez systemy wnioskowania.

Oczywiście istnieją standardy wymiany danych, takie jak ARINC 424 stosowane w systemach zarządzania lotem (FMS), a także standardy wymiany danych pomiarowych, takie jak ARINC 429 oraz ARINC 629. Niemniej jednak standardy te nie zapewniają wspólnego i jednoznacznego opisu zagrożeń pochodzących z różnych obszarów operacyjnych, co w praktyce ogranicza możliwość ich jednoczesnego wykorzystania w systemach wspomaganie decyzji.

Moim autorskim wkładem w rozwiązanie tego problemu było opracowanie przeze mnie systemu wymiany danych Unified Hazard Database (UHD), który umożliwia reprezentację zagrożeń pochodzących z kluczowych domen – takich jak przeszkody terenowe, ograniczenia przestrzeni powietrznej, ruch lotniczy czy zagrożenia meteorologiczne – w postaci ujednoczonych obiektów geometrycznych o wspólnej strukturze semantycznej.

W odróżnieniu od istniejących standardów UHD wprowadza jednolitą warstwę znaczeniową umożliwiającą bezpośrednie przetwarzanie i wnioskowanie na danych o zagrożeniach, niezależnie od domeny ich pochodzenia. Nieliczne rozwiązania techniczne zapewniające analogiczne funkcje wymiany danych były dotychczas dostępne wyłącznie w systemach o architekturze zamkniętej.

Zaprojektowany przeze mnie mechanizm stał się podstawą implementacyjną dla komponentu wymiany informacji w ramach zintegrowanego systemu zarządzania misją (IMMS – Integrated Mission Management System), rozwijanego w ramach projektu COAST (Cost Optimized Avionics SysTem). Szczególną wartością tego rozwiązania była jego zdolność do integracji z nowoczesnymi podsystemami awioniki opracowywanymi równolegle przez inne ośrodki uczestniczące w projekcie – m.in. Tactical Separation System (TSS), Advanced Weather Awareness System (AWAS), rozwijany przez Centro

Italiano Ricerche Aerospaziali (CIRA), Flight Reconfiguration System (FRS), rozwijany wspólnie przez Instytut Lotnictwa oraz Politechnikę Rzeszowską, oraz Compact Computing Platform (CCP), opracowany przez firmę Honeywell.

Spójność danych zapewniana przez UHD pozwoliła na skuteczną interoperacyjność wspomnianych systemów, a w konsekwencji – na poprawę efektywności podejmowania decyzji w warunkach operacyjnych o wysokim stopniu złożoności. Rozwiązanie to umożliwiło przejście od izolowanej analizy zagrożeń w poszczególnych systemach do zintegrowanego procesu oceny ryzyka i planowania trajektorii lotu. Szczegóły techniczne rozwiązania oraz rezultaty walidacyjne zostały przedstawione w cyklu publikacji stanowiących **załączniki A4–A7**, natomiast potwierdzenie funkcjonalności kompletnego systemu IMMS – będącego efektem integracji wymienionych komponentów – zostało szczegółowo opisane w publikacji stanowiącej **załącznik A9**.

4.2.5. Wkład w rozwój systemów wspomagania decyzji dedykowanych poprawie bezpieczeństwa w lotnictwie

Mając na uwadze moje doświadczenie badawcze w obszarze czynnika ludzkiego w lotnictwie, prowadziłem badania nad systemami wspomagania decyzji, których celem było obiektywne zwiększenie poziomu bezpieczeństwa operacyjnego. Między innymi realizowałem badania udokumentowane w pracy stanowiącej **załącznik A8** do niniejszego autoreferatu, w których analizowałem wpływ sposobu wizualizacji zagrożeń na ich ocenę przez operatora.

Zagadnienie to jest szczególnie istotne, ponieważ w przypadku zagrożeń pochodzących z różnych domen kluczowe jest nie tylko ich wykrycie i prezentacja (np. na oddzielnych ekranach), lecz także możliwość ich korelacji w sposób ograniczający przeładowanie poznawcze (ang. information overload), co umożliwia podejmowanie racjonalnych i szybkich działań. W ramach prowadzonych badań wykazałem możliwość wykorzystania kanału alfa (odpowiadającego za przezroczystość obiektów) jako nośnika informacji o istotności zagrożeń, co pozwala na poprawę ich percepcji przez pilota.

Jednym z najtrudniejszych zagadnień w ramach prowadzonych prac było zaprojektowanie systemów wspomagania decyzji dla pilota. Zagadnienie to ma kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa operacji lotniczych, ponieważ trafna sugestia systemu oraz jej prawidłowe wykonanie przez operatora mogą bezpośrednio przyczynić się do zwiększenia marginesu bezpieczeństwa.

Z drugiej strony, system wspomagania decyzji oparty na niepełnych przesłankach lub generujący nieracjonalne rekomendacje może obniżyć świadomość sytuacyjną operatora na dwa sposoby: po pierwsze – poprzez nieprzekazanie kluczowej informacji wymaganej do podjęcia decyzji zwiększającej margines bezpieczeństwa; po drugie – poprzez zasugerowanie błędnej decyzji, której wykonanie może ten margines zmniejszyć.

Opracowana przeze mnie metoda została zaimplementowana i przetestowana podczas badań w locie systemu IMMS, stanowiącego jedną z technologii realizowanych w ramach projektu COAST (**załącznik A9**). Metoda filtracji danych do wizualizacji opierała się na wykorzystaniu zintegrowanej bazy zagrożeń – Unified Hazard Database, co umożliwiło dynamiczne przypisywanie rangi (severity) poszczególnym zagrożeniom.

Moją autorską koncepcją było powiązanie stopnia przezroczystości elementu graficznego z poziomem istotności zagrożenia: zagrożenia o niskiej randze były przedstawiane z wysokim poziomem przezroczystości (i tym samym niewidoczne dla operatora), natomiast zagrożenia krytyczne – z niskim poziomem przezroczystości, co pozwalało na ich wyraźne uwidocznienie na ekranie.

Aby określić odpowiedni poziom przezroczystości, zastosowałem metody wywodzące się z logiki rozmytej (fuzzy logic), w tym odpowiednie funkcje przynależności, które wcześniej wykorzystywałem w innych aplikacjach. Zastosowanie tego podejścia umożliwiło ciągłe i kontekstowe odwzorowanie istotności zagrożeń na parametry wizualne, co pozwoliło na dostosowanie intensywności prezentacji zagrożeń do ich wagi – w sposób zrozumiały i intuicyjny dla użytkownika końcowego.

Takie podejście przyczyniło się również do zwiększenia płynności wizualizacji oraz istotnego ograniczenia efektu migotania zagrożeń na ekranie. Stanowi to jakościowe udoskonalenie w stosunku do powszechnie stosowanych metod wizualizacji, w których wzmiankowany efekt migotania może prowadzić do nadmiernego obciążenia pilota, a jego eliminacja poprzez jednoczesne wyświetlanie wszystkich zagrożeń skutkuje przeciążeniem informacyjnym.

W artykule stanowiącym **załącznik A10** przedstawiono metodę automatycznego wykrywania podmuchów atmosferycznych z wykorzystaniem dostępnych sygnałów pokładowych. Artykuł ten jest jednym z rezultatów badań prowadzonych przez pana Piotra Szweda, doktoranta Politechniki Rzeszowskiej, w którego przewodzie doktorskim pełnię funkcję promotora pomocniczego. Stanowi on kolejny przykład mojej aktywności w zakresie definiowania i walidacji lotniczych systemów wspomagania decyzji.

Mój wkład w opracowanie opisywanej metody miał charakter koncepcyjny i metodologiczny i obejmował współtworzenie założeń rozwiązania, opracowanie struktury algorytmu wykrywania zagrożeń, a także przygotowanie i konfigurację stanowiska symulacyjnego umożliwiającego prowadzenie prób dowodowych. Ponadto uczestniczyłem w doborze i strojeniu parametrów krytycznych algorytmów, mających na celu poprawę świadomości sytuacyjnej pilota oraz automatyczne wykrywanie zagrożeń związanych z występowaniem zjawiska uskoku wiatru (microburst).

