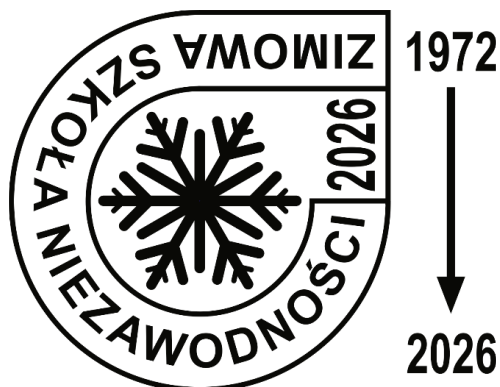


**MATERIAŁY LIV (54)
ZIMOWEJ SZKOŁY NIEZAWODNOŚCI**



**NIEZAWODNOŚĆ
SYSTEMÓW TECHNICZNYCH**

Opracowanie techniczne materiałów, skład i projekt okładki – Zbigniew Kasprzyk
Projekt strony www.zimowaszkolaniezawodnosci.pw.edu.pl – Mariusz Rychlicki

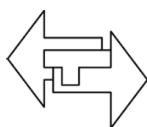
Niniejsza publikacja zawiera streszczenia referatów zakwalifikowanych przez Radę Programową Szkoły do wygłoszenia podczas obrad LIV Zimowej Szkoły Niezawodności.
Teksty wydrukowanych streszczeń zamieszczono w postaci nadesłanej przez autorów.

© Copyright by Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej, 2026

Druk: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Nakład 120 egz. Zamówienie nr 361/25

Cykliczna konferencja organizowana przez:

Wydział Transportu
Politechniki Warszawskiej
i
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych



Wydział Transportu

POLITECHNIKA WARSZAWSKA



Pod patronatem:

Komitetu Transportu
Polskiej Akademii Nauk
i
Komitetu Budowy Maszyn
Polskiej Akademii Nauk
i
Polskiego Naukowo-Technicznego
Towarzystwa Eksploatacyjnego

Szczyrk 2026

ORGANIZATORZY:

Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych

RADA PROGRAMOWA SZKOŁY

Przewodniczący

Tomasz Nowakowski (Politechnika Wrocławska)

Honorowi członkowie:

Tadeusz Salamonowicz (Politechnika Warszawska)
Józef Żurek (Lotnicza Akademia Wojskowa)

Członkowie:

Karol Andrzejczak (Politechnika Poznańska)
Anna Borucka (Polskie Naukowo-Techniczne Towarzystwo Eksploatacyjne, Wojskowa Akademia Techniczna)
Lech Bukowski (WSB Dąbrowa Górnicza)
Andrzej Chudzikiewicz (Urząd Transportu Kolejowego)
Tadeusz Dąbrowski (Wojskowa Akademia Techniczna)
Marianna Jacyna (Politechnika Warszawska)
Artur Kierzkowski (Politechnika Wrocławska)
Andrzej Niewczas (Instytut Transportu Samochodowego)
Robert Pilch (Akademia Górniczo-Hutnicza)
Adam Rosiński (Politechnika Warszawska, Wojskowa Akademia Techniczna)
Mirosław Siergiejczyk (Politechnika Warszawska)
Janusz Szpytko (Akademia Górniczo-Hutnicza)
Jan Szybka (Akademia Górniczo-Hutnicza)
Barbara Tchórzewska-Cieślak (Politechnika Rzeszowska)
Wojciech Wawrzyński (Politechnika Warszawska)
Sylvia Werbińska-Wojciechowska (Politechnika Wrocławska)
Mariusz Zieja (Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych)
Jan Żółtowski (Politechnika Warszawska)
Andrzej Żyluk (Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych)

KOMITET ORGANIZACYJNY

Przewodniczący

Mirosław Siergiejczyk

Wiceprzewodniczący:

Adam Rosiński
Mariusz Zieja

Członkowie:

Agnieszka Bodzioch
Wiktoria Kruszewska
Karolina Krzykowska-Piotrowska
Zbigniew Kasprzyk
Michał Lasota
Jakub Murawski
Piotr Pryciński
Mariusz Rychlicki

Spis streszczeń referatów *Abstracts of papers*

Emilia Arciechowska, Julia Kowalczyk, Wiktoria Kruszewska

- Analiza wpływu pandemii COVID-19 na sektor lotniczy i strategie zapobiegania podobnym kryzysom w przyszłości 11
Analysis of the impact of the COVID-19 pandemic on the aviation sector and strategies to prevent similar crises in the future

Elmi Alif Azmi, Janusz Szpytko

- Zrównoważona infrastruktura bezpieczeństwa ruchu drogowego: integracja strategii zero wypadków z praktykami inżynierii ekologicznej 13
Sustainable road safety infrastructure: integrating vision zero with green engineering practices

Munkhchuluun Baatarchuluun, Janusz Szpytko

- Niezawodność systemu energetycznego i zielona transformacja, studium przypadku 15
The reliability of technical systems and devices particularly: Mongolia's energy system reliability and green transition

Rafał Bazela, Piotr Waślicki

- Niezawodność amunicji 17
Ammunition reliability

Marcin Bednarek, Tadeusz Dąbrowski

- Bezpieczeństwo rozproszonego systemu sterowania 19
Safety and security of distributed control system

Krzysztof Blacha, Paweł Grabowski, Mariusz Wesołowski

- Wskaźnikowa ocena wytrzymałości warstwy przypowierzchniowej na odrywanie sztucznych nawierzchni lotniskowych 21
Indicative assessment of the peel strength of the surface layer of artificial airfield pavements

Agnieszka Blokus-Dziula, Przemysław Dziula

- Analiza niezawodności i gotowości systemów informacyjnych z uwzględnieniem zależności pomiędzy ich podsystemami 23
Reliability and availability analysis of information systems, taking into account the dependencies between their subsystems

Jerzy R. Bogdański, Mariusz Izdebski

- Analiza czynników zagrożenia bezpieczeństwa w procesie eksploatacji pojazdu z napędem elektrycznym 25
Analysis of safety hazard factors in the process of operation of an electric vehicle

Rafał Burdzik

- Jakość informacji i wyścig z czasem jako nowe wyzwania w diagnostyce i niezawodności 27
Quality of information and the race against time as emerging challenges in diagnostics and reliability

Mirosław Czerliński, Mariusz Izdebski

- Efektywność metody oceny wykluczenia komunikacyjnego dla potrzeb planowania zrównoważonej mobilności 29
Effectiveness of the method for assessing transport exclusion for sustainable mobility planning

Janusz Ćwiklak, Paweł Gołda

- Numeryczne modelowanie zderzeń statków powietrznych z modelami ptaków o różnych właściwościach materiałowych 31
Numerical modeling of aircraft collisions with bird models of different material properties

Stanisław Duer, Marek Woźniak, Radosław Duer, Dariusz Bernatowicz

Określenie okresu optymalnej obsługi systemu radarowego na podstawie niezawodności procesu jego eksploatacji	33
<i>Determining the period of optimal maintenance of the radar system based on the reliability of its operation process</i>	

Bartłomiej Dziewoński, Krzysztof Kaliszuk, Maciej Milewski, Mateusz Kucharski, Jacek Napora, Artur Kierzkowski, Tomasz Kisiel

Weryfikacja charakterystyk aerodynamicznych bezzałogowego statku powietrznego SkyRes z wykorzystaniem badań w tunelu aerodynamicznym	35
<i>Verification of the aerodynamic characteristics of the SkyRes unmanned aircraft using wind-tunnel testing</i>	

Bartłomiej Dziewoński, Artur Kierzkowski

Koncepcja metody oceny stanu technicznego lekkiego bezzałogowego statku powietrznego z wykorzystaniem badań w tunelu aerodynamicznym małych prędkości	37
<i>Concept of a method for assessing the technical condition of a light Unmanned Aerial Vehicle using dynamic loads in a low-speed wind tunnel</i>	

Piotr Franke-Wąsowski, Bálint Csonka, Jakub Murawski

Stochastyczna analiza odporności eksploatacyjnej i propagacji zakłóceń na regionalnych liniach kolejowych	39
<i>Stochastic analysis of operational resilience and disturbance propagation on regional railway lines</i>	

Natalia Gnacy, Sylwia Werbińska-Wojciechowska

Ocena dojrzałości odporności organizacyjnej w łańcuchach dostaw produktów drewnopochodnych poddanych transformacji cyfrowej z wykorzystaniem logiki rozmytej	41
<i>Fuzzy-based assessment of organizational resilience maturity in digitally transformed wood-based supply chains</i>	

Mariusz Izdebski, Paweł Gołda

Ocena niezawodności pojazdów naziemnych w obsłudze statków powietrznych	43
<i>Assessment of the reliability of ground vehicles in aircraft handling</i>	

Mariusz Izdebski, Ilona Jacyna-Golda

Niezawodność łańcuchów dostaw w transporcie ładunków niebezpiecznych	45
<i>Reliability of supply chains in the transport of hazardous materials</i>	

Anna Jodejko-Pietruczuk, Artur Kierzkowski, Tomasz Kisiel, Ewa Mardeusz, Jacek Ryczyński, Łukasz Wolniewicz

Koncepcja hybrydowego symulatora integrującego rzeczywisty i wirtualny świat do szkolenia operatora kontroli bezpieczeństwa w porcie lotniczym z zastosowaniem autonomicznego trenera opartego o agenta sztucznej inteligencji	47
<i>Concept of a hybrid simulator integrating the real and virtual world for training airport security screening operators using an autonomous trainer based on an artificial intelligence agent</i>	

Anna Jodejko-Pietruczuk, Artur Kierzkowski, Tomasz Kisiel, Ewa Mardeusz, Jacek Ryczyński, Łukasz Wolniewicz

Koncepcja zautomatyzowanego systemu szybkiego konfekcjonowania niejednorodnych ładunków lotniczych na paletowej jednostce transportowej	49
<i>Concept of an automated system for rapid kitting of heterogeneous air cargo on a palletized unit load device</i>	

Juliusz Karolak, Andrzej Kochan

Analiza ryzyka uszkodzenia przekątnika na danej stacji - założenia	51
<i>Risk analysis of relay failure at a given station – assumptions</i>	

Mykola Karpenko, Michał Stosiak, Bartłomiej Dziewoński	
Bezpieczeństwo drgań w e-hulajnogach z oponami pneumatycznymi i niepneumatycznymi	53
<i>Vibration safety in e-scooters with pneumatic and non-pneumatic tires</i>	
Karolina Kaszuba, Maksym Sobieraj, Anna Stelmach	
Transport kolejowy zieloną alternatywą dla lotów krajowych – możliwe scenariusze dla Polski	55
<i>Railway transport, green alternative for domestic flights – possible scenarios for Poland</i>	
Sheryar Khan, Janusz Szpytko	
Niezawodność systemów i urządzeń technicznych, studium przypadku	57
<i>The reliability of technical systems and devices, case study</i>	
Artur Kierzkowski, Tomasz Kisiel, Ewa Mardeusz, Jacek Ryczyński, David Valis, Łukasz Wolniewicz	
Koncepcja modelu oceny poziomu wyszkolenia motorniczych ukierunkowana na bezpieczeństwo i niezawodność systemu tramwajowego	59
<i>The concept of a model for assessing the level of training of tram drivers focused on the safety and reliability of the tram system</i>	
Ewelina Kobiałka, Janusz Ćwiklak, Artur Goś	
Zagrożenia dla bezpieczeństwa lotów spowodowane kolizjami statków powietrznych z ptakami	61
<i>Bird strike hazards to flight safety</i>	
Arkadiusz Koprowski, Romuald Rządkowski, Leszek Kubitz	
Niezawodność wirników małych turbin parowych	63
<i>Reliability of small steam turbine rotor</i>	
Jarosław Korzeb, Piotr Pryciński	
Mobilny układ analizy zanieczyszczeń komunikacyjnych: założenia projektowe, architektura systemu i wytyczne do badań terenowych	65
<i>Mobile monitoring system for traffic-related air pollution: design assumptions, architecture, and field study guidelines</i>	
Bernard Kostrubiec, Anna Kwasiborska, Paulina Owczarek	
Analiza procesu obsługi ładunków w magazynie lotniskowym oraz identyfikacja problemów operacyjnych	67
<i>Analysis of the cargo handling process in the airport warehouse and identification of operational problems</i>	
Piotr Kotylak, Marianna Jacyna, Jolanta Żak	
Ocena efektywności stacji ładowania z wykorzystaniem wybranych wskaźników	69
<i>Assessing the efficiency of charging stations using selected indicators</i>	
Wiktoria Kruszewska, Anna Stelmach	
Koncepcja wyważania wybranych statków powietrznych z uwzględnieniem charakterystyk masowych pasażerów	71
<i>The concept of aircraft weight and balance considering passenger mass characteristics</i>	
Karolina Krzykowska-Piotrowska, Piotr Pelka, Małgorzata Pelka	
Zastosowanie dużych modeli językowych (LLM) do automatycznej oceny jakości kształcenia na podstawie danych dydaktycznych	73
<i>Application of Large Language Models (LLM) for automatic assessment of teaching quality based on educational data</i>	
Michał Lasota, Marianna Jacyna, Mariusz Wasiak	
Zintegrowana ocena efektywności i ryzyka w drogowych przewozach ponadnormatywnych	75
<i>Integrated assessment of efficiency and risk in oversize road transport</i>	

Michał Lower, Jan Magott, Jacek Skorupski

- Hierarchiczne podejście do modelowania FRAM w ocenie bezpieczeństwa systemu 77
Hierarchical approach to FRAM modeling in system safety assessment

Michał Lower, Bogusław Szlachetko, Jędrzej Szczepaniak, Vlad Kozak

- Stabilność wielowirnikowego BSP z podwieszonym układem pomiarowym do wykrywania min lądowych 79
Stability of a Multirotor UAV with a suspended measurement system for landmine detection

Marcin Mazur

- Bezpieczeństwo a uwarunkowania technologiczno-prawne w zarządzaniu europejskimi zasobami satelitarnymi w przestrzeni kosmicznej 81
Security, technological and legal conditions in the management of European satellite resources in space

Michał Mazur

- Pomiar tłumienia światła przez dym powstający w wyniku spalania drewna o różnej wilgotności ... 83
Measurement of light attenuation by smoke from wood with different moisture content

Stanisław Młynarski, Anna Borucka

- Modelowanie intensywności zagrożeń w transporcie kolejowym z wykorzystaniem danych eksploatacyjnych 85
Modeling the intensity of threats in rail transport using operational data

Jakub Murawski, Piotr Franke-Wąsowski

- Wielokryterialny model lokalizacji obiektów magazynowych z uwzględnieniem aspektów zrównoważonego rozwoju 87
Multicriteria warehouse location model incorporating sustainability aspects

Tomasz Nowakowski

- Ciągłość działania organizacji typu uniwersytet – stan wiedzy 89
Continuity of operation of university-type organizations – state of the art

Marcin Nowosielski, Dobromir Jasiński, Marianna Jacyna

- Krzywe hamowania w systemie ETCS według baseline 2, a bezpieczny ruch pociągów 91
Braking curves in the ETCS system according to baseline 2 and safe train traffic

Gloria Ogiemhen, Janusz Szpytko

- Zwiększanie niezawodności systemów hydroenergetycznych poprzez konserwację predykcyjną 93
Enhancing the reliability of hydropower systems through predictive maintenance

Ewelina Orysiak

- Ocena gotowości infrastrukturalnej polskich portów śródlądowych do obsługi jednostek zasilanych LNG 95
Infrastructural preparedness of polish inland ports for LNG-fueled vessels

Wojciech Owczarzak

- Ocena niezawodności systemu pomiarowego strat energetycznych w kontakcie opona–nawierzchnia z wykorzystaniem replik 3D w zoptymalizowanych warunkach temperatury i ciśnienia 97
Assessment of the reliability of an energy-loss measurement system in the tyre–road contact using 3D replicas under optimised temperature and pressure conditions

Aleksandra Panek, Marianna Jacyna, Mariusz Wasiak

- Zastosowanie metod wielokryterialnych i symulacji komputerowej do oceny niezawodności i efektywności procesów magazynowych 99
Application of multi-criteria methods and computer simulation to assess the reliability and efficiency of warehouse processes

Jacek Paś, Tomasz Klimczak

Niezawodność zasilania energetycznego w elektronicznych systemach bezpieczeństwa - wybrane aspekty techniczne	101
<i>Power supply reliability in electronic security systems – selected technical aspects</i>	

Piotr Pelechaty, Łukasz Konieczny

Ocena ryzyka systemu diagnostyki pokładowej (OBD) w pojeździe	103
<i>Vehicle On-Board Diagnostic system (OBD) risk assessment</i>	

Robert Pilch, Stanisław Młynarski, Jan Szybka, Grzegorz Wiązania

Ocena niezawodności układów z adaptacyjną dyskretyzacją kroku czasowego	105
<i>Reliability assessment of systems with adaptive time step discretization</i>	

Piotr Pryciński, Jarosław Korzeb

Wybrane aspekty starzenia się środków transportu w kontekście oddziaływania pojazdów na otoczenie	107
<i>Selected aspects of aging means of transport in the context of the impact of vehicles on the environment</i>	

Franciszek J. Restel

Badania eksploatacyjne zdarzeń niepożądanych zakłócających ruch pociągów na linii szybkiej kolei miejskiej z wyczerpaną przepustowością	109
<i>Operational research of undesirable events disrupting train traffic on a rapid urban rail line with exhausted capacity</i>	

Mateusz Rożnowski, Dawid Szpak, Jakub Żywiec, Barbara Tchórzewska-Cieślak

Wielokryterialna metoda wspomagania decyzji w zakresie typowania przewodów wodociągowych do renowacji	111
<i>Multi-criteria method for supporting decisions on selecting water pipes for renovation</i>	

Mikołaj Rzepliński, Adrian Piątek, Paweł Susło

Wpływ automatyzacji systemów zarządzania ruchem lotniczym na bezpieczeństwo operacji lotniczych	113
<i>The impact of automation in air traffic management systems on the safety of air operations</i>	

Mirosław Siergiejczyk, Tadeusz Dąbrowski, Jarosław Łukasiak, Adam Rosiński

Analiza niezawodnościowa systemów sygnalizacji włamania i napadu	115
<i>Reliability analysis of intruder and hold-up alarm systems</i>	

Mirosław Siergiejczyk, Zbigniew Kasprzyk, Mariusz Rychlicki

Ocena dostępności sieci GSM-R na podstawie prognozowanych danych eksploatacyjnych	117
<i>Availability assessment of the GSM-R network based on predicted exploitation data</i>	

Mirosław Siergiejczyk, Przemysław Orłowski, Adam Rosiński

Analiza systemu ETCS w aspekcie bezpieczeństwa ruchu kolejowego	119
<i>Analysis of the ETCS system in terms of railway traffic safety</i>	

Jacek Skorupski, Piotr Uchroński

Model oceny skuteczności systemu ochrony lotniska przed bezałogowymi statkami powietrznymi	121
<i>Model for assessing the effectiveness of airport protection systems against unmanned aerial vehicles</i>	

Sławomir Sommer, Wojciech Owczarzak, Grzegorz Ronowski

Wpływ rodzaju nawierzchni badawczej na opór toczenia opon samochodowych w warunkach laboratoryjnych	123
<i>Effect of test surface type on rolling resistance of car tyres under laboratory conditions</i>	

Sławomir Sommer

Wpływ regulacji ciśnienia pompowania opon na opór toczenia w różnych warunkach eksploatacyjnych	125
<i>Effect of tyre inflation pressure regulation on rolling resistance under various operating conditions</i>	

Marek Stawowy, Meer Mahmood Abdella

Ocena jakości usługi ładowania samochodów elektrycznych z wykorzystaniem modelowania niepewności	127
<i>Evaluation of the quality of electric car charging services using uncertainty modeling</i>	

Janusz Szpytko

Odporność systemów cyberfizycznych w transporcie	129
<i>Resilience of cyber-physical systems in transportation</i>	

Wojciech Szura, Anna Kwasiborska

Dobór urządzeń obsługi naziemnej statków powietrznych w warunkach złożonych kryteriów decyzyjnych	131
<i>Selection of aircraft ground support equipment under complex decision-making criteria</i>	

Wasihun Keno, Janusz Szpytko

Predykcyjny proces obsługi zorientowany na niezawodność nowoczesnej infrastruktury transportu publicznego	133
<i>A systematic framework for reliability-centered predictive maintenance in modern public transport infrastructure</i>	

Michał Wiśnios, Rafał Bialek

Czynniki wpływające na niezawodność bezkontaktowego pomiaru przemieszczenia bazującego na sensorach PSD oraz diodach LED	135
<i>Factors affecting the reliability of non-contact displacement measurement based on PSD sensors and LEDs</i>	

Mateusz Woźniak, Artur Kierzkowski, Paweł Bury

Badania wstępne ultralekkich dwu- i czterowirnikowców z punktu widzenia niezawodności stabilizacji lotu, wydajności energetycznej oraz opłacalności produkcji	137
<i>Preliminary studies of ultralight twin- and quad-rotor aircraft from the perspective of flight stability reliability, energy efficiency and production profitability</i>	

Tadeusz Zaworski, Michał Wachlaczenko, Barbara Kaczmarek

Opracowanie i badanie hybrydowych zasobników pirotechnicznych	139
<i>Development and testing of hybrid pyrotechnic trays</i>	

Piotr Zdanowicz, Sławomir Tkaczyk, Juraj Jagelcak, Jarosław Korzeb, Andrzej Gągorowski

Ocena narażenia ładunku na drgania pionowe w przestrzeni transportowej dwuosowego samochodu ciężarowego	141
<i>Assessment of cargo exposure to vertical vibrations in the cargo space of a two-axle truck</i>	

Mariusz Zieja, Paweł Gołda, Justyna Tomaszewska

Integracja metod obliczeń kwantowych w systemach zarządzania ruchem lotniczym	143
<i>Integration of quantum computing techniques into air traffic management systems</i>	

Patryk Żuchowicz, Konrad Lewczuk

Metodyczne aspekty oceny bezpieczeństwa pracy wózków widłowych z wykorzystaniem wirtualnej rzeczywistości	145
<i>Methodological aspects of forklift safety assessment using virtual reality</i>	

Jakub Żywiec, Mateusz Rożnowski, Dawid Szpak, Barbara Tchórzewska-Cieślak

Metoda szacowania czasu naprawy sieci wodociągowej	147
<i>Method of estimating the repair time of a water supply network</i>	

Emilia Arciechowska, Julia Kowalczyk, Wiktoria Kruszewska

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

e-mail: wiktoria.kruszewska@pw.edu.pl

Analiza wpływu pandemii COVID-19 na sektor lotniczy i strategię zapobiegania podobnym kryzysom w przyszłości

Słowa kluczowe: pandemia COVID-19, zarządzanie kryzysowe, odporność operacyjna

Wprowadzenie

Pandemia COVID-19 stała się punktem zwrotnym w historii lotnictwa, powodując głęboki kryzys i znaczące straty w całym sektorze. W jej następstwie branża lotnicza przeszła liczne zmiany strukturalne i organizacyjne, których analiza pozwala lepiej zrozumieć proces odbudowy transportu lotniczego. Doświadczenia z pandemii doprowadziły do opracowania nowych strategii i procedur zwiększających odporność sektora, podkreślając znaczenie elastyczności operacyjnej, cyfryzacji oraz dywersyfikacji źródeł przychodu.

Problem badawczy i metoda badawcza

Skoncentrowano się i zweryfikowano, w jaki sposób pandemia COVID-19 wpłynęła na funkcjonowanie sektora lotniczego w Polsce i na świecie, oraz jak skuteczne okazały się zastosowane strategie naprawcze. W analizie przedstawiono również koncepcję strategii zapobiegania podobnym kryzysom w przyszłości, opartą na planach ciągłości działania i cyfryzacji. Analiza ma na celu wskazanie kierunków budowy trwałej odporności sektora lotniczego na zakłócenia o charakterze globalnym. W tym celu wykorzystano do badań algorytm masowej obsługi.

Wyniki

Modelowana jest sytuacja, w której część klientów ma wyższy priorytet, ale bez przerywania trwającej obsługi (non-preemptive). Dotyczy to np. lotów ratunkowych, cargo lub VIP, pasażerów transferowych lub niepełnosprawnych. System obsługuje klientów w kolejce z dwoma klasami priorytetowymi. Priorytetyzacja realnie skraca czas oczekiwania klasy wysokiej kosztem klasy niskiej – oznacza to, że np. lot ratunkowy uzyska szybszy dostęp do slotu startowego, ale lot komercyjny może zostać opóźniony. Taki system jest strategią kontroli przepływu – pozwala zachować ciągłość kluczowych operacji (np. loty medyczne) nawet w kryzysie.

Wnioski i podsumowanie

Pandemia COVID-19 spowodowała głęboki kryzys w lotnictwie cywilnym, ujawniając jego podatność na wahania popytu i brak skutecznych mechanizmów reagowania na globalne zagrożenia. Skuteczność przeciwdziałania jej skutkom zależała od szybkości reakcji, elastyczności operacyjnej, poziomu cyfryzacji oraz wsparcia państwowego. Doświadczenia z tego okresu przyczyniły się do przyspieszenia cyfryzacji i stworzenia podstaw nowego, bardziej odpornego i zrównoważonego modelu funkcjonowania branży lotniczej.

Bibliografia

1. International Air Transport Association (IATA), McKinsey & Company. Understanding the pandemic's impact on the aviation value chain. Montréal: IATA. 2022, December
2. Su, J., Wu, H., Tsui, K. W. H., Fu, X., & Lei, Z. Aviation resilience during the COVID-19 pandemic: A case study of the European aviation market. „Transportation Research Part A: Policy and Practice”, 2023, vol. 177, 103838. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2023.103835>
3. Sun, X., Wandelt, S., & Zhang, A. COVID-19 pandemic and air transportation: Summary of recent research, policy considerations and future research directions. „Transportation Research Interdisciplinary Perspectives”, 2022, vol. 16, 100718. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trip.2022.100718>



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Emilia Arciechowska, Julia Kowalczyk, Wiktoria Kruszewska
Warsaw University of Technology, Faculty of Transport

e-mail: wiktoria.kruszewska@pw.edu.pl

Analysis of the impact of the COVID-19 pandemic on the aviation sector and strategies to prevent similar crises in the future

Keywords: COVID-19 pandemic, crisis management, operational resilience

Introduction

A The COVID-19 pandemic has become a turning point in the history of aviation, causing a deep crisis and significant losses across the sector. In its wake, the aviation industry has undergone numerous structural and organizational changes, analysis of which allows for a better understanding of the air transport recovery process. Experiences from the pandemic have led to the development of new strategies and procedures to increase the sector's resilience, emphasizing the importance of operational flexibility, digitalization, and diversification of revenue sources.

Research problem and research methodology

The study focused on and verified how the COVID-19 pandemic impacted the aviation sector in Poland and globally, and how effective the implemented recovery strategies were. The analysis also presented a strategy for preventing similar crises in the future, based on business continuity plans and digitalization. The study aims to identify directions for building the aviation sector's sustainable resilience to global disruptions. A mass service algorithm was used for this purpose.

Results

A situation is modeled in which some customers are given higher priority, but without interrupting ongoing service (non-preemptive). This applies, for example, to emergency flights, cargo or VIP flights, transfer passengers, or passengers with disabilities. The system processes customers in a queue with two priority classes. Prioritization effectively shortens the waiting time of the higher class at the expense of the lower class – this means, for example, that an emergency flight will gain faster access to a takeoff slot, but a commercial flight may be delayed. This system is a flow control strategy – it allows for the continuity of critical operations (e.g., medical flights) even during a crisis.

Conclusions

The COVID-19 pandemic has caused a profound crisis in civil aviation, revealing its vulnerability to fluctuating demand and the lack of effective mechanisms to respond to global threats. The effectiveness of countering its effects depended on the speed of response, operational flexibility, the level of digitalization, and government support. The experience from this period has contributed to accelerating digitalization and laying the foundations for a new, more resilient, and sustainable model for the aviation industry.

Literature

1. International Air Transport Association (IATA), McKinsey & Company. Understanding the pandemic's impact on the aviation value chain. Montréal: IATA. 2022, December
2. Su, J., Wu, H., Tsui, K. W. H., Fu, X., & Lei, Z. Aviation resilience during the COVID-19 pandemic: A case study of the European aviation market. „Transportation Research Part A: Policy and Practice”, 2023, vol. 177, 103838. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2023.103835>
3. Sun, X., Wandelt, S., & Zhang, A. COVID-19 pandemic and air transportation: Summary of recent research, policy considerations and future research directions. „Transportation Research Interdisciplinary Perspectives”, 2022, vol. 16, 100718. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trip.2022.100718>

Elmi Alif Azmi ¹, Janusz Szpytko ²

¹ Universiti Teknologi MARA, ² Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

e-mail : aelmialif@uitm.edu.my, szpytko@agh.edu.pl

Zrównoważona infrastruktura bezpieczeństwa ruchu drogowego: integracja strategii zero wypadków z praktykami inżynierii ekologicznej

Słowa kluczowe: zrównoważona inżynieria, bezpieczeństwo w ruchu drogowym, zielona infrastruktura

Wprowadzenie

Systemowe ujęcie strategii zero wypadków ukierunkowanej na eliminację zdarzeń śmiertelnych w ruchu drogowym uzupełniają praktyki zielonej inżynierii, które promują projektowanie uwzględniające cykl życia systemu, efektywność energetyczną i równowagę środowiskową. Praca jest ukierunkowana na analizę wpływu określonych wskaźników zrównoważonego rozwoju, mechanizmów projektowania systemu i czynników środowiskowych na proces wdrażania zasady strategii zero wypadków w kontekście inżynierii ekologicznej. Celem badań jest możliwość rozwoju bezpieczniejszych, inteligentniejszych i niskoemisyjnych systemów transportu kołowego (drogowego) wpisujących się w realizację celów zrównoważonego rozwoju i zerowej emisji. Przykładem zastosowania jest Malezja.