Zaproponowana metoda poszerza klasę algorytmów detekcji zjawisk atmosferycznych możliwych do implementacji w systemach awioniki pokładowej bez modyfikacji architektury sensorycznej, co stanowi istotne rozszerzenie w stosunku do powszechnie stosowanych metod identyfikacji i ostrzegania przed tego typu zagrożeniami.

4.3. Podsumowanie wkładu w rozwój dyscypliny

W ramach prowadzonej działalności badawczej i projektowej wniosłem następujący wkład w rozwój dyscypliny.

- Wprowadziłem autorską koncepcję etapowej walidacji systemów sterowania w środowiskach symulacyjnych SIL/HIL, polegającą na rozdzieleniu testów warstwy pomiarowej, algorytmicznej i decyzyjnej. Podejście to umożliwiło systematyczną identyfikację źródeł błędów oraz zwiększenie niezawodności systemów jeszcze przed etapem prób w locie (zaprezentowana w **Załączniku A1**).
- Zaproponowałem metodykę projektowania modułowych systemów pomiarowych, opartą na separacji warstwy funkcjonalnej (pomiarowej) od warstwy analitycznej (interpretacji danych), co umożliwiło tworzenie elastycznych układów możliwych do adaptacji do różnych klas statków powietrznych oraz zastosowań eksperymentalnych w kontekście badań ich właściwości (szczegółowo opisana w **Załączniku A2**).
- Zaprojektowałem strukturę algorytmu awaryjnej rekonfiguracji lotu w postaci czterofazowego modelu decyzyjnego (A–D), w którym kolejne etapy odpowiadają za preselekcję, ocenę oraz wybór optymalnego scenariusza awaryjnego. Wskazałem na konieczność minimalizacji zapotrzebowania na zasoby obliczeniowe poprzez wczesną redukcję zbioru rozwiązań i zastosowanie metod wielokryterialnych w czasie rzeczywistym, co umożliwiło implementację algorytmu w systemie pokładowym (przedstawiony w **Załącznikach A3 oraz A4**).
- Wprowadziłem koncepcję semantycznej unifikacji danych operacyjnych w postaci Unified Hazard Database (UHD), umożliwiającą integrację informacji pochodzących z różnych domen operacyjnych (m.in. ruch lotniczy, przeszkody terenowe, warunki meteorologiczne) poprzez ich reprezentację w jednolitym formacie geometryczno-opisowym. Rozwiązanie to stanowiło podstawę do budowy zintegrowanych systemów wspomaganie decyzji operacyjnych (omówiona w **Załącznikach A5, A6 i A7**).
- Zaproponowałem autorską metodę wizualizacji zagrożeń, polegającą na powiązaniu stopnia przezroczystości elementów graficznych z poziomem istotności zagrożenia. Zastosowanie metod wywodzących się z logiki rozmytej umożliwiło ciągłe i kontekstowe odwzorowanie rangi zagrożeń na parametry wizualne, co przyczyniło się do ograniczenia przeciążenia poznawczego operatora oraz poprawy płynności prezentacji informacji (badania eksperymentalne i walidacja przedstawione w **Załącznikach A8 i A9**).
- Wnosiłem wkład koncepcyjny i metodologiczny w rozwój algorytmów automatycznego wykrywania zjawisk atmosferycznych, w tym uskoku wiatru (microburst), obejmujący współtworzenie struktury algorytmu, przygotowanie i konfigurację stanowisk symulacyjnych oraz strojenie parametrów krytycznych. Zaproponowane podejście poszerza klasę algorytmów możliwych do implementacji w systemach awioniki pokładowej bez konieczności modyfikacji architektury sensorycznej (szczegółowo omówione w **Załączniku A10**).
- Zdefiniowałem założenia funkcjonalne i strukturalne dla nowoczesnych urządzeń treningowych opartych na wirtualnej rzeczywistości (VR), umożliwiającich nie tylko odwzorowanie zachowania statku powietrznego, lecz także rejestrację, odtwarzanie i analizę błędów ludzkich w kontekście działań operatora (przedstawione w **rozdziale 7 dot. wdrożeń**).

W całej działalności badawczej konsekwentnie stosowałem podejście systemowe, traktując operatora, system techniczny oraz otoczenie jako elementy jednej całości. Umożliwiło to integrację wiedzy z zakresu mechaniki, automatyki, informatyki oraz psychologii technicznej w spójną metodykę projektowania systemów bezpiecznego sterowania, szkolenia i wspomaganie decyzji.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej

W swojej karierze naukowej byłem członkiem grup badawczych realizujących liczne projekty, dla których wspólnym mianownikiem było silne powiązanie z lotnictwem, a w szczególności budową i projektowaniem nowoczesnych urządzeń awioniki. Zwięzły opis prac realizowanych przeze mnie w poszczególnych z nich zawarłem w tabeli 1.

Tabela 1. Wybrane zrealizowane projekty badawcze

Lp.	Nazwa projektu	Rola	Zakres mojej aktywności
1	ACP7-GA-2008-211439 – SCARLETT – Scalable and Reconfigurable Electronics Platforms and Tools	Wykonawca	- Opracowanie bloków oprogramowania na potrzeby projektu
2	KB/68/12823/ ITI-B/U/08/7312/G/1 – Wielofunkcyjny dwumiejscowy motoszybowiec nowej generacji	Wykonawca	- Opracowanie koncepcji kokpitu samolotu oraz wstępny dobór układów awioniki typu glass-cockpit
3	O R00 0116 11 – LOT – Latający Obserwator Terenu	Wykonawca	- Opracowanie koncepcji i oprogramowania sterowników serwomechanizmów dedykowanych dla samolotu MP-02 Czajka - Opracowanie modelu symulacyjnego samolotu MP-02 Czajka
4	O R00 0089 11 – MAP – Miniaturowy system sterowania i nawigacji dla latającej platformy bezzałogowej	Główny wykonawca	- Opracowanie i wykonanie stanowiska Hardware-In-The-Loop do testowania zaawansowanych algorytmów sterowania - Opracowanie protokołu transmisji dla systemu komunikacji Obiektu Bezzałogowego z Naziemną Stacją Kontroli Lotu - Integracja i testowanie układu automatycznego sterowania w symulacji Hardware-In-The-Loop - Udział w badaniach w locie demonstratorów (odpowiedzialność za diagnostykę systemu sterowania oraz wprowadzanie poprawek wynikających z testów w locie) - Opracowanie systemu wizualizacji typu HUD dla potrzeb Naziemnej Stacji Kontroli Lotu - Opracowanie modeli symulacyjnych obiektów sterowania
5	PBS2/B6/19/2013 – MYSTERY – Metodyka syntezy systemu sterowania statkiem powietrznym w warunkach podwyższonego ryzyka	Wykonawca	- Opracowanie architektury systemu automatycznego sterowania (wersja rozwojowa systemu z projektu MAP) - Projektowanie i wykonanie modułów oprogramowania do zautomatyzowanego zadawania sygnałów testowych z poziomu Naziemnej Stacji Kontroli Lotu - Weryfikacja modeli symulacyjnych w środowisku Hardware-In-The-Loop

6	COAST – Cost Optimized Avionics System (Clean Sky 2, Grant Agreement No. 945535) – projekt realizowany w ramach programu ramowego Horyzont 2020	Kierownik	<p>Zadania badawczo-projektowe:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Opracowanie architektury systemu Flight Reconfiguration System (FRS) - Budowa stanowisk symulacyjnych Software-In-The-Loop i Hardware-In-The-Loop dla systemów FRS i IMMS - Opracowanie, kodowanie i testowanie algorytmów sterowania FRS - Próby dowodowe (SIL, HIL, loty) dla systemów FRS i IMMS - Opracowanie koncepcji systemu Integrated Mission Management System (współautor) - Opracowanie algorytmów optymalizacji trasy i sygnalizacji zagrożeń w systemie Integrated Mission Management System (IMMS) - Opracowanie oprogramowania (backendu) IMMS z zaimplementowanymi algorytmami przeznaczonymi do prób dowodowych systemów, - Analiza i obróbka danych z prób dowodowych. <p>Zadania kierownicze:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Komunikacja z partnerami konsorcjum - Sprawozdawczość wobec Clean Aviation - Zarządzanie projektem - Sporządzanie raportów częściowych potwierdzających osiągnięcie poziomu TRL 5/6 przez projektowane systemy FRS i IMMS
7	Zintegrowany System Wspomagania Procesu Szkolenia Spadochronowego PSSP-01	Kierownik / Architekt systemu	<p>Zadania badawczo-projektowe:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Opracowanie architektury systemu wspomagania procesu szkolenia spadochronowego, - Opracowanie założeń wysokiego poziomu dla systemu, - Opracowanie wybranych elementów systemu, a w szczególności: <ul style="list-style-type: none"> a) symulatora skoków spadochronowych (m.in. opracowałem model symulacyjny spadochronu, sterowników synchronizacji przyziemienia w warunkach symulacyjnych, mikrokomputerowy system pomiaru wychyleń sterówek, system wizualizacji VR), b) modułów transmisji (m.in. definicja i implementacja autorskiego protokołu transmisji w mikrokomputerowych modułach nadawczo-odbiorczych), c) systemu identyfikacji skoku (m.in. realizacja systemu pomiaru sił w linkach spadochronu) d) spadochronowego rejestratora eksploatacyjnego (m.in. definicja źródeł sygnałów, opracowanie wybranych algorytmów obliczeniowych, w tym algorytmów AHRS umożliwiających działanie w warunkach spadku swobodnego) e) opracowanie wybranych algorytmów wspomagania instruktora (np. zdalnej detekcji braku

			<p>otwarcia spadochronu, bieżącej estymacji tzw. stożka dolotowego</p> <ul style="list-style-type: none"> - Próby dowodowe systemu: <ul style="list-style-type: none"> a) organizacja prób i procesu weryfikacji symulatora skoków spadochronowych przez instruktorów spadochronowych b) organizacja prób i opracowanie metodyki badań rejestratorów spadochronowych, c) organizacja prób i opracowanie metodyki badań mających na celu pozyskanie danych o sytuacjach anormalnych w trakcie skoków (w tym asymetrycznego wypełnienia spadochronu, próby lotów na rozdartej czaszy) mających na celu ich odwzorowanie w warunkach symulacyjnych, d) organizacja prób i opracowanie metodyki badań mających na celu weryfikację wpływu bieżącej komunikacji instruktor-uczeń na poprawę bezpieczeństwa szkolenia (próby dowodowe z użyciem symulatora skoków spadochronowych). <p>Zadania kierownicze:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bieżąca komunikacja z instytucją pośredniczącą – Narodowym Centrum Badań i Rozwoju - Sprawozdawczość wobec instytucji pośredniczącej - Zarządzanie projektem - Sporządzanie raportów cząstkowych i raportu końcowego z projektu - Przygotowanie dokumentacji i nadzór nad realizacją zamówień - Przygotowanie dokumentacji niezbędnej do złożenia wniosku patentowego
--	--	--	---

Realizacja tych projektów zaowocowała współpracą z licznymi ośrodkami badawczymi, w tym z centrami badawczymi przedsiębiorstw sektora lotniczego. W szczególności były to: Politechnika Warszawska – w ramach projektów MYSTERY oraz wielofunkcyjnego szybowca nowej generacji; Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych – w ramach projektu LOT; a także Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia – w zakresie wdrażania systemu PRP-W2 (patrz rozdział 7.1.1).

W latach 2016–2023 byłem zaangażowany w międzynarodowy projekt COAST, pełniąc funkcję jego kierownika z ramienia Politechniki Rzeszowskiej. Współpracowałem w nim z Centro Italiano Ricerche Aerospaziali (CIRA, Włochy), Siecią Badawczą Łukasiewicz – Instytutem Lotnictwa oraz firmą Honeywell s.r.o. (Czechy). Jako inżynier weryfikacji uczestniczyłem w trzech seriach badań w locie (Kunovice – Czechy w latach 2021, 2022, 2023), obejmujących badania opracowanych w projekcie systemów.

Efektom realizacji projektu było powstanie szeregu publikacji naukowych. Ponadto na przełomie czerwca i lipca 2024 roku odbyłem dwutygodniowy staż w CIRA, realizowany w formule hybrydowej. Przedmiotem stażu były prace nad specyfikacją Zintegrowanej Bazy Zagrożeń Lotniczych (Unified Hazard Database). Pierwszy tydzień stażu odbył się w siedzibie CIRA w Capui, natomiast drugi zrealizowano w trybie zdalnym. Za dotychczasową współpracę z przemysłem i otoczeniem biznesowym oraz współpracę międzynarodową otrzymałem Nagrody Rektora Politechniki Rzeszowskiej (**Załącznik N1 i Załącznik N6**).

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę

6.1. Osiągnięcia dydaktyczne

6.1.1. Promotorstwo prac doktorskich w funkcji promotora pomocniczego

Pełnię funkcję promotora pomocniczego w doktoracie Pana **Piotra Szweda**, którego tematem jest opracowanie metodyki oceny podmuchów, szczególnie tych stwarzających zagrożenie podczas podejścia do lądowania oraz w doktoracie Pana **Kamila Ziółkowskiego** dotyczącym wykorzystania zaawansowanych metod pomiarowych do poprawy estymacji wysokości lotów balonów stratosferycznych.

6.1.2. Promotorstwo prac magisterskich i inżynierskich oraz recenzje prac magisterskich i inżynierskich

Podczas pracy w Politechnice Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza byłem promotorem:

- 33 prac inżynierskich,
- 26 prac magisterskich.

Ponadto zrecenzowałem:

- 15 prac inżynierskich,
- 17 prac magisterskich.

6.1.3. Prowadzone zajęcia dydaktyczne

W ramach pracy zawodowej od 2008 roku do dziś prowadziłem dla studentów następujące zajęcia:

Wykłady:

- | | |
|---|----------------|
| - Informatyczne systemy awioniki | - koordynator, |
| - Technika cyfrowa i systemy mikroprocesorowe | - koordynator, |
| - Mikroprocesory i układy programowalne | - koordynator, |
| - Instalacje pokładowe | - koordynator. |

Projekty:

- | | |
|----------------------------------|----------------|
| - Przyrządy pokładowe | - koordynator, |
| - Projekt inżynierski | - koordynator, |
| - Technika cyfrowa w lotnictwie, | |
| - Mikrokontrolery, | |

Ćwiczenia:

- | | |
|---------------------------------|----------------|
| - Czynniki ludzkie w lotnictwie | - koordynator, |
| - Instalacje pokładowe. | |

Laboratoria:

- | | |
|---|----------------|
| - Informatyczne systemy awioniki | - koordynator, |
| - Technika cyfrowa i systemy mikroprocesorowe | - koordynator, |
| - Mikroprocesory i układy programowalne | - koordynator, |
| - Podstawy elektroniki. | |

6.1.4. Przygotowane programy kształcenia i stanowiska laboratoryjne

W ramach pracy zawodowej od 2008 do dzisiaj opracowałem karty przedmiotów oraz wykłady dla następujących modułów realizowanych na Politechnice Rzeszowskiej:

- Informatyczne systemy awioniki,
- Technika cyfrowa i systemy mikroprocesorowe,
- Mikroprocesory i układy programowalne,
- Czynniki ludzkie w lotnictwie,
- Czynniki ludzkie w organizacji ruchu lotniczego,
- Projekt inżynierski.