Problem badawczy i metoda badawcza

W badaniu zastosowano dwufazową metodologię badawczą (Explanatory Sequential Mixed Methods Design) w której dominującą rolę odgrywają dane ilościowe, a następnie są one pogłębiane i wyjaśniane przez dane jakościowe. Badania były ukierunkowane na możliwości integracji strategii zero wypadków z praktykami inżynierii ekologicznej w zrównoważonej infrastrukturze bezpieczeństwa ruchu drogowego. W fazie ilościowej wykorzystano kwestionariusz typu bezpieczny system (Safe System Approach), wybrane wskaźniki bezpieczeństwa ruchu drogowego (opracowane przez World Health Organization), oceny dróg ekologicznych (opracowane przez Bank Światowy). Wdrażanie strategii zero wypadków, zrównoważone praktyki projektowe, efektywność środowiskowa, projektowanie zorientowane na człowieka oraz gotowość instytucjonalna, oceniono za pomocą pięciostopniowej skali Likerta, a następnie przeanalizowano z użyciem oprogramowania SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) i oprogramowania komputerowego z graficznym interfejsem użytkownika typu SmartPLS. W badaniu wzięło udział 236 respondentów, przeprowadzono 15 wywiadów z ekspertami, w których analizowano wyzwania związane z wdrażaniem, kwestie przywództwa i inne. Analiza umożliwiła zidentyfikować luki integracyjne, bariery instytucjonalne oraz potrzeby w zakresie budowania potencjału w zakresie dobrych praktyk ukierunkowanych na zrównoważone podejście do bezpieczeństwa w ruchu drogowym.

Wyniki

W badaniu wzięło udział 236 specjalistów z malezyjskiego sektora transportu drogowego, w tym inżynierowie, planiści i osoby decyzyjne. Wyniki wykazały umiarkowany poziom wdrażania strategii zero wypadków ($M = 3,43$) oraz wyższy poziom wdrażania zrównoważonych praktyk projektowych ($M = 3,65$). Korelacja i analizy PLS-SEM potwierdziły silne, pozytywne zależności między strategią zero wypadków, zrównoważonym projektowaniem i efektywnością środowiskową. Gotowość instytucjonalna częściowo pośredniczyła w tych efektach, podkreślając znaczenie zarządzania i wsparcia instytucjonalnego. Wywiady z 15 ekspertami zidentyfikowały cztery kluczowe tematy: luki integracyjne, wyzwania związane z przywództwem, innowacje technologiczne oraz potrzebę budowania potencjału eksploatacyjnego. Wyniki badań wskazują, że integracja strategii zero wypadków i zielonej inżynierii sprzyja bezpieczniejszym, niskoemisyjnym systemom drogowym, przyczyniając się do realizacji dwóch celów: zerowej liczby ofiar śmiertelnych i zerowej emisji w ramach zrównoważonego rozwoju infrastruktury.

Wnioski i podsumowanie

W rezultacie badań opracowano reguły łączenia strategii zero wypadków z praktyką inżynierii ekologicznej z ukierunkowaniem na rozwój zrównoważonej infrastruktury bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Bibliografia

1. Azmi, E. A., Che Ibrahim, C. K. I. (2025). Catalysing growth of civil engineers through capacity building in Malaysia's construction industry. Jurnal Kejuruteraan, 37(4), 1967–1984.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Elmi Alif Azmi ¹, Janusz Szpytko ²

¹ Universiti Teknologi MARA, ² AGH University of Krakow

e-mail : aelmialif@uitm.edu.my, szpytko@agh.edu.pl

Sustainable Road Safety Infrastructure: Integrating Vision Zero with Green Engineering Practices

Keywords: sustainable road engineering, road safety performance, green infrastructure

Introduction

Global efforts to achieve sustainable and safe transportation have intensified as nations aim to reduce road fatalities and carbon emissions. The Vision Zero framework, centred on eliminating traffic deaths through a systems-based approach, complements green engineering practices that promote life-cycle design, energy efficiency, and ecological balance. However, their integration remains limited, particularly in developing contexts such as Malaysia. This study explores how sustainability indicators, design mechanisms, and institutional enablers can operationalise Vision Zero principles within green infrastructure frameworks. The research aims to advance safer, smarter, and low-carbon road systems that align with global sustainability and net-zero goals.

Research problem and research methodology

This study employed a mixed-method sequential explanatory design to investigate the integration of Vision Zero principles and green engineering practices in sustainable road-safety infrastructure. The quantitative phase used a structured questionnaire based on the Safe System Approach, WHO Road Safety Indicators, and the World Bank's Green Road Rating System. Five constructs which are Vision Zero Implementation, Sustainable Design Practices, Environmental Performance, Human-Centred Design, and Institutional Readiness were assessed using a five-point Likert scale and analysed through SPSS and SmartPLS. A total of 236 respondents participated. The qualitative phase involved 15 expert interviews exploring implementation challenges, policy mechanisms, and leadership issues. Thematic analysis identified integration gaps, institutional barriers, and capacity-building needs, offering a comprehensive understanding of sustainable road-safety practice.

Results

The study surveyed 236 professionals in Malaysia's transport sector, including engineers, planners, and policymakers, revealing moderate implementation of Vision Zero principles ($M = 3.43$) and higher adoption of sustainable design practices ($M = 3.65$). Correlation and PLS-SEM analyses confirmed strong, positive relationships between Vision Zero, sustainable design, and environmental performance. Institutional readiness partially mediated these effects, highlighting the importance of governance and policy support. Qualitative interviews with 15 experts identified four key themes: integration gaps, leadership challenges, technological innovation, and capacity-building needs. Combined, the findings show that integrating Vision Zero and green engineering fosters safer, low-carbon road systems, advancing the dual goals of zero fatalities and zero emissions within sustainable infrastructure development.

Conclusions

This study developed an integrated framework combining Vision Zero principles and green engineering practices to advance sustainable road-safety infrastructure. The results showed that Vision Zero Implementation significantly enhances Sustainable Design Practices and Environmental Performance, while Institutional Readiness partially mediates these relationships. Qualitative insights revealed that leadership gaps, fragmented governance, and limited capacity hinder integration, but opportunities exist through digital innovation, renewable technologies, and engineer upskilling. The study recommends adopting integrated evaluation models that combine safety, environmental, and social metrics, supported by cross-agency collaboration and sustainability-focused training. Ultimately, it positions the integration of Vision Zero and green engineering as a unified pathway toward safe, low-carbon, and resilient transport systems aligned with national and global net-zero goals.

Literature

1. Azmi, E. A., Che Ibrahim, C. K. I. (2025). Catalysing growth of civil engineers through capacity building in Malaysia's construction industry. *Jurnal Kejuruteraan*, 37(4), 1967–1984.

Munkhchuluun Baatarchuluun, Janusz Szpytko

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

e-mail: Mbaatarchuluun@student.agh.edu.pl, szpytko@agh.edu.pl

Niezawodność systemu energetycznego i zielona transformacja, studium przypadku

Słowa kluczowe: odporność, niezawodność, odnawialne źródła energii, zielona transformacja

Wprowadzenie

Bezpieczeństwo i niezawodność dostaw energii do systemu energetycznego jest priorytetem, a dla Mongolii niezawodne funkcjonowanie systemów produkcji i dystrybucji energii jest fundamentalne dla rozwoju gospodarczego, bezpieczeństwa energetycznego i społecznego: zwłaszcza biorąc pod uwagę jej rozległe terytorium, ekstremalny klimat i specyficzne rozmieszczenie demograficzne. System energetyczny Mongolii charakteryzuje się dużym uzależnieniem od elektrowni węglowych (około 80% całkowitej produkcji), niezbędnych do ogrzewania miejskiego w surowe zimy, oraz rozdrobnioną siecią przesyłową skupioną wokół centralnego systemu energetycznego z ograniczoną liczbą połączeń międzysystemowych i odizolowanymi sieciami regionalnymi. Taka struktura, w połączeniu ze starzejącą się infrastrukturą, szybko rosnącym popytem i coraz większą integracją niestabilnych odnawialnych źródeł energii, takich jak energia wiatrowa i słoneczna, stwarza poważne wyzwania dla niezawodności systemu, jakości energii i zarządzania szczytowym obciążeniem. Celem pracy jest zbadanie możliwości i wyzwań związanych z wdrożeniem zielonej transformacji przy jednoczesnym zachowaniu bezpiecznego i niezawodnego funkcjonowania systemu energetycznego Mongolii oraz opracowanie rekomendacji.

Problem badawczy i metoda badawcza

W pracy zastosowano studia porównawcze przypadków międzynarodowych systemów energetycznych stojących przed podobnymi wyzwaniami (roległy obszar, ekstremalne warunki klimatyczne, uzależnienie od węgla w okresie transformacji), które umożliwiają analizę sukcesu lub porażki w zakresie integracji ze źródłami energii odnawialnej na dużą skalę. W badaniu wykorzystana zostanie analiza zdarzeń specyficznych (SWA), ukierunkowana na badania przeszłych awarii i przerw w dostawie prądu w Mongolii (techniczne, spowodowane przez człowieka, katastrofy, itp.), z ukierunkowaniem na przyczyny i niedogodności systemowe.

Wyniki

Rezultatem badań będzie model wspierający transformację Mongolii w kierunku zielonej energii, dostarczający scenariusze optymalnego przyszłego miks energetycznego i rozbudowy sieci. W szczególności, badania pozwolą na opracowanie porównawczych strategii modernizacji sieci energetycznych, zaleceń technicznych i środowiskowych mających na celu zwiększenie niezawodności systemu i odporności na katastrofy (w oparciu o analizę awarii z przeszłości i doświadczenia międzynarodowe), a także na ocenę ryzyka związanego z integracją systemu energetycznego tradycyjnego z niestabilnymi źródłami energii odnawialnej.

Wnioski i podsumowanie

Dla Mongolii bezpieczeństwo i niezawodność systemu energetycznego oraz zielona transformacja to dwie strony tego samego zagadnienia. W badaniu przeanalizowano różne scenariusze pozyskiwania energii, źródła zakłócenia funkcjonowania systemu energetycznego, odporność na klęski żywiołowe oraz doświadczenia innych krajów. Celem badań jest wypracowanie koncepcji wzmacniania bezpieczeństwa energetycznego o skutecznej realizacji Celów Zrównoważonego Rozwoju.

Acknowledgements

The project has been financially supported by the PNC for UNESCO in Engineering edition 2025C and the AGH University of Krakow/ UNESCO AGH Chair (academic year 2025/ 2026).

Bibliografia

1. Statistics on Energy Performance 2024, Energy Regulatory Commission of Mongolia.
2. National statistics office of Mongolia.
3. Analytical Frameworks for Electricity Security, International Energy Agency 2021.
4. Policy documents, Ministry of Energy of Mongolia.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Munkhchuluun Baatarchuluun, Janusz Szpytko
AGH University of Krakow

e-mail : Mbaatarchuluun@student.agh.edu.pl, szpytko@agh.edu.pl

The reliability of technical systems and devices particularly: Mongolia's energy system reliability and green transition

Keywords: *resilience, reliability, renewable energy source, green transition*

Introduction

The security and reliability of energy supply is a top priority for all countries, and for Mongolia, reliable operation of energy production and distribution systems is fundamental to economic development, energy security, and social, particularly given its vast territory, extreme climate, and unique demographic distribution. Mongolia's energy system is characterized by a heavy reliance on coal-fired combined heat and power plants (approximately 80% of total generation) necessary for district heating in harsh winters, and a fragmented transmission network centered on the central energy system with limited interconnections and isolated regional grids. This structure, combined with aging infrastructure, rapidly growing demand and the increasing integration of intermittent renewable energy sources like wind and solar, poses significant challenges to system reliability, power quality, and peak load management. The main objective of this research is to comprehensively examine the opportunities and challenges of implementing a green transition while maintaining the safe and reliable operation of Mongolia's energy system, and to develop recommendations.

Research problem and research methodology

This study will employ Comparative Case Studies of international power systems facing similar challenges (vast territory, extreme climate, coal reliance in transition) to analyze the success or failure of large-scale renewable energy integration. It will also use Specific Event Analysis to investigate past Mongolian blackouts and failures (technical, human, disaster, etc.) to pinpoint root causes and systemic weaknesses.

Results

The result of this study will be a data-driven framework for advancing Mongolia's green energy transition, providing quantified scenarios for an optimal future energy mix, grid expansion. Specifically, it will yield benchmarked strategies for grid modernization, specific technical and policy recommendations to enhance system reliability and disaster resilience (based on the analysis of past failures and international best practices), and a detailed risk assessment of integrating high levels of intermittent renewable energy.

Conclusions

For Mongolia, the security and reliability of the energy system and the green transition are two sides of the same coin. The study will examine the above key factors, including quantitative data, past emergency disruptions, disaster resilience, and the experiences of other similar countries, to provide baseline information for strengthening energy security and successfully implementing the Sustainable Development Goals.

Acknowledgements

The project has been financially supported by the PNC for UNESCO in Engineering edition 2025C and the AGH University of Krakow/ UNESCO AGH Chair (academic year 2025/ 2026).

Literature

1. Statistics on Energy Performance-2024, Energy Regulatory Commission of Mongolia.
2. National statistics office of Mongolia.
3. Analytical Frameworks for Electricity Security—International Energy Agency 2021.
4. Policy documents--Ministry of Energy of Mongolia.



54 ZIMOWA SZKOŁA NIEZAWODNOŚCI

Styczeń 2026

Rafał Bazela, Piotr Waślicki
Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia
e-mail: bazelar@witu.mil.pl

Niezawodność amunicji

Słowa kluczowe: amunicja, niezawodność, badania

Wprowadzenie

Amunicja spełniająca wielokryterialne wymagania jest fundamentem skutecznej realizacji zadania bojowego. Weryfikacja jej cech takich jak efektywność, precyzja wykonania, celność, bezpieczeństwo użytkowania oraz niezawodność powinny być i są weryfikowane w różnych etapach życia amunicji jako wyrobu. Ze względu na złożoność problemu w niniejszym opracowaniu skupiono uwagę na wymaganiach niezawodnościowych, analizie niezawodności oraz możliwościach poprawy parametru ogólnie zdefiniowanego jako niezawodność. Definiując amunicję w ujęciu ogólnym, możemy stwierdzić, że jest to urządzenie zawierające elementy mechaniczne, elektryczne, elektroniczne oraz materiały wybuchowe i każdy z tych elementów generuje potencjalne ryzyka w odniesieniu do wyżej wskazanych cech. Takie ujęcie pozwala na stwierdzenie, że amunicja jest swojego rodzaju systemem [1] składającym się z podsystemów, które mogą na siebie oddziaływać oraz pozostają w relacji z otoczeniem systemowym, co implikuje wpływ elementów składowych na niezawodność amunicji jako systemu.