Jestem autorem lub współautorem stanowisk laboratoryjnych dla przedmiotów:

- | | |
|---|---------------------|
| - Informatyczne systemy awioniki | - autor, |
| - Technika cyfrowa i systemy mikroprocesorowe | - autor, |
| - Mikroprocesory i układy programowalne | - autor, |
| - Technika cyfrowa w lotnictwie | - autor, |
| - Mikrokontrolery | - autor, |
| - Czynniki ludzki w lotnictwie | - autor/współautor, |
| - Instalacje pokładowe | - współautor, |
| - Podstawy elektroniki | - współautor. |

6.1.5. Zajęcia dla studentów z zagranicy

W swojej pracy zawodowej aktywnie wspieram wymianę wiedzy między ośrodkami naukowymi. Regularnie prowadzę zajęcia na Politechnice Rzeszowskiej dla studentów programu Erasmus, m.in. dotyczące programowania mikrokomputerów jednoukładowych oraz lotniczych systemów pokładowych. Ponadto prowadziłem wykłady dla studentów uczelni zagranicznych w ramach akademickiej wymiany Erasmus, w szczególności:

- Universitat Politècnica de València (Walencja, Hiszpania) – 16–20.05.2016,
- Universidade da Beira Interior (Covilhã, Portugalia) – 6–10.05.2019,
- Universidad Rey Juan Carlos (Madryt, Hiszpania) – 2–6.05.2022,
- Universidad de León (León, Hiszpania) – 5–9.05.2024.

6.1.6. Inne osiągnięcia dydaktyczne

Od 2008 r., w ramach powierzonych mi zadań na Politechnice Rzeszowskiej, jestem członkiem kadry dydaktycznej realizującej wykłady, ćwiczenia, projekty i laboratoria na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa. Działam w ramach Zatwierdzonej Organizacji Szkolenia Personelu Obsługi Technicznej Part-147, zgodnie z wymaganiami przepisów EASA Part-147, punkt 147.A.105 oraz 147.A.110

6.2. Osiągnięcia organizacyjne

6.2.1. Osiągnięcia w okresie studiów doktoranckich na Politechnice Rzeszowskiej

W latach 2009–2013 pełniłem funkcję Przewodniczącego **Samorządu Doktorantów Politechniki Rzeszowskiej**.

Jestem współzałożycielem oraz pierwszym Przewodniczącym **Porozumienia Doktorantów Uczelni Technicznych**, założonego w 2008 roku.

6.2.2. Działalność kół naukowych

Jestem współzałożycielem **Koła Naukowego EUROAVIA**, działającego na Politechnice Rzeszowskiej nieprzerwanie od 2004 roku. W ramach działalności w kole miałem przyjemność dwukrotnie reprezentować uczelnię na wydarzeniach międzynarodowych: AMEAC Pisa 2004, podczas którego Politechnika Rzeszowska została włączona w struktury organizacji EUROAVIA, oraz AMEAC Zagreb 2005, gdzie uczelnia uzyskała pełne prawa członkowskie (status Affiliated Society).

W 2024 roku podjąłem się również opieki naukowej nad **Kołem Naukowym AREA**, funkcjonującym przy Katedrze Awioniki i Sterowania. Działalność koła koncentruje się na projektowaniu zaawansowanych systemów awioniki oraz tworzeniu systemów symulacyjnych na potrzeby przemysłu lotniczego i kosmicznego.

6.2.3. Współpraca z przemysłem

Jestem koordynatorem d.s. współpracy Politechniki Rzeszowskiej z The Boeing Company. W ramach tej inicjatywy współorganizowałem lub koordynowałem:

- staże dla studentów Politechniki Rzeszowskiej (ponad 20 staży),
- cykl szkoleń dla studentów w ramach inicjatywy Boeing Week (maj 2024, maj 2025),
- szkolenia uczniów szkół średnich w ramach inicjatywy Newton Room (maj 2022).

Moje działania przyczyniły się do uzyskania dotacji na rozwój laboratoriów Politechniki Rzeszowskiej w ramach projektu **LEAP**, finansowanego przez The Boeing Company. Projekt ten skierowany jest do studentów kierunku Lotnictwo i Kosmonautyka i ma na celu rozwój ich umiejętności oraz wiedzy w zakresie projektowania, użytkowania i eksploatacji urządzeń awioniki na statkach powietrznych. Pełnię funkcję jego kierownika tego projektu. Ponadto jestem autorem wniosku o dofinansowanie w ramach projektu **LAPWING**, którego celem jest opracowanie studenckiego symulatora lotu samolotu. Również w przypadku tego projektu pełnię rolę jego kierownika.

W ramach pracy zawodowej w organizacjach PILC i PILC sp. z o.o. organizowałem praktyki studenckie, pełniąc funkcję koordynatora praktyk (ponad 10 staży dla studentów, m.in. Politechniki Rzeszowskiej i Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie).

6.2.4. Inne osiągnięcia organizacyjne

Od 2021 roku jestem członkiem **Wydziałowej Komisji ds. Zapewnienia Jakości Kształcenia** na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa.

Byłem członkiem komitetu organizacyjnego:

- V Konferencji Awioniki,
- VI Konferencji Awioniki,
- VII Konferencji Awioniki.

6.3. Popularyzacja nauki i sztuki

6.3.1. Projekt EBS w ramach Airbus Fly Your Ideas

W 2016 roku podjąłem się opieki naukowej nad studenckim projektem Express Boarding System (EBS), realizowanym w ramach inicjatywy firmy Airbus. Studenci Politechniki Rzeszowskiej zakwalifikowali się do finału tego międzynarodowego konkursu. Jego przebieg był szeroko relacjonowany w mediach lokalnych, ogólnopolskich i międzynarodowych, a jednym z efektów projektu była możliwość zaprezentowania przeze mnie osiągnięć zespołu przed Radą Główną **ICAO** w Montrealu w czerwcu 2016 roku.

6.3.2. Misje balonów stratosferycznych

W 2021 roku objąłem opieką grupę studentów zainteresowanych prowadzeniem misji stratosferycznych. Współpraca ta zaowocowała realizacją szeregu misji, których celem było testowanie urządzeń awioniki zaprojektowanych przy moim merytorycznym wsparciu. Bezpośrednim efektem tych działań było założenie przez studentów spółki **Supercluster**, działającej na terenie województwa podkarpackiego. Firma ta pozyskała finansowanie z Europejskiej Agencji Kosmicznej (w ramach projektu ESA BIC) na rozwój systemów stratosferycznych, a obecnie prowadzi liczne szkolenia dla młodzieży szkolnej w ramach programu **StratoSTEM** we współpracy z Podkarpackim Centrum Innowacji oraz The Boeing Company.



Rys. 2. Przygotowania do pierwszej misji stratosferycznej Supercluster [zdj. PCI domena publiczna]

6.3.3. Współpraca z Podkarpackim Centrum Innowacji w ramach Akademii Protolab

W 2021 roku podjąłem się roli mentora, prowadząc szkolenie dla młodzieży uczestniczącej w II edycji programu **Akademia Protolab**, organizowanego przez **Podkarpackie Centrum Innowacji**. Podczas zajęć przybliżałem uczestnikom zagadnienia projektowania dla przemysłu lotniczego i kosmicznego, ze szczególnym uwzględnieniem organizacji projektów oraz modelu rozwoju według Diagramu V. Pełniłem również funkcję jurora, odpowiedzialnego za merytoryczną ocenę przygotowanych przez uczestników projektów.

6.3.4. Politechniczna sieć Via Carpathia im. Prezydenta RP Lecha Kaczyńskiego

W 2023 roku, w ramach **Politechnicznej Sieci Via Carpathia**, prowadziłem cykl wykładów dla młodzieży szkół średnich z województwa podkarpackiego na temat symulacji właściwości statków powietrznych oraz budowy systemów automatycznego sterowania lotem.