Problem badawczy i metoda badawcza

Niezawodności amunicji określają dokumenty normatywne. W resorcie obrony narodowej są one przywoływane w wielu dokumentach technicznych, takich jak WZTT (Wstępnych Założeniach Taktyczno-Techniczne), ZTT (Założenia Taktyczno-Techniczne), Karta Katalogowa lub dokumentacja techniczna na dany wyrób. W przypadku amunicji, jako kompletnego wyrobu badania niezawodnościowe (nie teoretyczne) mogą być zrealizowane zarówno badaniami laboratoryjnymi jak i poligonowymi. Badania dotyczą zarówno prototypów (badania wstępne, badania kwalifikacyjne) ale również są wykonywane w procesie eksploatacji, jako badania diagnostyczne np.: okresowe (w produkcji), potwierdzające przydatność po określonym okresie przechowywania. Badania diagnostyczne przeprowadza się według metodyk, procedur i programów badań specjalnie opracowanych do kontroli niezawodności i bezpieczeństwa oraz prognozowania możliwości dalszego użytkowania i przechowywania. [2]

Wyniki

W pracy przedstawiono system oceny niezawodności i bezpieczeństwa amunicji (jako złożonych systemów technicznych) eksploatowanych przez Wojsko Polskie. Wskazano podstawowe ogniwa systemu, ich zadania oraz przykładowe wyniki badań.[3]

Wnioski i podsumowanie

Ocena niezawodności i bezpieczeństwa amunicji służy zagwarantowaniu tego, by parametry były zgodne z wymaganiami norm, czego wynikiem jest poprawa szeroko pojętego bezpieczeństwa żołnierzy. Taka ocena obejmuje analizę konstrukcji i badania całym cyklu życia. Należy pamiętać o tym, że czynnik bezpieczeństwa jest tylko jednym z aspektów konstrukcji amunicji, która stanowi wynik kompromisu pomiędzy niezawodnością, kosztem, trwałością, możliwością utrzymania w dobrym stanie technicznym itp. Ocena bezpieczeństwa jest zawsze subiektywna i zależy od doświadczenia, wyników prób oraz najlepszych praktyk i kryteriów prac projektowych i badawczych określonych przez ekspertów.

Bibliografia

1. Sienkiewicz P., Analiza systemowa Podstawy i zastosowania, Bellona, Warszawa 1994 r.
2. Logis.3/2010, Instrukcja o kontroli jakości i bezpieczeństwa środków bojowych w procesie eksploatacji w resorcie obrony narodowej, MON IWSL, Bydgoszcz 2010.
3. Bazela R., Magier M., Projektowanie i badania zapalników do amunicji granatników przeciwpancernych, WITU, Zielonka 2018.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Rafał Bazela, Piotr Waślicki
Military Institute of Armament Technology
e-mail: bazelar@witu.mil.pl

Ammunition reliability

Keywords: ammunition, reliability, research

Introduction

Ammunition that meets multiple criteria is fundamental to the effective execution of combat missions. Its characteristics, such as effectiveness, precision, accuracy, safety of use and reliability, should be and are verified at various stages of the ammunition's life cycle as a product. Due to the complexity of the issue, this study focuses on reliability requirements, reliability analysis and possibilities for improving the parameter generally defined as reliability. Defining ammunition in general terms, we can say that it is a device containing mechanical, electrical and electronic components as well as explosives, and each of these components generates potential risks in relation to the above-mentioned characteristics. This approach allows us to conclude that ammunition is a kind of system [1] consisting of subsystems that can interact with each other and remain in relation to the system environment, which implies the impact of the components on the reliability of ammunition as a system.

Research problem and research methodology

The reliability of ammunition is defined by normative documents. In the Ministry of National Defence, they are referred to in many technical documents, such as WZTT (Preliminary Tactical and Technical Assumptions), ZTT (Tactical and Technical Assumptions), Catalogue Card or technical documentation for a given product. In the case of ammunition as a complete product, reliability tests (not theoretical) can be carried out both in the laboratory and in the field. The tests concern both prototypes (preliminary tests, qualification tests) and are also performed during operation as diagnostic tests, e.g. periodic (in production), confirming suitability after a specified storage period. Diagnostic tests are carried out according to methodologies, procedures and test programmes specially developed to check reliability and safety and to predict the possibility of further use and storage. [2]

Results

The paper presents a system for assessing the reliability and safety of ammunition (as complex technical systems) used by the Polish Army. The basic components of the system, their tasks and sample test results are indicated. [3]

Conclusions

The assessment of the reliability and safety of ammunition serves to ensure that its parameters comply with the requirements of standards, resulting in an improvement in the overall safety of soldiers. Such an assessment includes design analysis and testing throughout the entire life cycle. It should be remembered that safety is only one aspect of ammunition design, which is the result of a compromise between reliability, cost, durability, maintainability, etc. Safety assessment is always subjective and depends on experience, test results, and best practices and design and research criteria defined by experts.

Literature

1. Sienkiewicz P., Analiza systemowa Podstawy i zastosowania, Bellona, Warszawa 1994 r.
2. Logis.3/2010, Instrukcja o kontroli jakości i bezpieczeństwa środków bojowych w procesie eksploatacji w resorcie obrony narodowej, MON IWSL, Bydgoszcz 2010.
3. Bazela R., Magier M., Projektowanie i badania zapalników do amunicji granatników przeciwpancernych, WITU, Zielonka 2018.

Marcin Bednarek ¹, Tadeusz Dąbrowski ²

¹ Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Katedra Informatyki i Automatyki

² Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, Instytut Systemów Elektronicznych

e-mail: bednarek@prz.edu.pl

Bezpieczeństwo rozproszonego systemu sterowania

Słowa kluczowe: rozproszony system sterowania, bezpieczeństwo i ochrona, podatności

Wprowadzenie

W referacie rozpatruje się aspekty bezpieczeństwa rozproszonego systemu sterowania (DCS) złożonego z kilku rodzajów urządzeń (stacji – rys.1). Są to:

- stacje procesowe (PS) – będące sterownikami przemysłowymi realizującymi proces sterowania;
- stacje operatorskie (OS) – pełniące rolę miejsca wizualizacji i kontroli operatorskiej (SCADA);
- stacje inżynierskie (ES) – spełniające funkcje konfiguracyjne i uruchomieniowe zarówno programów sterowania stacji procesowych jak i obrazów synoptycznych stacji operatorskich;
- stacje bramy (GS) – łączące system ze światem zewnętrznym, np. zewnętrznymi systemami nadzoru, wykorzystywane także do połączenia za pomocą protokołów komunikacyjnych innych niż standardowo wykorzystywany w systemie.

Komunikacja w systemie

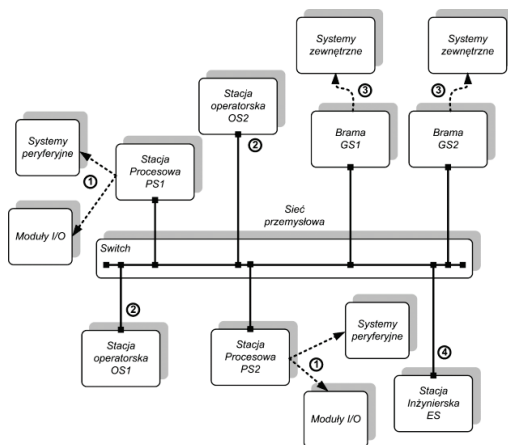
Rozpatrywany system, wspomniany we wprowadzeniu, zbudowany jest zazwyczaj z wielu stacji połączonych za pomocą komputerowej sieci przemysłowej. Sieć polowa korzysta z protokołu przemysłowego charakteryzującego się zwykle deterministycznym czasowo dostępem do łącza. W zależności od systemu, może to być firmowy, wbudowany, zamknięty protokół komunikacyjny lub rozwiązanie otwarte. W tym drugim przypadku korzysta się z przemysłowych protokołów komunikacyjnych (np. Modbus, Modbus TCP, OPC itp.).

Aspekty bezpieczeństwa

W referacie omawia się aspekty bezpieczeństwa i ochrony poszczególnych elementów wspomnianej klasy systemów (wg miejsc podatności na nieuprawnioną ingerencję - oznaczonych na rys.1), połączonych zarówno zamkniętymi, firmowymi protokołami komunikacyjnymi, jak i rozwiązaniami opartymi na otwartych standardach komunikacji w sieciach przemysłowych. Dokonano próby wskazania niebezpieczeństwa stosowania każdego z rozwiązań. Pokazano na przykładach w jaki sposób można ingerować w proces komunikacji pomiędzy stacjami systemu.

Bibliografia

1. Flaus J. M. (2019). Cybersecurity of Industrial Systems. John Wiley & Sons, Inc., London/Hoboken.
2. Edward J. M. Colbert, Alexander Kott (eds) (2016). Cyber-Security of SCADA and Other Industrial Control Systems. Springer.
3. Manufacturing Message Specification (MMS) – Part 1 Service definition ISO International Standard ISO 9506-1 (2003).
4. Bednarek M., Dąbrowski T. (2020). Alternative Method of Diagnosing CAN Communication, In: Siergiejczyk M., Krzykowska K. (eds) Research Methods and Solutions to Current Transport Problems. ISCT21 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1032. Springer, Cham, pp. 11-20.



Rys. 1. Rozpatrywany system – miejsca występowania podatności

Marcin Bednarek ¹, Tadeusz Dąbrowski ²

¹ Rzeszow University of Technology, Faculty of Electrical and Computer Engineering, Department of Computer and Control Engineering

² Military University of Technology, Faculty of Electronics, Institute of Electronic Systems

e-mail: bednarek@prz.edu.pl

Safety and Security of Distributed Control System

Keywords: distributed control system, security and protection, vulnerabilities

Introduction

This paper discusses the security aspects of a distributed control system (DCS) composed of several types of stations (Fig. 1). These include:

- Process Stations (PS) – industrial controllers responsible for executing the control process;
- Operator Stations (OS) – serving as human-machine interfaces for process visualization and operator control (SCADA);
- Engineering Stations (ES) – providing configuration and commissioning functions for both process control programs and operator station synoptic displays;
- Gateway Stations (GS) – connecting the system with external environments, such as supervisory or enterprise systems, and enabling communication using protocols other than the default ones implemented in the system.

System communication

The considered system typically consists of multiple stations interconnected through an industrial computer network. The field network employs an industrial communication protocol characterized by deterministic, time-bounded access to the transmission medium. Depending on the system architecture, this may involve proprietary, embedded, and closed communication protocols, or open solutions. In the latter case, standard industrial communication protocols are used, such as Modbus, Modbus TCP, or OPC.

Safety and security aspects

The paper discusses the security and protection aspects of individual components of the considered class of systems (according to the points of vulnerability to unauthorized interference indicated in Fig. 1), interconnected both by closed, proprietary communication protocols and by solutions based on open communication standards used in industrial networks. An attempt was made to identify the risks associated with each of these approaches. Examples are provided to illustrate how interference in the communication process between system stations can occur.

Literature

1. Flaus J. M. (2019). Cybersecurity of Industrial Systems. John Wiley & Sons, Inc., London/Hoboken.
2. Edward J. M. Colbert, Alexander Kott (eds) (2016). Cyber-Security of SCADA and Other Industrial Control Systems. Springer.
3. Manufacturing Message Specification (MMS) – Part 1 Service definition ISO International Standard ISO 9506-1 (2003).
4. Bednarek M., Dąbrowski T. (2020). Alternative Method of Diagnosing CAN Communication, In: Siergiejczyk M., Krzykowska K. (eds) Research Methods and Solutions to Current Transport Problems. ISCT21 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1032. Springer, Cham, pp. 11-20.

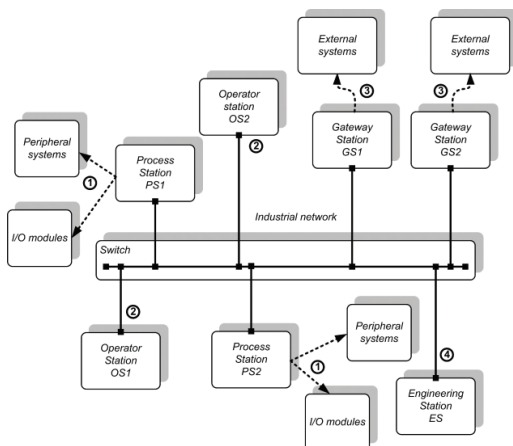


Fig. 1. Considered system – points of vulnerability

Krzysztof Blacha¹, Paweł Grabowski¹, Mariusz Wesołowski²

¹ Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, ² Wojskowy Instytut Techniki Pancernej i Samochodowej

e-mail: krzysztof.blacha@itwl.pl

Wskaźnikowa ocena wytrzymałości warstwy przypowierzchniowej na odrywanie sztucznych nawierzchni lotniskowych

Słowa kluczowe: nawierzchnia lotniskowa, wytrzymałość warstwy przypowierzchniowej, beton asfaltowy, beton cementowy

Wprowadzenie

Wytrzymałość warstwy przypowierzchniowej na odrywanie sztucznych nawierzchni lotniskowych jest jednym z ważniejszych parametrów wpływających na bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych. Badanie przyczepności i wytrzymałości na odrywanie jest ważnym czynnikiem decydującym o trwałości warstwy przypowierzchniowej nawierzchni. Badanie to przeprowadza się metodą pull-off, polegającą na określaniu rzeczywistej wytrzymałości badanego materiału na rozciąganie, przy niewielkim uszkodzeniu jego warstwy.

Problem badawczy i metoda badawcza

Ze względu na bezpieczeństwo wykonywania operacji lotniczych w polu ruchu naziemnego na szczególną uwagę zasługują ciała obce, które mogą znaleźć się na nawierzchni, tzw. FOD (Foreign Object Debris). Są one szczególnie niebezpieczne ze względu na możliwość zassania ich przez silnik samolotu, co może spowodować jego uszkodzenie. FOD mogą stanowić m.in. oderwane, luźne elementy nawierzchni, dlatego też tak istotna jest dbałość o jej czystość i odpowiedni stan techniczny. Sprawdzanie wytrzymałości na odrywanie należy wykonywać dla każdego elementu funkcjonalnego lotniska (EFL), zgodnie z metodyką i kryteriami podanymi w NO-17-A204: 2025 *Nawierzchnie lotniskowe. Nawierzchnie z betonu cementowego. Wymagania i metody badań*. Kryteria zamieszczone w przedmiotowej normie dotyczą jednak tylko nawierzchni lotniskowych wykonanych w technologii betonu cementowego. Natomiast kryteria oceny wytrzymałości warstwy powierzchniowej nawierzchni lotniskowych z betonu asfaltowego są w dalszym ciągu przedmiotem badań weryfikacyjnych zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak również w warunkach terenowych.