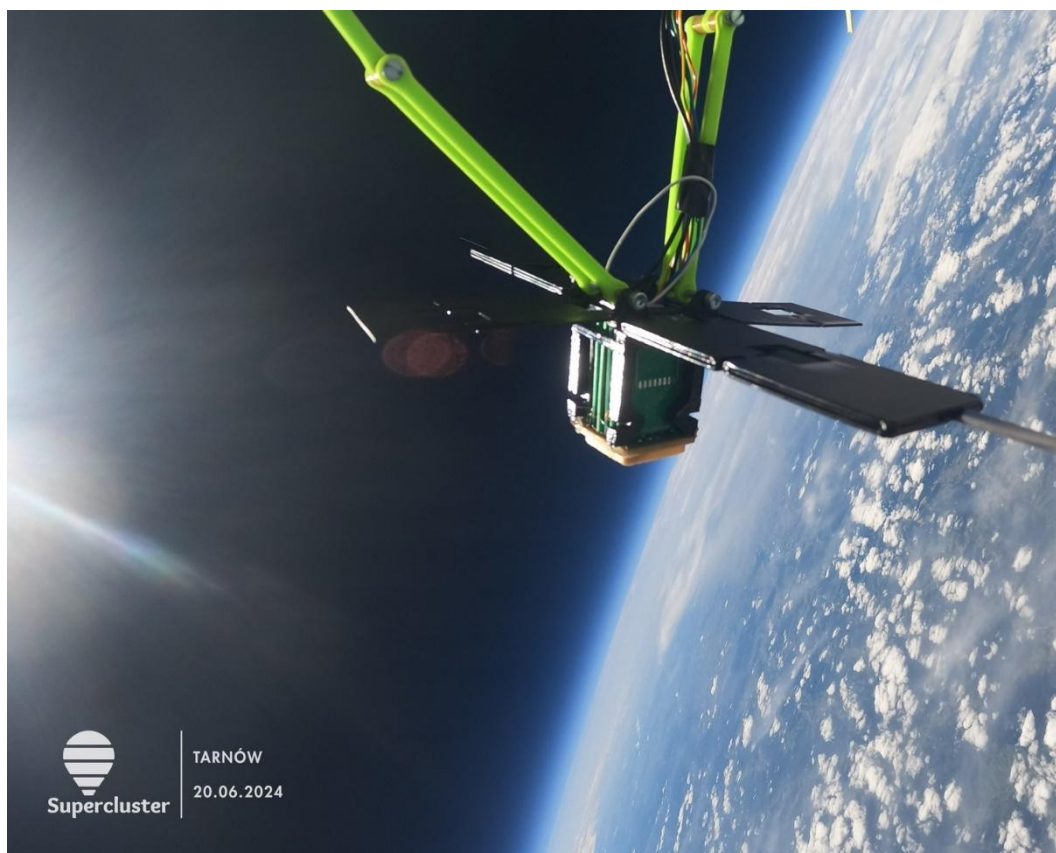
6.3.5. Stratosferyczna misja PocketCube

W 2022 roku zainicjowałem i objąłem opieką grupę studentów zainteresowanych projektowaniem oraz budową systemów typu PocketCube (miniaturowych satelitów). Pod moim kierunkiem powstał pierwszy w Polsce demonstrator satelity o strukturze modułowej, który stanowił efekt zarówno pracy zespołu, jak i mojego bezpośredniego wsparcia koncepcyjnego i technicznego. W projekcie pełniłem rolę koordynatora oraz głównego opiekuna merytorycznego, odpowiadając m.in. za:

- opracowanie założeń architektury systemu,
- nadzór nad projektowaniem i integracją modułów,
- wsparcie w tworzeniu oprogramowania dla kluczowych podsystemów,
- prowadzenie prac dyplomowych i projektów inżynierskich powiązanych z misją.

Wykorzystując wcześniejsze doświadczenia w realizacji eksperymentów stratosferycznych oraz we współpracy z firmą Supercluster, zorganizowałem i nadzorowałem misję testową demonstratora,

podczas której urządzenie osiągnęło wysokość około 33 km. Projekt spotkał się z szerokim zainteresowaniem i był relacjonowany w mediach zarówno lokalnych, jak i ogólnopolskich.



Rys. 3. Satelita PocketCube K.N. Area w trakcie lotu w stratosferze [zdj. Supercluster]

6.3.6. Inne osiągnięcia promujące naukę

W mojej działalności zawodowej kieruję się przekonaniem, że upowszechnianie wiedzy i wyników badań stanowi istotny element budowania społeczeństwa opartego na rozwoju i innowacjach. Z tego względu popularyzuję realizowane przeze mnie wdrożenia i doświadczenia również wśród osób dopiero rozpoczynających swoją drogę edukacyjną, wierząc, że może to stać się impulsem do wyboru kierunków technicznych.

Wdrożone przeze mnie systemy symulacji, oparte na autorskich modelach zachowania statków powietrznych — w tym konstrukcji nietypowych, takich jak paralotnie czy spadochrony — były wielokrotnie prezentowane podczas wydarzeń o zasięgu krajowym. Osobiście przedstawiałem te rozwiązania na ponad piętnastu konferencjach i targach w Polsce (m.in. MSPO, Moc Odkrywców, I Kongres Lotniczy i Kosmiczny, CZT Aeronet), umożliwiając ponad 500 osobom bezpośrednie zapoznanie się z zaawansowanymi symulatorami wykorzystującymi technologię wirtualnej rzeczywistości.

Współpracując z firmą **Parastyle**, opracowałem pierwszy w Polsce program szkolenia paralotniowego zatwierdzony przez **Urząd Lotnictwa Cywilnego**, dopuszczający skonstruowane pod moim nadzorem symulatory do stosowania jako narzędzie wspomagające proces szkoleniowy. Rozwiązanie to umożliwia bezpieczne prowadzenie treningu pod nadzorem instruktora, sprzyja kształtowaniu prawidłowych nawyków pilotażowych oraz pozwala na naukę rozpoznawania niebezpiecznych stanów lotu.

7. Inne informacje dotyczące kariery zawodowej

7.1. Wdrożenia

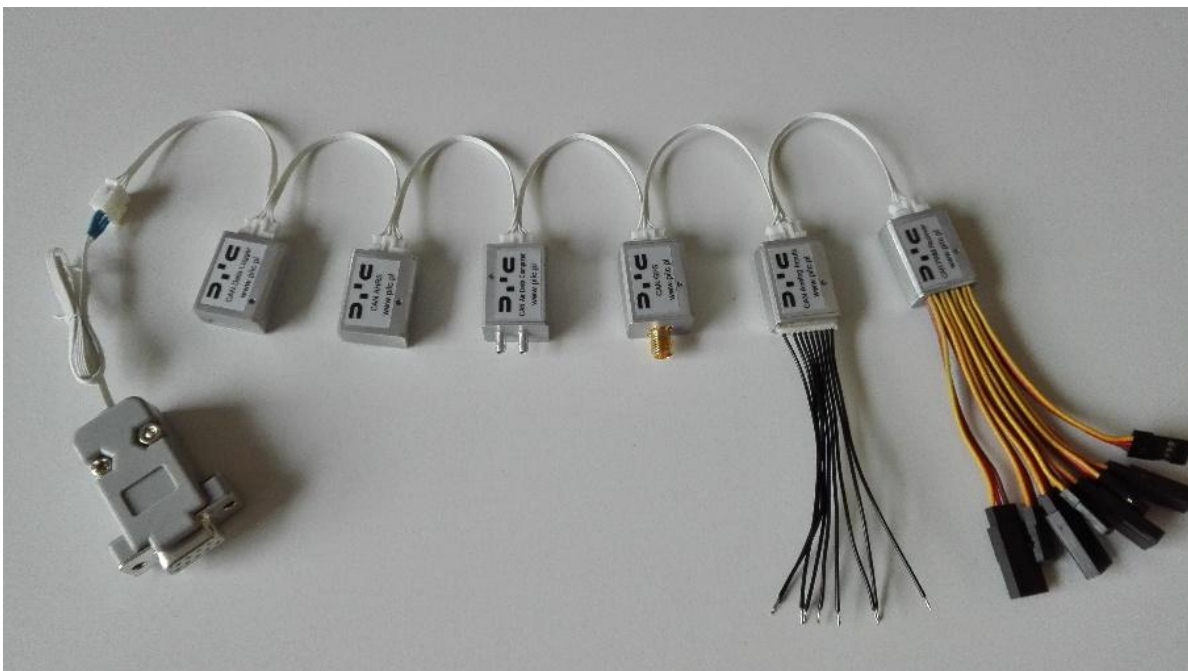
Szczegółowy wykaz wdrożeń został przeze mnie przedstawiony w części III, rozdziale 3 **Wykazu osiągnięć naukowych albo artystycznych stanowiących znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny**, stanowiącego załącznik nr IV do wniosku. Pragnę równocześnie nadmienić, że stanowi on efekt współpracy z otoczeniem gospodarczym, w szczególności z firmami z branży lotniczej w województwie podkarpackim. Mając na uwadze kontekst tematyki niniejszego wniosku („Zaawansowane systemy poprawy bezpieczeństwa w lotnictwie”), w części dotyczącej wdrożeń przedstawię wyłącznie te z nich, które nawiązują do niego tematycznie, a w których opracowaniu brałem istotny udział.