Wyniki

Wynikiem realizowanych prac były zbiorcze wyniki badań wytrzymałości na odrywanie nawierzchni wykonanych zarówno w technologii betonu cementowego jak i asfaltowego. Pomiary realizowane były w okresie kilku lat, na różnych obiektach lotniskowych i na różnych EFL. Uzyskane wyniki z pomiarów zostały wykorzystane do analizy mającej na celu porównanie wytrzymałości warstwy przypowierzchniowej na odrywanie w zależności od zastosowanej technologii wykonania nawierzchni lotniskowej, w tym również w zależności od metody wbudowania mieszanki betonowej (nawierzchnie wykonane w technologii betonu cementowego).

Wnioski i podsumowanie

Ocena stanu technicznego nawierzchni lotniskowych opiera się na podstawie szeregu kryteriów, określających poszczególne parametry techniczne mające wpływ na bezpieczeństwo jej eksploatacji. Znajomość powyższych parametrów pozwala na wyznaczenie wskaźnika APCI opisującego aktualny, kompleksowy stan techniczny nawierzchni pozwalający na prognozowanie dalszych działań związanych z jej eksploatacją. Badania pull-off umożliwiają precyzyjną ocenę nawierzchni pod względem wytrzymałości na odrywanie warstwy przypowierzchniowej. W wielu przypadkach metoda ta okazuje się niezastąpionym źródłem wiedzy podczas podejmowania decyzji technicznych dotyczących potrzeby przeprowadzenia napraw/remontów z zastosowaniem odpowiedniej technologii. Co więcej, badania wytrzymałości na odrywanie przeprowadza się podczas budowy nowych nawierzchni EFL, w celu określenia poziomu wyjściowego, oraz podczas stwierdzenia wad występujących w warstwie przypowierzchniowej.

Bibliografia

1. Wesołowski M. (2020). Kompleksowa ocena stanu technicznego nawierzchni elementów funkcjonalnych lotnisk w aspekcie bezpieczeństwa lotów, Warszawa.
2. NO-17-A204: 2025 Nawierzchnie lotniskowe. Nawierzchnie z betonu cementowego. Wymagania i metody badań.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Krzysztof Blacha ¹, Paweł Grabowski ¹, Mariusz Wesolowski ²

¹ Air Force Institute of Technology, ² The Military Institute of Armoured and Automotive Technology

e-mail: krzysztof.blacha@itwl.pl

Indicative assessment of the peel strength of the surface layer of artificial airfield pavements

Keywords: airfield pavement, surface layer strength, asphalt concrete, cement concrete

Introduction

The peel strength of the surface layer of artificial airfield pavements is one of the most important parameters affecting the safety of aviation operations. Testing adhesion and peel strength is an important factor in determining the durability of the surface layer of the pavement. This test is performed using the pull-off method, which involves determining the actual tensile strength of the tested material with minimal damage to its surface layer.

Research problem and research methodology

For the safety of flight operations in the ground movement area, particular attention should be paid to foreign objects that may be found on the surface, known as FOD (Foreign Object Debris). These are particularly dangerous because they can be sucked into the aircraft engine, which can cause damage. FOD can include detached, loose surface elements, which is why it is so important to keep the surface clean and in good technical condition. Peel strength testing should be performed for each functional airport element (EFL) in accordance with the methodology and criteria specified in NO-17-A204: 2025 *Airfield pavements. Cement concrete pavements. Requirements and test methods*. However, the criteria set out in this standard only apply to airport pavements made using cement concrete technology. The criteria for assessing the strength of the surface layer of asphalt concrete airport pavements are still subject to verification tests, both in laboratory and field conditions

Results

The work resulted in comprehensive test results for the peel strength of pavements made using both cement concrete and asphalt concrete technology. The measurements were carried out over several years, on various airport facilities and on different EFLs. The results obtained from the measurements were used for an analysis aimed at comparing the peel strength of the surface layer depending on the technology used to construct the airfield pavement, including the method of incorporating the concrete mix (pavements made using cement concrete technology).

Conclusions

The assessment of the technical condition of airfield pavements is based on a number of criteria that define specific technical parameters affecting the safety of their operation. Knowledge of these parameters allows the APCI index to be determined, describing the current, comprehensive technical condition of the surface, enabling the forecasting of further actions related to its operation. Pull-off tests enable a precise assessment of the surface in terms of its resistance to the detachment of the surface layer. In many cases, this method proves to be an indispensable source of knowledge when making technical decisions regarding the need for repairs/renovations using appropriate technology. Furthermore, pull-off strength tests are carried out during the construction of new EFL pavements in order to determine the baseline level and when defects are found in the surface layer.

Literature

1. Wesolowski M. (2020). Comprehensive assessment of the airport functional elements' technical condition in the aspect of flight safety, Warsaw.
2. NO-17-A204: 2025 *Airfield pavements. Cement concrete pavements. Requirements and test methods*.

Agnieszka Blokus-Dziula, Przemysław Dziula
Uniwersytet Morski w Gdyni, Wydział Nawigacyjny

e-mail: a.blokus@wn.umg.edu.pl

Analiza niezawodności i gotowości systemów informacyjnych z uwzględnieniem zależności pomiędzy ich podsystemami

Słowa kluczowe: niezawodność, zależność uszkodzeń, bezpieczeństwo systemów informacyjnych

Wprowadzenie

Artykuł przedstawia analizę niezawodności i gotowości [4] systemu informacyjnego, przeprowadzoną poprzez wyróżnienie podstawowych podsystemów współtworzących cały system, uwzględniającą łączące je zależności, oraz ich wpływ na funkcjonowanie całego systemu. Wyselekcjonowane podsystemy związane są funkcjonalnie z dostarczaniem danych niezbędnych dla pracy systemu, ich przetwarzanie, przechowywanie, przesyłanie, ochronę, zarządzanie finansami, kontrolę informacji pod względem prawnym a także zgodność parametrów funkcjonalnych systemu z przepisami, oraz niezawodne funkcjonowanie technicznych komponentów teleinformatycznych [3]. Ich odpowiednie funkcjonowanie jest niezbędne do poprawnej pracy całego systemu, a ewentualne zaburzenia w poszczególnych podsystemach mogą mieć wpływ na funkcjonowanie pozostałych, a w konsekwencji na niezawodność działania całego systemu.

Problem badawczy i metoda badawcza

W artykule, na bazie analizy połączeń i zależności pomiędzy poszczególnymi komponentami systemu, podjęto problematykę badania wpływu zakłóceń w funkcjonowaniu jednego z podsystemów, na prawidłową pracę, tym samym niezawodność, całego systemu. Badania oparto na założeniu, że system zbudowany jest z modułów połączonych szeregowo, tym samym warunkiem jego sprawnego funkcjonowania jest właściwa praca i wypełnianie zadań przez wszystkie podsystemy. W oparciu o to założenie, do analizy zastosowano model lokalnego rozkładu obciążeń dla wielostanowego systemu szeregowego, uwzględniającego zależności zakłóceń w pracy jego podsystemów [1], [2].

Wyniki

Na bazie analiz przedstawionych w artykule można zobrazować skalę wpływu zakłóceń w poszczególnych podsystemach na niezawodne funkcjonowanie całego systemu. Badania mogą obejmować zarówno zakłócenia wewnętrzne, pojawiające się w samych podsystemach, wynikające na przykład ze starzenia się elementów, jak również te o źródłach zewnętrznych (np. cyberataki, dodatkowe obciążenia). Zaproponowana metodyka pozwala również wyróżnić podsystemy szczególnie wrażliwe, które, w przypadku zakłóceń w ich pracy, w wysokim stopniu wpływają negatywnie na pracę całego systemu. Analizie może podlegać także różna skala zakłóceń występująca w ramach wybranego podsystemu, jak również zakłócenia powtarzające się w określonych odstępach czasowych w danym podsystemie.

Wnioski i podsumowanie

W analizie bezpieczeństwa i niezawodności systemów informacyjnych kluczowe jest zapewnienie ciągłości ich działania i odporności na zakłócenia, zarówno wewnętrzne jak i zewnętrzne. Analizy pozwalają wskazać najsłabsze ogniwa w systemie, których wyznaczenie jest kluczowe dla bezpiecznego i nieprzerwanego działania systemu.

Na bazie zależności przedstawionych w artykule można również określić zalecane okresy przeprowadzania odnowy poszczególnych podsystemów, które w przypadku ich przekroczenia, nadmiernie zwiększają wrażliwość systemu na zakłócenia.

Bibliografia

1. Blokus, A. (2020). Multistate System Reliability with Dependencies, Elsevier Academic Press.
2. Blokus, A., Dziula, P. (2020). Reliability and Availability Analysis of Critical Infrastructure Composed of Dependent Systems, in: Zamojski, W., Mazurkiewicz, J., Sugier, J., Walkowiak, T., Kacprzyk, J. (eds), Theory and Applications of Dependable Computer Systems, 94–104, AISC 1173, Springer.
3. Kondakci, S. (2015). Analysis of information security reliability: A tutorial, Reliability Engineering and System Safety, 133, 275–299.
4. Szopa, T. (2009). Niezawodność i bezpieczeństwo, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.

Agnieszka Blokus-Dziula, Przemysław Dziula
Gdynia Maritime University, Faculty of Navigation

e-mail: a.blokus@wn.umg.edu.pl

Reliability and availability analysis of information systems, taking into account the dependencies between their subsystems

Keywords: reliability, failure dependency, information systems security

Introduction

The article presents the analysis of reliability and availability [4] of the information system, conducted by distinguishing of principal subsystems constituting the whole system, taking into account the dependencies linking them, and their influence on functioning of the entire system. The distinguished subsystems are functionally related to provisioning of data required for the system operation, their processing, storage, transmitting, protection, financial management, controlling in accordance with law aspects, and also about the conformity of system functional parameters with legal aspects, and reliable functionality of technical components of the tele-information system [3]. Their appropriate functioning is crucial for proper performance of the whole system, and eventual disruptions within particular subsystems, can have negative impact on functionality of others, and consequently, on reliability of operation of the entire system.

Research problem and research methodology

In the paper, basing on analysis of links and connections among the particular system components, the issues concerning influence of disruptions within the certain subsystem, on appropriate operation and reliability of the whole system, have been undertaken. The investigations base on the assumption, that the system is composed of modules linked in series. This means that that the condition of proper functioning of the entire system, is appropriate operation and processing of all assignments by the all modules. On the basis of this assumption, the local load sharing model, for the multistate series system, taking into account relations of disruptions within operation of its subsystems, has been used [1], [2].

Results

In accordance with analyses introduced in the article, the scale of influence of disruptions within the particular subsystems, on reliable operation of the whole system, has been demonstrated. The researches can cover both the internal disruptions, that appear within the subsystems, caused by i.e. aging of their components, and also these of external sources (i.e. cyberattacks, additional loads). The proposed methodology also allows to distinguish especially sensitive subsystems, which, in case of disturbances appearing in their operation, show abnormally high negative impact on performance of the entire system. The analyses can also include different levels of the disruptions appearing within certain subsystem, or also the disturbances recurring at certain time intervals within particular module.

Conclusions

For the purpose of the safety and reliability analysis of information systems, it is of the key importance to ensure the continuity of their operation, and resistance to the disturbances, either internal or external ones. The analyses allow to point the weakest chains in the system, the strengthening of which is crucial for safe and uninterrupted operation of the system. On the basis of relations introduced in the article, it is also possible to determine recommended time frames for conducting of renewals of the particular subsystems, which, in case of their exceedance, significantly increase the sensitivity of the system to various disturbances.

Literature

1. Blokus, A. (2020). Multistate System Reliability with Dependencies, Elsevier Academic Press.
2. Blokus, A., Dziula, P. (2020). Reliability and Availability Analysis of Critical Infrastructure Composed of Dependent Systems, in: Zamojski, W., Mazurkiewicz, J., Sugier, J., Walkowiak, T., Kacprzyk, J. (eds), Theory and Applications of Dependable Computer Systems, 94–104, AISC 1173, Springer.
3. Kondakci, S. (2015). Analysis of information security reliability: A tutorial, Reliability Engineering and System Safety, 133, 275–299.
4. Szopa, T. (2009). Niezawodność i bezpieczeństwo, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.

Jerzy R. Bogdański, Mariusz Izdebski
Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

e-mail: jerzy.bogdański@pw.edu.pl

Analiza czynników zagrożenia bezpieczeństwa w procesie eksploatacji pojazdu z napędem elektrycznym

Słowa kluczowe: samochód elektryczny, bezpieczeństwo, eksploatacja

Wprowadzenie

Pojazdy z napędem elektrycznym stanowią coraz liczniejszą grupę pojawiającą się na naszych drogach. Niezależnie od budowy układu napędowego i jego cech charakterystycznych, w 2024 roku zarejestrowano w Polsce prawie 118346 takich pojazdów, co stanowi ok. 11,4% procent wszystkich pojazdów zarejestrowanych w podanym okresie.

Budowa pojazdu z napędem elektrycznym, sposób jego użytkowania i proces obsługi i naprawy takiego pojazdu są na tyle odmienne od konstrukcji określanych mianem klasycznych, że zasadne wydaje się rozważenie aspektów związanych z bezpieczeństwem eksploatacji takich pojazdów.

Pojazdy elektryczne stają się coraz bardziej nowoczesne i wyposażane są w szereg rozwiązań technicznych, będących wynikiem swego rodzaju wyścigu pomiędzy konstruktorami (producentami), a postęp techniczny przebiega niekiedy tak szybko, że wiele rozwiązań o charakterze organizacyjnym i prawnym nie jest w stanie nadążyć za przemianami w obszarze techniki. Istniejący stan rzeczy sprawia, że przepisy odnoszące się do regulacji określonych aspektów technicznych stają się ich pochodną i niejako „dopasowują się” do rozwiązań technicznych i technologicznych już istniejących w rzeczywistości.

Problem badawczy i metoda badawcza

Bezpieczeństwo w procesie eksploatacji pojazdu z napędem elektrycznym można traktować w wielu aspektach – autorzy proponują, aby ujęcie takie było rozumiane jako brak stwarzania jakiegokolwiek zagrożenia w każdym aspekcie takiego procesu – zarówno użytkowania pojazdu, jak i w procesie jego obsługi oraz naprawy. Każdy z wymienionych aspektów należy uznać za równie istotny, ze szczególnym wskazaniem na bezpieczeństwo w ruchu drogowym, co wynika przede wszystkim z obowiązującego prawa o ruchu drogowym i konieczności wykonywania okresowych badań technicznych.

Wnioski i podsumowanie

Należy zdecydowanie podkreślić, że wobec tak silnego zróżnicowania konstrukcji pożądane wydaje się być wprowadzenie wymagań prawnych odnoszących się do kontrolowania stanu układu elektrycznego dokonywanego na podstawie umownego parametru diagnostycznego, która to kontrola byłaby dokonywana np. w trakcie badania technicznego pojazdu. Podstawą do opracowania takich metod mogłyby być dokumentacje techniczne producentów układów – istotą byłoby opracowanie zapisów o spójnym i uniwersalnym charakterze.