7.1.1. System rejestracji PRP-W2

Wzmiankowany w rozdziale 4.2.1 autoreferatu system PRP-W2 jest miniaturowym, rozproszonym systemem rejestracji danych pomiarowych, przeznaczonym do zastosowań badawczych, m.in. na pokładach statków powietrznych załogowych i bezzałogowych. System został opracowany w latach 2015–2016 i wdrożony przez firmę PILC Józef Grzybowski (załącznik IV, część III, pozycja R1 oraz pozycja T1).

W ramach realizacji wdrożenia pełniłem funkcję kierownika projektu oraz konstruktora. Byłem autorem koncepcji systemu oraz jego architektury, w tym rozproszonej struktury modułowej opartej na magistrali CAN, a także sprawowałem nadzór merytoryczny nad pracami zespołu projektowego realizującego system.

Do moich zadań należało w szczególności określenie założeń konstrukcyjnych systemu wynikających z analizy możliwości i ograniczeń czujników MEMS, zaprojektowanie struktury sprzętowej modułów pomiarowych oraz opracowanie ogólnej struktury oprogramowania modułów. Istotnym elementem mojego wkładu było opracowanie autorskiego protokołu zapisu danych na kartę pamięci, uwzględniającego znaczniki czasowe, umożliwiającego synchronizację danych pochodzących z wielu rozproszonych czujników komunikujących się za pośrednictwem magistrali CAN.



Rys. 4. System rejestracji PRP-W2 [zdj. PILC JG]

Do kluczowych wyróżniających właściwości systemu PRP-W2, opisanych m.in. w publikacji [Załącznik A2] ujętej w Wykazie osiągnięć, należy rozproszona architektura pomiarowa, w której akwizycja i rejestracja danych realizowane są w wielu niezależnych modułach pomiarowych, w odróżnieniu od powszechnie stosowanych w okresie opracowania systemu scentralizowanych rejestratorów danych. Zastosowanie magistrali CAN oraz opracowanego przeze mnie mechanizmu znaczników czasowych umożliwiło precyzyjną synchronizację danych z wielu czujników, co nie było zapewniane przez typowe rozwiązania wykorzystywane w badaniach małowabarytowych rakiet czy np. szybowców. Dodatkowo miniaturowe wymiary modułów pomiarowych, będące efektem opracowanych przeze mnie założeń konstrukcyjnych, umożliwiły ich instalację bezpośrednio w miejscach pomiaru, co w praktyce nie było osiągalne w przypadku istniejących systemów tej klasy. W konsekwencji system PRP-W2 umożliwił realizację badań pomiarowych niedostępnych przy zastosowaniu rozwiązań dostępnych w momencie jego opracowania. Przykładem takich zastosowań jest wykorzystanie systemu w ramach prób dowodowych opisanych w publikacji „Zastosowanie metod analizy falkowej do detekcji wybranych zdarzeń w zapisach parametrów lotu lekkich statków powietrznych” autorstwa dr. hab. inż. Pawła Rzucidło.

7.1.2. Symulator PSVR-01

Jestem autorem koncepcji oraz pełniłem funkcję głównego konstruktora symulatora z hybrydowym systemem wizualizacji (ekran + gogle VR), opracowanego w 2015 roku. Symulator został wdrożony przez firmę PILC Józef Grzybowski w Fundacji Wspierania Edukacji przy Stowarzyszeniu „Dolina Lotnicza” (załącznik IV, część III, pozycja R2 oraz pozycja T2).

Założeniem wysokiego poziomu przyjętym dla tego projektu było umożliwienie możliwie szerokiej grupie odbiorców zapoznania się z podstawowymi zasadami sterowania statkiem powietrznym podczas publicznych prezentacji. Przeprowadzone przeze mnie analizy wstępne wykazały, że zastosowanie klasycznych symulatorów lotu w takich warunkach jest utrudnione z uwagi na ich ograniczoną mobilność oraz czas niezbędny do przygotowania użytkownika przez instruktora, nawet do krótkiego lotu.

W ramach prac koncepcyjnych opracowałem architekturę symulatora wykorzystującą równoległe wyświetlanie obrazu w goglach wirtualnej rzeczywistości oraz na monitorze komputera. Warto podkreślić, że w 2015 roku dostępność zarówno oprogramowania obsługującego gogle VR, jak i rozwiązań umożliwiających równoczesną prezentację sytuacji lotniczej na dodatkowym ekranie była bardzo ograniczona. O ile dla osób wyszkolonych korzystanie wyłącznie z gogli VR nie stanowiło bariery, o tyle w sytuacji wymagającej natychmiastowego przejęcia sterowania przez instruktora brak równoległej wizualizacji uniemożliwiało prowadzenie działań korekcyjnych.



Rys. 5. Symulator PSVR-01 [zdj. własne]

Dzięki opracowanym przeze mnie założeniom technicznym i implementacji dedykowanych rozwiązań możliwe stało się równoczesne wyświetlanie danych lotu na ekranach wbudowanych w symulator (przeznaczonych dla instruktora) oraz w goglach VR (przeznaczonych dla użytkownika). Ponadto zdefiniowałem i wdrożyłem szereg dodatkowych usprawnień, w tym system ruchomych stanowisk sterownic, umożliwiające szybkie i ergonomiczne zmiany użytkowników. Założona przepustowość operacyjna symulatora wynosiła 12 użytkowników na godzinę.

Opracowany przeze mnie symulator był jednym z pierwszych – jeśli nie pierwszym – w Polsce umożliwiających doświadczenie lotu z wykorzystaniem gogli wirtualnej rzeczywistości przy jednoczesnym zachowaniu pełnej kontroli instruktorskiej. Jest on użytkowany do dnia dzisiejszego, zapewniając realistyczne warunki szkoleniowe oraz bezpieczne środowisko do popularyzacji wiedzy lotniczej bez ograniczeń wiekowych.