Autorzy postulują wprowadzenie zapisów prawnych rozszerzających zakres i sposób przeprowadzania badania technicznego pojazdu o aspekty związane ze specyfiką budowy i działania pojazdu z napędem elektrycznym, które w dotychczasowej formie stosownych rozporządzeń, nie zostały ujęte.

Bibliografia

1. Dz.U.2024.1251 t.j. Akt obowiązujący, Wersja od: 9 sierpnia 2025 r. do: 31 grudnia 2025 r., USTAWA z dnia 20 czerwca 1997 r. Prawo o ruchu drogowym (dostęp 18.11.2025r.); <https://sip.lex.pl/akty-prawne/dzu-dziennik-ustaw/prawo-o-ruchu-drogowym-16798732>,
2. HANDBOOK ON BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM, 2018 Asian Development Bank, Manilla 2018, eBook,
3. Tritex – materiały handlowe i promocyjne, <https://tritekbattery.com/pl/the-six-main-types-of-lithium-ion-batteries/>; (dostęp 18.11.2025r.).



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Jerzy R. Bogdański, Mariusz Izdebski

Warsaw University of Technology, Faculty of Transport

e-mail: jerzy.bogdański@pw.edu.pl

Analysis of safety hazard factors in the process of operation of an electric vehicle

Keywords: electric car, safety, operation

Introduction

Electric vehicles are an increasingly numerous group appearing on our roads. Regardless of the design of the powertrain and its characteristics, in 2024 almost 118346 such vehicles were registered in Poland, which is about 11.4% of all vehicles registered in the given period. The construction of an electric vehicle, the manner of its use and the process of servicing and repairing such a vehicle are so different from the designs referred to as classic ones that it seems reasonable to consider aspects related to the safety of operation of such vehicles. Electric vehicles are becoming more and more modern and are equipped with a number of technical solutions, which are the result of a kind of race between designers (manufacturers), and technical progress is sometimes so fast that many organizational and legal solutions are not able to keep up with the changes in the field of technology. The current state of affairs makes the regulations relating to the regulation of certain technical aspects become their derivative and, in a way, "adapt" to the technical and technological solutions already existing in reality.

Research problem and research methodology

Safety in the process of operating an electric vehicle can be treated in many aspects – the authors propose that such an approach should be understood as the absence of any threat in every aspect of such a process – both the use of the vehicle and in the process of its maintenance and repair. Each of the above aspects should be considered equally important, with particular reference to road safety, which results primarily from the applicable road traffic law and the need to perform periodic technical tests.

Results and Conclusions

It should be strongly emphasized that in view of such a strong diversity of designs, it seems desirable to introduce legal requirements relating to the control of the condition of the electrical system performed on the basis of a contractual diagnostic parameter, which would be carried out, for example, during a technical inspection of a vehicle. The basis for the development of such methods could be the technical documentation of system manufacturers – the essence would be the development of provisions of a consistent and universal nature. The authors postulate the introduction of legal provisions extending the scope and manner of conducting the technical examination of a vehicle to include aspects related to the specificity of the construction and operation of an electric vehicle, which have not been included in the current form of the relevant regulations.

Literature

1. Dz.U.2024.1251 t.j. Akt obowiązujący, Wersja od: 9 sierpnia 2025 r. do: 31 grudnia 2025 r., USTAWA z dnia 20 czerwca 1997 r. Prawo o ruchu drogowym (dostęp 18.11.2025r.); <https://sip.lex.pl/akty-prawne/dzu-dziennik-ustaw/prawo-o-ruchu-drogowym-16798732>,
2. HANDBOOK ON BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM, 2018 Asian Development Bank, Manilla 2018, eBook,
3. Tritex – materiały handlowe i promocyjne, <https://tritekbattery.com/pl/the-six-main-types-of-lithium-ion-batteries/>; (dostęp 18.11.2025r.).

Rafał Burdzik

Politechnika Śląska, Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej

e-mail: rafal.burdzik@polsl.pl

Jakość informacji i wyścig z czasem jako nowe wyzwania w diagnostyce i niezawodności

Słowa kluczowe: informacja, diagnostyka, niezawodność

Wprowadzenie

Kluczowym etapem w niezawodności i diagnostyce jest podjęcie decyzji, która dotyczyć może identyfikacji uszkodzenia lub niezgodności w przypadku diagnostyki oraz stanu niezdatności w utrzymaniu i niezawodności. Decyzja o identyfikacji i klasyfikacji podejmowana jest na podstawie informacji i faktów. Dlatego fundamentalna jest jakość tej informacji, która silnie zależy od metody, strategii, urządzeń oraz niepewności pomiaru. Poza procesem pozyskiwania sygnałów pomiarowych w kolejnym kroku niezwykle istotna jest metoda przetwarzania sygnału w celu ekstrakcji informacji mających znamiona symptomów stanu [1]. Obszar wiedzy w tym zakresie oraz zakres i zasięg badań są ogromne i nieprzerwanie eksplorowane przez różne ośrodki naukowe oraz jednostki badawczo-rozwojowe a także producentów czujników i systemów pomiarowych. Można jednak zauważyć także kolejny trend w tym zakresie, który dotyczy czasu.

Problem badawczy i metoda badawcza

W opracowaniu podjęto dyskusję wokół problematyki kryteriów oceny jakości sygnałów oraz zainicjowano nowy problem badawczy związany z czasem pozyskania satysfakcjonującej informacji w wyniku pomiaru i przetwarzania sygnałów. Przytoczono przemyślenia własne oraz przykłady odnoszące się do diagnostyki technicznej i niezawodności systemów. Zwrócono uwagę na różne media przesyłu informacji i wynikające z nich ograniczenia w zakresie pojemności informacyjnej oraz potencjału szybkości transmisji informacji i czasu efektywnego przetwarzania sygnałów w celu ekstrakcji informacji o satysfakcjonującej jakości.

Wyniki

Opracowanie ma charakter koncepcyjny i zawiera eksperymenty myślowe, jednak podano także wyniki praktycznych eksperymentów badawczych. W tym celu posłużono się przykładem szczególnie istotnym w kontekście niezawodności transportowej infrastruktury krytycznej oraz bezpieczeństwa uczestników ruchu [2]. Przedstawione wyniki badań i analiz pokazują porównanie czasu predykcji zbliżania się pojazdu na podstawie sygnałów drganiowych, czyli tego samego medium informacji, przy zastosowaniu różnych algorytmów przetwarzania sygnałów i reprezentatywnych miar przyjętych symptomów.

Wnioski i podsumowanie

Głównym celem opracowania jest zwrócenie uwagi na nowy parametr, który staje się istotny w diagnostyce i niezawodności i związany jest z czasem pozyskania informacji o satysfakcjonującej jakości. Dynamiczny rozwój systemów i urządzeń pomiarowych oraz transmisyjnych, rozwijanie nowych metod transformacji sygnałów, przy coraz częstszym wykorzystaniu uczenia maszynowego i sztucznych sieci neuronowych, stale podnoszą zdolności powiększania jakości sygnałów pomiarowych. Rozpoczyna się jednak nowy wyścig.. wyścig z czasem.. i pojawia się nowe kryterium związane z czasem pozyskania sygnału i przetworzenia przenoszonych w nim informacji.

Bibliografia

1. Burdzik R. (2024). In search of information: application of vibroacoustic methods in transport engineering. In: Twentieth International Conference on Condition Monitoring and Asset Management (CM 2024), 18-20 June 2024, Oxford, UK, The British Institute of Non-Destructive Testing (BINDT), 7A1
2. Burdzik R.: Application of vibration signals as independent and alternative information channels to support the reliability of positioning and prediction systems for transport means movement, Eksploatacja i Niezawodność, Polskie Naukowo-Techniczne Towarzystwo Eksploatacyjne, vol. 27, nr 1, 2025, s. 1-10, DOI:10.17531/ein/196929



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Rafal Burdzik

Silesian University of Technology, Faculty of Transport and Aviation Engineering

e-mail: rafal.burdzik@polsl.pl

Quality of information and the race against time as emerging challenges in diagnostics and reliability

Keywords: information, diagnostics, reliability

Introduction

A key stage in reliability engineering and diagnostics is decision-making process, which may concern the identification of a fault or incompatibility in diagnostic tasks, or the determination of an unserviceable state in maintenance and reliability management. Such decisions are based on information and facts; therefore, the quality of this information is fundamental and strongly dependent on the measurement methods, strategies, instrumentation, and uncertainty of measurement. Beyond the process of acquiring measurement signals, the subsequent step as signal processing aimed at extracting information that bears the characteristics of state symptoms is critical [1]. The knowledge, scope and range of research, and breadth of exploration in this aspect are extensive and continuously developed across scientific centres, R&D units, and manufacturers of sensors and measurement systems. However, another emerging trend can be observed in this context, one that concerns time.

Research problem and research methodology

This contribution discusses criteria for assessing signal quality and introduces a new research problem related to the time required to obtain information of satisfactory quality through measurement and signal processing. It presents conceptual reflections as well as examples related to technical diagnostics and system reliability. Attention is drawn to different information transfer media and the resulting limitations in information capacity, transmission speed, and the effective time needed for signal processing in order to extract information of sufficient quality.

Results

Although conceptual in nature and grounded in thought experiments, the paper also provides results from practical experimental studies. A particularly relevant example is employed, concerning the reliability of transport-related critical infrastructure and the safety of transport users [2]. The presented results and analyses illustrate a comparison of prediction times for approaching vehicles based on vibration signals, as the same information medium. By using different signal processing algorithms and representative measures of adopted symptoms different speed of prediction can be achieved.

Conclusions

The primary aim of this study is to highlight a new parameter that is becoming increasingly significant in diagnostics and reliability, which is the time required to obtain information of satisfactory quality. The rapid development of measurement and transmission systems, advancements in signal transformation methods, and the growing incorporation of machine learning and artificial neural networks continually enhance the capacity to improve measurement signal quality. However, a new race is beginning.. a race against time.. and a new criterion is emerging, linked to both the time needed to acquire a signal and the time required to process the information it carries.

Literature

1. Burdzik R. (2024). In search of information: application of vibroacoustic methods in transport engineering. In: Twentieth International Conference on Condition Monitoring and Asset Management (CM 2024), 18-20 June 2024, Oxford, UK, The British Institute of Non-Destructive Testing (BINDT), 7A1
2. Burdzik R.: Application of vibration signals as independent and alternative information channels to support the reliability of positioning and prediction systems for transport means movement, *Eksplotacja i Niezawodność, Polskie Naukowo-Techniczne Towarzystwo Eksploatacyjne*, vol. 27, nr 1, 2025, s. 1-10, DOI:10.17531/ein/196929

Mirosław Czerliński¹, Mariusz Izdebski²

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, Zakład Sterowania Ruchem i Infrastruktury Transportu,

² Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, Zakład Inżynierii Systemów Transportowych i Logistyki

e-mail: miroslaw.czerlinski@pw.edu.pl

Efektywność metody oceny wykluczenia komunikacyjnego dla potrzeb planowania zrównoważonej mobilności

Słowa kluczowe: wykluczenie komunikacyjne, ocena wielokryterialna, planowanie mobilności

Wprowadzenie

Przeciwdziałanie wykluczeniu komunikacyjnemu (WK) stało się istotnym wyzwaniem polityki transportowej w Polsce, szczególnie w obszarach wiejskich, podmiejskich i miejskich o rozproszonej zabudowie [1]. Mimo rosnącej dostępności danych przestrzennych, statystycznych i narzędzi analitycznych, wciąż brakowało metody, która umożliwiałaby wyznaczanie potencjalnych obszarów dotkniętych WK i skalowalną jego ocenę, bez arbitralnego przyjmowania progów WK dla ustalonych kryteriów oceny. Celem opracowania jest ocena efektywności metody pozwalającej na względną identyfikację i klasyfikację WK na potrzeby planowania zrównoważonej mobilności.

Problem badawczy i metoda badawcza

Aktualnie stosowane wskaźniki WK wymagają narzucenia granic, np. dojście piesze do najbliższego przystanku wynosi ponad 1,5 km na obszarze wiejskim i ponad 900 m na obszarze miejskim (projekt T-included Gospostrateg [2]). To prowadzi do arbitralnej oceny skali WK. Potrzebna była metoda, która pozwoli oceniać WK w sposób ciągły w określonym zakresie, a nie „zero-jedynkowy”. W opracowaniu zastosowano metodę wielokryterialnej oceny punktowej TOPSIS opartą na normalizacji i porównywaniu obserwacji względem punktu idealnego. Opracowano syntetyczny wskaźnik $WK \in [0,00; 1,00]$ dla każdego punktu analizy (budynki mieszkalne na badanym obszarze). Wskaźnik uwzględnia zestaw czynników popytowych i podaźowych, takich jak: czas poświęcony na podróż, czas drogi pieszej, rozkład jazdy, wskaźnik bezrobocia, przeciętne wynagrodzenie czy zmotoryzowanie. Wykorzystano bazy danych, w tym m.in. PRG, BDOT, BDL GUS, SEWIK i organizatora Grodzkiego Przewozy Autobusowe w formacie GTFS.

Wyniki

Metodę przetestowano dla obszaru o dużym zróżnicowaniu przestrzennym i funkcjonalnym, tj. powiatu grodzkiego zawierającego zarówno gminy zurbanizowane – miejskie: Milanówek i Podkowa Leśna; gminę miejsko-wiejską Grodzisk Mazowiecki oraz gminy wiejskie: Baranów, Jaktorów i Żabia Wola. Uzyskano wartości WK dla wszystkich budynków mieszkalnych na tym obszarze, wyznaczono wartości średnie i parametry statystyczne zagregowane do obszaru gmin oraz przedstawione na wykresach pudełkowych. Na mapach ciepła oznaczono obszary w zakresie od tych najbardziej narażonych na WK (wartość ponad 0,75) do tych najmniej (wartość poniżej 0,25). Wyniki zestawiono z siecią drogową i rozkładem publicznego transportu zbiorowego.

Wnioski i podsumowanie

Zweryfikowano metodę oceny wykluczenia komunikacyjnego (WK), która pozwala określić obszary narażone na to zjawisko i może wspierać planowanie zrównoważonej mobilności [3]. Metoda nie zakłada z góry parametrów maksymalnego WK, a określa je na podstawie wprowadzonego zbioru danych (dzięki TOPSIS), wobec braku jednoznacznie akceptowalnych kryteriów w literaturze. Sieci transportu publicznego nieustannie podlegają zmianie i tylko przygotowywanie danych w formie ustandaryzowanej i cyfrowej (GTFS), może pozwolić na obserwację zmian w WK.