7.1.3. Symulator PSVR-02

W 2017 roku byłem autorem koncepcji oraz głównym konstruktorem symulatora skoków spadochronowych PSVR-02, opracowanego przez firmę PILC Józef Grzybowski i wdrożonego w firmie FIN sp. z o.o. (załącznik IV, część III, pozycja R3 oraz pozycja T3). Była to pierwsza w całości polska konstrukcja umożliwiająca przeprowadzenie skoków spadochronowych w warunkach rzeczywistej immersji wirtualnej rzeczywistości, a jej wdrożenie stanowiło znaczący krok w krajowym rozwoju interaktywnych systemów szkoleniowych VR. Symulator był intensywnie eksploatowany w licznych pokazach publicznych, umożliwiając ponad 1000 użytkownikom w okresie około trzech lat doświadczenie kluczowych wrażeń towarzyszących skokom spadochronowym.



Rys. 6. Symulator PSVR-02 [zdj. własne]

W ramach projektu odpowiadałem za pełne opracowanie koncepcji systemu, obejmujące zarówno architekturę mechaniczną symulatora, jak i jego podstawowe rozwiązania funkcjonalne. Zaprojektowałem konstrukcję umożliwiającą odwzorowanie faz lotu na otwartym spadochronie, opracowałem koncepcję i implementację środowiska wizualizacji opartego na goglach VR oraz przygotowałem modele symulacyjne czasz spadochronowych, integrując je następnie z całą platformą sprzętowo-programową. Szczególnie istotnym elementem mojego wkładu było stworzenie modelu symulacyjnego spadochronu szybującego o nieliniowych właściwościach, który — jako pierwsze tego typu rozwiązanie w krajowych symulatorach VR — zapewniał realistyczne odwzorowanie zarówno stabilnych faz szybowania spadochronu, jak i złożonych manewrów, takich jak spirala czy oscylacje („bujanie”) wynikające z gwałtownego wychylenia sterówek. Ponadto zaprojektowałem i wdrożyłem dedykowany system pomiarowy, który umożliwiał precyzyjną konwersję ruchów sterówek na sygnały wejściowe interpretowane przez symulator.

Opracowane przeze mnie rozwiązania miały charakter pionierski w skali krajowej i stworzyły podstawy do dalszego rozwoju wysoko immersyjnych symulatorów spadochronowych. Co istotne, wypracowane koncepcje, modele i rozwiązania techniczne stały się również podwaliną do rozpoczęcia prac konstrukcyjnych nad kolejnym, znacznie bardziej zaawansowanym systemem szkoleniowym PSSP-01, rozwijanym już w oparciu o doświadczenia uzyskane w projekcie PSVR-02.

7.1.4. Zintegrowany System Wspomagania Procesu Szkolenia Spadochronowego PSSP-01

W latach 2019–2022 pełniłem funkcję **kierownika zarządzającego projektem** oraz **architekta systemu** w interdyscyplinarnym zespole badawczo-rozwojowym, odpowiedzialnym za opracowanie i wdrożenie Zintegrowanego Systemu Wspomagania Procesu Szkolenia Spadochronowego PSSP-01 (załącznik IV, część II.3, część III, pozycje R5 oraz T5).

Celem projektu było stworzenie kompleksowego, nowatorskiego środowiska technologicznego, służącego zwiększeniu poziomu bezpieczeństwa oraz efektywności procesu szkoleniowego w spadochroniarstwie. System został zaprojektowany jako wielomodułowa platforma, łącząca zaawansowaną symulację lotu, rejestrację danych rzeczywistych, analizę parametrów operacyjnych oraz zdalny nadzór instruktorski – zarówno w warunkach symulacyjnych, jak i podczas faktycznych skoków. Wybrane aspekty systemu zostały zaprezentowane w rozdziale 4.2.

Jednym z głównych rezultatów projektu było zaprojektowanie i wdrożenie symulatora spadochronowego PSVR-04 (rys. 7), działającego w oparciu o technologię wirtualnej rzeczywistości.

Jego konstrukcja bazuje na opracowanym przeze mnie modelu symulacyjnym, odwzorującym opadanie skoczka z otwartą czaszą spadochronu. Model ten został opracowany na podstawie danych pomiarowych z rzeczywistych skoków. W odróżnieniu od symulatora PSVR-02, symulator PSVR-04 posiada istotnie zmodyfikowany model właściwości lotnych, a także szereg moich autorskich rozwiązań technicznych poprawiających realizm symulacji, w tym m.in.:

- zaprojektowany przeze mnie system synchronizacji przyziemienia w warunkach symulacyjnych i rzeczywistych,
- system sterowania napływem powietrza na użytkownika, zależny od prędkości w symulacji,
- odwzorowanie zachowania spadochronu w wybranych sytuacjach awaryjnych.



Rys. 7. Symulator PSVR-04 [zdj. PILC sp. z o.o. domena publiczna]

Urządzenie umożliwia bezpieczne szkolenie w zakresie sterowania, nawigacji, reakcji na sytuacje awaryjne oraz ćwiczenie prawidłowego lądowania, z pełnym odwzorowaniem wpływu warunków atmosferycznych oraz błędów operatora. Symulator pozwala na wykształcenie pamięci mięśniowej oraz przygotowanie psychomotoryczne przed wykonaniem pierwszych skoków, co znacząco redukuje ryzyko operacyjne w szkoleniu podstawowym.

Równolegle opracowany został system pomiarowy GUARDA, będący pokładowym rejestratorem danych skokowych – tzw. „czarną skrzynką” spadochroniarza. GUARDA umożliwia akwizycję danych w czasie rzeczywistym z rzeczywistych skoków – w tym parametrów pozycji geograficznej, wysokości barometrycznej, prędkości pionowej, przyspieszeń oraz kątów orientacji przestrzennej użytkownika. Dzięki temu możliwe stało się prowadzenie szczegółowej analizy wykonania skoku, identyfikacja błędów proceduralnych, a także weryfikacja przebiegu incydentów lotniczych.

Opracowane przeze mnie algorytmy określania kątów orientacji i kursu zastosowane w tym produkcie były kluczowe dla analizy zachowania skoczka w fazie spadku swobodnego, a moja autorska koncepcja eksportu danych z rejestratora do symulatora skoków spadochronowych umożliwiła odtworzenie przebiegu skoku w symulatorze PSVR-04 nawet przez użytkowników nie posiadających doświadczenia w analizie danych z lotu.



Rys. 8. Rejestrator spadochronowy GUARDA-TE [zdj. PILC sp. z o.o. domena publiczna]

Rejestracja parametrów lotu pozwala na ich analizę po zakończeniu skoku, jednakże w wielu przypadkach konieczna reakcja musi nastąpić już w trakcie trwania sytuacji potencjalnie niebezpiecznej, zanim dojdzie do wypadku.

Z tego względu, w opracowanej przeze mnie koncepcji systemu PSSP-01, możliwa była bieżąca, dwutorowa komunikacja instruktora ze skoczkiem – nie tylko za pomocą klasycznej łączności głosowej (radiowej), ale również poprzez dodany kanał transmisji danych telemetrycznych.

Wymagało to stworzenia dedykowanego rozwiązania sprzętowego, umożliwiającego przesyłanie kluczowych parametrów lotu w czasie rzeczywistym w postaci zakodowanych danych cyfrowych. Jednym z głównych wyzwań technologicznych, które należało rozwiązać – i co zostało osiągnięte dzięki opracowanym przeze mnie autorskim protokołom transmisji – było zapewnienie zasięgu komunikacji

przekraczającego 30 km (czyli zakładanej maksymalnej odległości operacyjnej od stanowiska instruktora), przy jednoczesnym spełnieniu wymagań ograniczających moc nadajników radiowych, określonych przez Urząd Komunikacji Elektronicznej.

Przesyłane dane obejmują kluczowe parametry, takie jak wysokość lotu, pozycja geograficzna, kąty orientacji przestrzennej, indywidualnie dla każdego użytkownika systemu. Dane te przekazywane są w czasie rzeczywistym do stanowiska instruktorskiego w sposób, który minimalizuje zarówno opóźnienia wynikające z konieczności agregacji informacji, jak i eliminuje nieciągłości wizualizacji – m.in. poprzez zapobieganie tzw. efektowi stroboskopowemu ruchu (ang. motion strobing), przypominającemu skokowe zmiany położenia obiektu.