Bibliografia

1. Kwarciniński T., „Rola publicznego transportu zbiorowego w zaspokajaniu potrzeb transportowych mieszkańców obszarów wiejskich w Polsce”, SiP, nr 166, s. 77–89, sie. 2019, doi: 10.33119/SIP.2018.166.5.
2. Sawicki P., Żmuda-Trzebiatowski P., Birr K., Sierpiński G., Izdebski M., „Metodyczne podstawy wyznaczania wykluczenia komunikacyjnego w Polsce - wstępne wyniki”, Politechnika Poznańska, Politechnika Gdańska, Politechnika Śląska, Politechnika Warszawska, cze. 2024.
3. Wolański M., Skuteczność interwencji publicznej w zakresie mobilności miejskiej, Wydanie I. Warszawa: Oficyna Wydawnicza SGH, 2022.

Mirosław Czerliński¹, Mariusz Izdebski²

¹ Warsaw University of Technology, Faculty of Transport, Department of Traffic Control and Transport Infrastructure ² Warsaw University of Technology, Faculty of Transport, Department of Transport Systems Engineering and Logistics

e-mail: mirosław.czerlinski@pw.edu.pl

Effectiveness of the Method for Assessing Transport Exclusion for Sustainable Mobility Planning

Keywords: public transport exclusion, multi-criteria assessment, mobility planning

Introduction

Reducing public transport exclusion (PTE) has become a significant challenge for transport policy in Poland, particularly in rural, suburban, and dispersed urban areas [1]. Despite the growing availability of spatial and statistical data, as well as analytical tools, no method has been available that allows for identifying potential areas affected by PTE and assessing them in a scalable way without arbitrarily setting threshold values for predefined assessment criteria. This study aims to determine the effectiveness of a method that enables relative identification and classification of PTE for sustainable mobility planning purposes.

Research problem and research methodology

Currently used PTE indicators require imposing thresholds, e.g., walking distance to the nearest stop exceeding 1.5 km in rural areas or 900 m in urban areas (T-included Gospostrateg project [2]). This leads to an arbitrary assessment of PTE severity. A method was needed that would allow PTE to be assessed continuously within a defined range rather than in a binary (“yes-no”) manner. The study employs the TOPSIS multi-criteria scoring method, which involves normalising and comparing observations against an ideal point. A synthetic indicator $PTE \in [0.00; 1.00]$ was developed for each analysis point (residential building within the study area). The indicator incorporates a set of demand and supply factors, such as travel time, walking time, timetable characteristics, unemployment rate, average income, and motorisation level. Several databases were used, including PRG, BDOT, GUS BDL, SEWIK, and GTFS data from the Grodzisk County Public Bus Service.

Results

The method was tested on a spatially and functionally diverse area—the Grodzisk County, which includes urban municipalities (Milanówek and Podkowa Leśna), the urban-rural municipality of Grodzisk Mazowiecki, and rural municipalities: Baranów, Jaktorów, and Żabia Wola. PTE values were obtained for all residential buildings in the area, and average values and aggregated statistical parameters were calculated for each municipality and presented using box-plots. Heat maps were created to highlight areas from the most exposed to PTE (values above 0.75) to the least exposed (values below 0.25). The results were compared with the road network and public transport service schedule.

Conclusions

The method for assessing public transport exclusion (PTE) was verified, demonstrating its ability to identify areas exposed to this phenomenon and to support sustainable mobility planning [3]. The method does not assume maximum PTE parameters a priori; instead, it derives them from the input dataset (thanks to TOPSIS), addressing the lack of universally accepted criteria in the literature. Public transport networks undergo continuous change, and only preparing data in standardised, digital formats (such as GTFS) enables systematic monitoring of changes in PTE.

Literature

1. Kwarciański T., „Rola publicznego transportu zbiorowego w zaspokajaniu potrzeb transportowych mieszkańców obszarów wiejskich w Polsce”, SiP, nr 166, s. 77–89, sie. 2019, doi: 10.33119/SiP.2018.166.5.
2. Sawicki P., Żmuda-Trzebiatowski P., Birr K., Sierpiński G., Izdebski M., „Metodyczne podstawy wyznaczania wykluczenia komunikacyjnego w Polsce - wstępne wyniki”, Politechnika Poznańska, Politechnika Gdańska, Politechnika Śląska, Politechnika Warszawska, cze. 2024.
3. Wolański M., Skuteczność interwencji publicznej w zakresie mobilności miejskiej, Wydanie I. Warszawa: Oficyna Wydawnicza SGH, 2022.

Janusz Cwiklak¹, Paweł Gołda²

¹ Lotnicza Akademia Wojskowa, Instytut Nawigacji

² Lotnicza Akademia Wojskowa, Wydział Lotnictwa

e-mail: j.cwiklak@law.mil.pl

Numeryczne modelowanie zderzeń statków powietrznych z modelami ptaków o różnych właściwościach materiałowych

Słowa kluczowe: analizy numeryczne, numeryczny model ptaka, zderzenia samolotów z ptakami

Wprowadzenie

W artykule przedstawiono wyniki badań numerycznych zderzeń modeli ptaków różnymi elementami statków powietrznych. Głównym celem badań była validacja modeli ptaków zbudowanych z materiałów o różnych właściwościach. Do opracowania modeli numerycznych wykorzystano wyniki badań eksperymentalnych. Symulacje przeprowadzono w oparciu o oprogramowanie LS-DYNA. Testy zderzeń przeprowadzono w zakresie prędkości 50-150 ms [1]. Porównano wyniki badań, takich jak siła uderzenia, ciśnienie i odkształcenie modelu ptaka.

Problem badawczy i metoda badawcza

Jednym z problemów występujących podczas modelowania zderzeń jest zarówno kształt jaki materiał użyty do budowy modelu ptaka. Jak wynika z analizy literatury przedmiotu badań większość badaczy wykorzystuje materiał MAT_9 - NULL, który wymaga równania stanu i dobrze oddaje hydrodynamiczny efekt zderzenia przy prędkościach powyżej 100 m/s. Dlatego w badaniach zdecydowano użyć materiał o właściwościach gumy (MAT_77- HYPERELASTIC RUBBER). Jak wynika z badań eksperymentalnych żelatynowy model ptaka przy prędkościach 50-75 m/s odbija się od celu, doznając nieznacznej deformacji. Symulacje numeryczne wykonano w oparciu o oprogramowanie LS-DYNA. Podobnie jak wielu autorów, przyjęto model ptaka w kształcie walca ze sferycznymi zakończeniami [2]. Modelowanie ptaków wykonano metodą SPH [3]. Uzyskane wyniki porównano z wynikami innych autorów.

Wyniki

Wykres siły uderzenia uzyskany w eksperymencie porównano z siłą uzyskaną z symulacji. Analizując przebieg krzywych, można stwierdzić, że ich kształty są porównywalne, a ich maksymalne wartości dobrze ze sobą korelują. Pierwszy pik siły zarówno podczas eksperymentu, jak i symulacji ma podobne wartości, co odzwierciedla pik Hugoniota. Porównano kształt deformacji modeli ptaka podczas uderzenia, zarejestrowanego przez kamerę, z wynikami odpowiadających im symulacji numerycznych. Stwierdzono, że kształt deformacji zarówno żelatynowego, jak i numerycznego modelu ptaka (MAT_9- NULL oraz MAT_10,-ELASTIC_PLASTIC_HYDRO) jest porównywalny przy prędkościach 116 m/s. Z kolei MAT_77- HYPERELASTIC RUBBER (właściwości gumy) nie odzwierciedla sposobu deformacji modelu żelatynowego. Natomiast Przy prędkościach 50-75 m/s zachowanie się modelu ptaka zbudowanego z MAT_77 dobrze koreluje z modelem żelatynowym.

Wnioski i podsumowanie

Efekt deformacji zarówno żelatynowych modeli ptaków oraz zbudowanych z MAT_9 i MAT_10 podczas uderzeń potwierdza ich hydrodynamiczne zachowanie przy prędkościach powyżej 100 m/s. Zastosowanie 10% porowatości, w połączeniu z liniowym wielomianowym EOS, daje wyniki zbliżone do testu eksperymentalnego. Przy prędkościach poniżej około 80 m/s jest zasadne stosowanie modeli numerycznych zbudowanych z materiału o właściwościach gumy (MAT_77).

Bibliografia

1. Hedayati R.: Sadighi M.: Bird strike: An Experimental, Theoretical and Numerical Investigation, Woodhead Publishing in Mechanical Engineering, an Imprint of Elsevier, Cambridge, England, 2016, ISBN: 978-0-08-100093-9.
2. Heimbs, S., 2011, Computational methods for bird strike simulations: A review, Computers and Structures, 89, pp. 2093–2112.
3. Lavoie, M.A., Gakwaya, A., Ensan, M.N, Zimcik, D.G., 2007, Review of existing numerical methods and validation procedure available for bird strike modelling, ICCES, 2(4), pp. 111-118.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Janusz Ćwiklak¹, Paweł Golda²

¹ Polish Air Force University, The Institute of Navigation

² Polish Air Force University, The Faculty of Aviation

e-mail: j.cwiklak@law.mil.pl

Numerical Modeling of Aircraft Collisions with Bird Models of Different Material Properties

Keywords: bird strikes, experimental investigations, numerical analysis, numerical bird model

Introduction

This paper presents the results of numerical simulations of collisions between bird models and various aircraft components. The main objective of the study was to validate bird models constructed from materials with different properties. The numerical models were developed based on experimental test data. The simulations were carried out using the LS-DYNA software. Collision tests were performed at impact velocities ranging from 50 to 150 m/s [1]. The results were compared in terms of impact force, pressure, and bird model deformation.

Research problem and research methodology

One of the main challenges in modeling bird strikes is determining both the geometry and the material used for the bird model. According to the literature, most researchers employ the material model MAT_9-NULL, which requires an equation of state and accurately represents the hydrodynamic effect of impact at velocities above 100 m/s. In this study, however, a material with rubber-like properties (MAT_77- HYPERELASTIC RUBBER) was used. Experimental results indicate that a gelatin-based bird model at velocities between 50–75 m/s rebounds from the target with only minor deformation. The numerical simulations were conducted using LS-DYNA. Similar to other researchers, a cylindrical bird model with hemispherical ends was adopted [2]. Bird modeling was performed using the Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) method [3]. The obtained results were compared with data reported by other authors.

Results

The impact force obtained in the experiment was compared with the force predicted by the simulation. Analysis of the force–time curves showed that their shapes were comparable, and the maximum force values correlated well. The first force peak, observed in both experiment and simulation, corresponds to the Hugoniot peak. The deformation shape of the bird model during impact, recorded by high-speed cameras, was compared with the corresponding numerical simulations. It was found that the deformation of both the gelatin and numerical bird models (MAT_9 – NULL and MAT_10 – ELASTIC_PLASTIC_HYDRO) was comparable at an impact velocity of 116 m/s. In contrast, MAT_77- HYPERELASTIC RUBBER (rubber-like material) did not reproduce the deformation behavior of the gelatin model at these high velocities. However, at lower velocities (50–75 m/s), the behavior of the MAT_77 bird model correlated well with that of the gelatin model.

Conclusions

The deformation behavior of both gelatin bird models and those constructed using MAT_9 and MAT_10 confirms their hydrodynamic response at impact velocities above 100 m/s. The application of 10% porosity, combined with a linear polynomial equation of state (EOS), yields results consistent with experimental tests. At velocities below approximately 80 m/s, it is advisable to use numerical bird models based on materials with rubber-like properties (MAT_77).

References

1. Hedayati R.: Sadighi M.: Bird strike: An Experimental, Theoretical and Numerical Investigation, Woodhead Publishing in Mechanical Engineering, an Imprint of Elsevier, Cambridge, England, 2016, ISBN: 978-0-08-100093-9.
2. Heimbs, S., 2011, Computational methods for bird strike simulations: A review, Computers and Structures, 89, pp. 2093–2112.
3. Lavoie, M.A., Gakwaya, A., Ensan, M.N, Zimcik, D.G., 2007, Review of existing numerical methods and validation procedure available for bird strike modelling, ICCES, 2(4), pp. 111-118.

Stanisław Duer¹, Marek Woźniak², Radosław Duer³, Dariusz Bernatowicz⁴

¹ Politechnika Koszalińska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Energetyki, ² Szkoła Doktorska Politechniki Koszalińskiej, ³ Niezależny badacz, ⁴ Politechnika Koszalińska, Wydział Elektroniki i Informatyki

e-mail: stanislaw.duer@tu.koszalin.pl

Określenie okresu optymalnej obsługi systemu radarowego na podstawie niezawodności procesu jego eksploatacji

Słowa kluczowe: diagnostyka, niezawodność, radar

Wprowadzenie

Proces eksploatacji złożonych obiektów technicznych, takich jak system radarowy, prowadzi do stopniowej degradacji ich właściwości wskutek oddziaływania czynników zewnętrznych oraz wewnętrznych, co skutkuje powstawaniem uszkodzeń o charakterze krytycznym lub niekrytycznym. Zrozumienie dynamiki zmian stanów technicznych obiektu oraz określenie prawdopodobieństw przebywania w poszczególnych stanach umożliwia jakościową ocenę jego pracy oraz wyznaczenie momentu inicjacji procesu odnowy. Nowością proponowanego podejścia jest powiązanie wyników diagnozowania stanów obiektu z analizą niezawodnościową, co pozwala na wyznaczenie funkcji niezawodności $R_o(t)$ oraz czasów występowania stanów technicznych jako podstawy do opracowania optymalnej strategii obsługi i odnowy systemu radarowego.

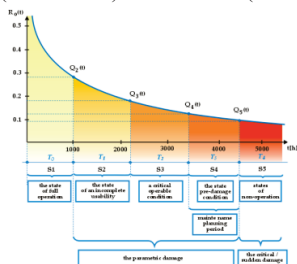
Problem badawczy i metoda badawcza

Proces eksploatacji systemu radarowego powoduje przechodzenie obiektu przez różne stany techniczne, które można opisać za pomocą pięciowartościowej logiki diagnostycznej (5VL) [1]. Brakuje jednak modelu, który w sposób zintegrowany łączyłby tę klasyfikację stanów z analizą niezawodnościową, umożliwiając wyznaczenie prawdopodobieństw przebywania w stanach S0-S4 oraz momentu inicjacji odnowy. Problem badawczy polega zatem na opracowaniu modelu procesu eksploatacji, opartego na intensywnościach przejść między stanami i równaniach Chapmana-Kołmogorowa, który pozwoli określić optymalną strategię obsługi i odnowy systemu radarowego.

Wyniki

W wyniku przeprowadzonych badań niezawodnościowych wyznaczono funkcję niezawodności $R_o(t)$ (Rys. 1) systemu radarowego oraz prawdopodobieństwa przebywania w stanach technicznych S0-S4 w czasie 5000 godzin eksploatacji. Analiza szczegółowego przebiegu $R_o(t)$ pozwoliła określić przedziały czasowe odpowiadające kolejnym stanom: od pełnej zdadności (≤ 1011 h), poprzez stany częściowej i krytycznej zdadności, aż do stanu przeduszkodzeniowego (3260-4487 h) i niezdatności (> 4487 h). Na tej podstawie stwierdzono, że optymalny moment rozpoczęcia odnowy systemu radarowego przypada na czas przebywania w stanie S3, tj. w przedziale < 3260 h; 4487 h>.