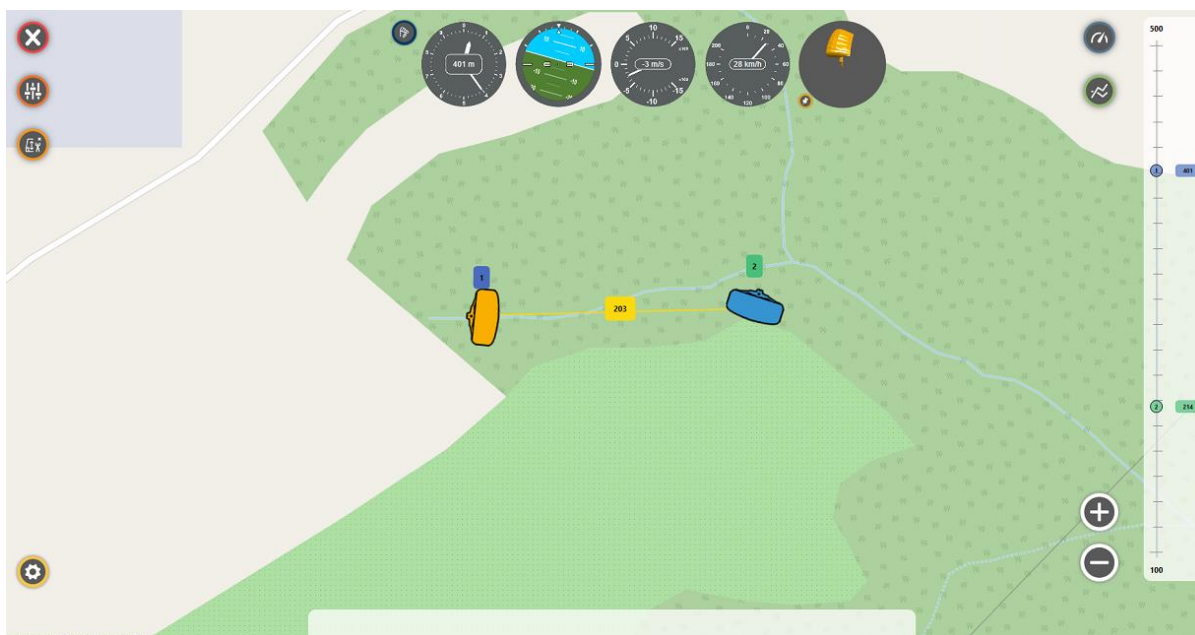


Rys. 9. System transmisji danych GURU [zdj. PILC sp. z o.o. domena publiczna]

Częścią stanowiącą istotne unowocześnienie w stosunku do istniejących rozwiązań był system nadzoru instruktorskiego GUIDE, w którym zaimplementowane zostały opracowane przeze mnie metody, które – dzięki wcześniej opisanej komunikacji z modułami transmisji GUARDA-TE za pośrednictwem dedykowanych modułów GURU – umożliwiały jednoczesny nadzór nad przebiegiem skoków grupy do 10 skoczków.

Instruktor otrzymywał w czasie rzeczywistym informacje trudne do uzyskania wyłącznie metodą wzrokową, takie jak: separacja odległościowa pomiędzy skoczkami (rys. 10), dynamiczna estymacja tzw. stożka dolotowego, a także automatyczne wykrywanie stanów zagrożenia i ich wizualna prezentacja na stanowisku instruktorskim (np. brak otwarcia czaszy spadochronu poniżej określonej wysokości). Opracowane metody są dostępne zarówno podczas szkolenia rzeczywistego, jak i symulacyjnego, co zapewnia ciągłość procesu edukacyjnego i umożliwia powtarzalne kształtowanie właściwych reakcji operatorów.

Metody te, których jestem autorem, w kontekście zastosowania w szkoleniu spadochronowym i paralotniowym znacząco wykraczają poza typowo stosowane.



Rys. 10. Wizualizacja wskazań separacji odległościowej z użyciem stanowiska instruktora GUIDE
[zdj. PILC sp. z o.o. domena publiczna]

System PSSP-01 został wdrożony w wybranych certyfikowanych ośrodkach szkoleniowych na terenie Polski, a jego założenia zostały pozytywnie ocenione przez środowisko instruktorskie oraz przedstawiciele Urzędu Lotnictwa Cywilnego (był on m.in. przedmiotem publikacji w Biuletynie Bezpieczeństwa Urzędu Lotnictwa Cywilnego nr 4(14)/2020). Rozwiązanie to zwiększa świadomość sytuacyjną instruktora, umożliwiając aktywne wspomaganie skoczków za pomocą kanału komunikacji głosowej – np. w przypadku paniki, nieprawidłowego wykonania procedur, zbyt małej separacji, a w sytuacjach krytycznych – szybszego zlokalizowania uszkodzonego.

Zintegrowane wykorzystanie symulacji, rzeczywistych danych lotnych oraz nadzoru instruktorskiego przyczyniło się do istotnego zwiększenia poziomu bezpieczeństwa operacyjnego, poprawy jakości szkolenia oraz ograniczenia liczby błędów popełnianych przez kandydatów na spadochroniarzy.

Projekt ten stanowi przykład efektywnego zastosowania wyników realizowanych przeze mnie badań naukowych i prac rozwojowych w praktyce szkoleniowej oraz wdrożenia innowacyjnych rozwiązań technologicznych w dziedzinie bezpieczeństwa lotniczego. Tym samym rozwiązania, które dotychczas były zarezerwowane dla lotnictwa komercyjnego – w szczególności wykorzystanie systemów symulacyjnych oraz obiektywnej rejestracji lotu – zostały wdrożone w segmencie lotnictwa, który wcześniej nie korzystał z tych metod, tj. w spadochroniarstwie i paralotniarstwie.

7.2. Nagrody i wyróżnienia

W uznaniu mojej działalności naukowej oraz zaangażowania w realizację projektów badawczych i dydaktycznych, otrzymałem następujące nagrody i wyróżnienia:

Lp.	Nagroda	Odwołanie
1	Nagroda organizacyjna zespołowa III stopnia Rektora Politechniki Rzeszowskiej za wyróżniające się zaangażowanie w realizację międzynarodowych projektów badawczych (kierownik zespołu)	[Załącznik N1]
2	Brązowy Medal za Długoletnią Służbę, nadany przez Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej	[Załącznik N2]
3	Nagroda Rektora Politechniki Rzeszowskiej za współautorstwo patentu	[Załącznik N3]
4	Medal Komisji Edukacji Narodowej	[Załącznik N4]
5	Zespołowe wyróżnienie Technical Highlights 2021 dla projektu COAST w ramach międzynarodowego programu Clean Aviation	[Załącznik N5, str. 27]
6	Nagroda organizacyjna indywidualna II stopnia Rektora Politechniki Rzeszowskiej za wyróżniającą się aktywność w zakresie współpracy z przemysłem i otoczeniem biznesowym	[Załącznik N6]

7.3. Certyfikaty i szkolenia

Moja działalność naukowa związana jest ściśle z rozwojem umiejętności potwierdzonej m.in. następującymi szkoleniami zawodowymi oraz językowymi:

Lp.	Szkolenie	Odwołanie
1	TUV NORD – ukończenie seminarium Wymagania EASA PART 66, PART 147	[Załącznik S1]
2	TUV NORD – ukończone szkolenie Wymagania PART 21	[Załącznik S2]
3	9STO – Wymagania normy AS9100D	[Załącznik S3]
4	ACG – DO178C/ED-12C: SOFTWARE ASPECTS OF CERTIFICATION	[Załącznik S4]
5	TELC – Certificado Español B2	[Załącznik S5]

___Piotr Grzybowski___

(podpis wnioskodawcy)