Rys. 1 Wykres funkcji niezawodności badanego systemu.



Wnioski i podsumowanie

W przeprowadzonych badaniach wykazano, że integracja diagnostyki pięciowartościowej (5VL) z analizą niezawodności procesu eksploatacji umożliwia nie tylko identyfikację stanów technicznych obiektu, lecz także wyznaczenie momentów ich występowania na podstawie funkcji niezawodności $R_o(t)$. Opracowana metoda pozwala w sposób analityczny określić czas pojawienia się stanu niezdatności (S4) oraz stanu przeduszkodzeniowego (S3), co stanowi podstawę do formułowania optymalnej strategii odnowy technicznej. Zaproponowana „strategia według stanów S3” stanowi innowacyjne podejście do planowania obsługi złożonych obiektów technicznych i może być skutecznie wykorzystana w praktyce inżynierskiej.

Bibliografia

1. Duer S., Woźniak M., Stawowy, Zajkowski K., Harničarova M., Duer R.: Analysis and assessment of the reliability of the operation process of a complex, diagnosed technical object in 5-value logic. Inżynieria Bezpieczeństwa Obiektów Antropogenicznych, 4 (2023) 60-70, doi.org/10.37105/iboa.189.

Stanisław Duer ¹, Marek Woźniak ², Radosław Duer ³, Dariusz Bernatowicz ⁴

¹ Department of Energy, Faculty of Mechanical Engineering and Power Engineering, Technical University of Koszalin, ² Doctoral School, Technical University of Koszalin, ³ Independent Researcher, ⁴ Faculty of Electronics and Computer Science, Technical University of Koszalin

e-mail: stanislaw.duer@tu.koszalin.pl

Determining the period of optimal maintenance of the radar system based on the reliability of its operation process

Keywords: diagnostics, reliability, radar

Introduction

The operation process of complex technical objects, such as a radar system, leads to the gradual degradation of their properties due to the influence of external and internal factors, resulting in the occurrence of critical or non-critical damage. Understanding the dynamics of changes in the technical states of the object and determining the probabilities of remaining in particular states enables a qualitative assessment of its performance and the identification of the initiation moment of the renewal process. The novelty of the proposed approach lies in linking the results of state diagnosis with reliability analysis, which makes it possible to determine the reliability function $R_o(t)$ and the occurrence times of technical states as a basis for developing an optimal maintenance and renewal strategy for the radar system.

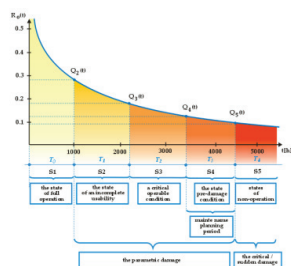
Research problem and research methodology

The operation process of a radar system causes the object to transition through various technical states, which can be described using five-valued diagnostic logic (5VL) [1]. However, there is a lack of a model that would integrally combine this state classification with reliability analysis, enabling the determination of the probabilities of remaining in states S0-S4 and the moment of renewal initiation. Therefore, the research problem consists in developing an exploitation process model based on transition intensities between states and the Chapman-Kolmogorov equations, which will make it possible to define an optimal maintenance and renewal strategy for the radar system.

Results

As a result of the conducted reliability studies, the reliability function $R_o(t)$ (Fig. 1) of the radar system and the probabilities of remaining in technical states S0-S4 over 5000 hours of operation were determined. The detailed analysis of $R_o(t)$ made it possible to define the time intervals corresponding to successive states: from full serviceability (≤ 1011 h), through partial and critical serviceability, up to the pre-damage state (3260-4487 h) and unserviceability (> 4487 h). Based on this, it was concluded that the optimal moment to initiate the renewal of the radar system falls within the period in which it remains in state S3, i.e. in the interval <3260 h; 4487 h>.

Fig. 1. Graph of the reliability function of the tested system.



Conclusions

The conducted studies demonstrated that the integration of five-valued logic (5VL) diagnostics with the reliability analysis of the exploitation process enables not only the identification of the technical states of the object but also the determination of their occurrence times based on the reliability function $R_o(t)$. The developed method allows analytically determining the time of occurrence of the unserviceable state (S4) and the pre-damage state (S3), which forms the basis for formulating an optimal technical renewal strategy. The proposed “S3-based strategy” represents an innovative approach to maintenance planning for complex technical objects and can be effectively applied in engineering practice.

Literature

1. Duer S., Woźniak M., Stawowy, Zajkowski K., Harničarova M., Duer R.: Analysis and assessment of the reliability of the operation process of a complex, diagnosed technical object in 5-value logic. *Safety Engineering of Anthropogenic Structures*, 4 (2023) 60-70, doi.org/10.37105/iboa.189.

Bartłomiej Dziewoński, Krzysztof Kaliszuk, Maciej Milewski, Mateusz Kucharski, Jacek Napora, Artur Kierzkowski, Tomasz Kisiel

Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, Katedra Eksploatacji Systemów Technicznych

e-mail: bartlomiej.dzewonski@pwr.edu.pl

Weryfikacja charakterystyk aerodynamicznych bezzałogowego statku powietrznego SkyRes z wykorzystaniem badań w tunelu aerodynamicznym

Słowa kluczowe: bezzałogowy statek powietrzny, SkyRes, tailsitter, tunel aerodynamiczny

Wprowadzenie

Dynamiczny rozwój rynku bezzałogowych statków powietrznych w ostatniej dekadzie znacząco zwiększył zapotrzebowanie przemysłu na badania laboratoryjne, niezbędne zarówno w procesie projektowania, jak i certyfikacji tych systemów. Jednym z kluczowych etapów oceny właściwości lotnych jest eksperymentalna weryfikacja charakterystyk aerodynamicznych w tunelu aerodynamicznym, która pozwala na określenie sił i momentów działających na statek powietrzny. Takie badania stanowią istotny element procedur certyfikacyjnych, zwłaszcza w odniesieniu do lotów bezzałogowych statków powietrznych o podwyższonym poziomie ryzyka operacyjnego zgodnie z zasadami analizy SORA. Tunelowe testy aerodynamiczne umożliwiają wykrycie zjawisk krytycznych, kalibrację modeli numerycznych oraz ocenę zachowania statku powietrznego co przekłada się na poprawę bezpieczeństwa w warunkach rzeczywistych.

Problem badawczy i metoda badawcza

W zaprezentowanych badaniach laboratoryjnych celem było wyznaczenie charakterystyk aerodynamicznych badanego statku powietrznego w funkcji kąta natarcia przy kilku poziomach prędkości przepływu powietrza. Zakres prac obejmował przygotowanie i montaż modelu w tunelu aerodynamicznym, wykonanie serii pomiarów sześciu składowych oddziaływań aerodynamicznych, trzech sił i trzech momentów, a także wstępną analizę wyników pomiarowych [1]. Eksperyment przeprowadzono w tunelu o zamkniętym obiegu z komorą pomiarową 1275×1415 mm, umożliwiającą realizację testów do prędkości 60 m/s. Tak uzyskane dane eksperymentalne stanowią podstawę do dalszej analizy właściwości lotnych, walidacji modeli CFD oraz wsparcia procesu certyfikacji bezzałogowego statku powietrznego SkyRes.

Wyniki

Na podstawie zarejestrowanych wartości sił F_x i F_z obliczono współczynniki aerodynamiczne oporu C_x oraz siły nośnej C_z , uwzględniając zmianę gęstości powietrza wynikającą z pomiarów temperatury w tunelu oraz równania stanu gazu doskonałego. Współczynniki wyznaczano zgodnie z klasycznymi definicjami, wykorzystując powierzchnię odniesienia modelu równą $0,228 \text{ m}^2$.

Wnioski i podsumowanie

Przeprowadzone badania tunelowe pozwoliły na wyznaczenie charakterystyk aerodynamicznych badanego statku powietrznego w szerokim zakresie prędkości przepływu i kątów natarcia. Otrzymane wyniki potwierdzają poprawność przyjętej konfiguracji aerodynamicznej. Model wykazuje przewidywalny, liniowy przyrost siły nośnej w zakresie przedkrytycznym oraz stabilny przebieg charakterystyk oporu i momentów aerodynamicznych. Jednocześnie zarejestrowany gwałtowny wzrost oporu i spadek siły nośnej przy największych kątach natarcia wskazują na jednoznaczne granice bezpiecznego zakresu operacyjnego dla statku powietrznego, co będzie podstawą dla opracowania algorytmów autonomicznego sterowania [2].

Bibliografia

1. Low-speed wind tunnel testing — third edition. J.B. Barlow et al. John Wiley and Sons, Baffins Lane, Chichester, West Sussex, P019 1UD. 1999. 713pp. ISBN 0-471-55774-9. The Aeronautical Journal. 2000;104(1033):162-162. doi:10.1017/S0001924000025379
2. Conference on Low Reynolds Number Aerodynamics, and T. J. Mueller. Low Reynolds Number Aerodynamics : Proceedings of the Conference Notre Dame, Indiana, USA, 5–7 June 1989. Ed. by T. J. Mueller. 1st ed. 1989. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1989. Web.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Bartłomiej Dziewoński, Krzysztof Kaliszuk, Maciej Milewski, Mateusz Kucharski, Jacek Napora, Artur Kierzkowski, Tomasz Kisiel

Wrocław University of Science and Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Technical Systems Operation and Maintenance

e-mail: bartlomiej.dziewonski@pwr.edu.pl

Verification of the aerodynamic characteristics of the SkyRes unmanned aircraft using wind-tunnel testing

Key words: unmanned aircraft system, SkyRes, tailsitter, wind tunnel

Introduction

The dynamic growth of the unmanned aerial vehicle market over the past decade has significantly increased the industry's demand for laboratory testing, which is essential both in the design process and in the certification of these systems. One of the key stages in assessing flight performance is the experimental verification of aerodynamic characteristics in a wind tunnel, enabling the determination of forces and moments acting on the aircraft. Such investigations constitute an important component of certification procedures, particularly for UAV operations with elevated operational risk levels, in accordance with SORA analysis principles. Wind-tunnel aerodynamic tests make it possible to identify critical phenomena, calibrate numerical models, and evaluate the aircraft's behavior, all of which contribute to enhancing safety in real-world operating conditions.

Research problem and research methodology

In the laboratory investigations presented, the objective was to determine the aerodynamic characteristics of the tested aircraft as a function of angle of attack at several airspeed levels. The scope of work included the preparation and installation of the model in the wind tunnel, the execution of a series of measurements of the six aerodynamic load components, three forces and three moments, and a preliminary analysis of the recorded data [1]. The experiment was conducted in a closed-circuit wind tunnel with a 1275×1415 mm test section, enabling measurements at airspeeds of up to 60 m/s. The experimental data obtained provide the basis for further analysis of the vehicle's flight characteristics, validation of CFD models, and support for the certification process of the SkyRes unmanned aircraft.

Results

Based on the recorded values of the forces F_x and F_z , the aerodynamic drag coefficient C_x and the lift coefficient C_z were calculated, considering variations in air density resulting from the measured tunnel temperature and the ideal gas law. The coefficients were determined according to classical definitions, using a reference area of 0.228 m^2 .

Conclusions

The wind-tunnel tests conducted made it possible to determine the aerodynamic characteristics of the examined aircraft over a wide range of flow velocities and angles of attack. The obtained results confirm the correctness of the adopted aerodynamic configuration. The model exhibits a predictable, linear increase in lift in the pre-critical range, as well as stable drag and moment characteristics. At the same time, the recorded rapid rise in drag and reduction in lift at the highest angles of attack clearly indicate the limits of the aircraft's safe operational envelope, which will serve as a basis for the development of autonomous control algorithms [2].

Literature

1. Low-speed wind tunnel testing — third edition. J.B. Barlow et al. John Wiley and Sons, Baffins Lane, Chichester, West Sussex, PO19 1UD. 1999. 713pp. ISBN 0-471-55774-9. *The Aeronautical Journal*. 2000;104(1033):162-162. doi:10.1017/S0001924000025379
2. Conference on Low Reynolds Number Aerodynamics, and T. J. Mueller. Low Reynolds Number Aerodynamics : Proceedings of the Conference Notre Dame, Indiana, USA, 5–7 June 1989. Ed. by T. J. Mueller. 1st ed. 1989. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1989. Web.

Bartłomiej Dziewoński, Artur Kierzkowski

Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, Katedra Eksploatacji Systemów Technicznych

e-mail: bartlomiej.dzewoński@pwr.edu.pl

Koncepcja metody oceny stanu technicznego lekkiego bezzałogowego statku powietrznego z wykorzystaniem badań w tunelu aerodynamicznym małych prędkości

Słowa kluczowe: bezzałogowy statek powietrzny, lekki, stan techniczny, ocena, tunel aerodynamiczny

Wprowadzenie

Lekkie bezzałogowe statki powietrzne są dziś wykorzystywane w wielu sektorach, a ich bezpieczeństwo i niezawodność stają się kluczowe. Mimo to wciąż brakuje metod oceny stanu technicznego, pozwalających określić, jak uszkodzenia wpływają na aerodynamikę i zdolność do lotu takich konstrukcji. Proponowana koncepcja zakłada wykorzystanie dynamicznych obciążeń powierzchni statku powietrznego [1], badań w tunelu aerodynamicznym małych prędkości, które umożliwiają odtworzenie warunków występujących w locie. Analiza odpowiedzi konstrukcji na te wymuszenia pozwala wykrywać zmiany świadczące o degradacji struktury. Dzięki temu możliwe jest opracowanie metody oceny stanu technicznego lekkich bezzałogowych statków powietrznych.

Problem badawczy i metoda badawcza

Metoda oceny stanu technicznego opiera się na porównawczych badaniach trzech egzemplarzy lekkiego BSP o identycznej konstrukcji, badanych w tunelu aerodynamicznym małych prędkości. Pierwszy egzemplarz stanowi wzorzec, jest to płatowiec nowy, nieeksploatowany. Drugi egzemplarz pochodzi z eksploatacji w której miał miejsce incydent polegający na lądowaniu w terenie przygodnym, co mogło spowodować niewidoczne gołym okiem uszkodzenia struktury. Trzeci egzemplarz posiada celowo wprowadzone wady produkcyjne, odzwierciedlające typowe nieciągłości lub niedokładności produkcyjne. Każdy z egzemplarzy będzie badany w zakresie różnych prędkości przepływu oraz różnych kątów natarcia w tunelu, co pozwoli odtworzyć typowe warunki lotu i ich wpływ na zachowanie konstrukcji. Dla każdej konfiguracji rejestrowane będą: siła nośna, opór aerodynamiczny oraz momenty działające na płatowiec. Dodatkowo na strukturze zainstalowane zostaną piezoelektryczne akcelerometry, które umożliwią śledzenie zmian w odpowiedzi dynamicznej konstrukcji pomiędzy trzema badanymi statkami powietrznymi. Porównanie charakterystyk aerodynamicznych i sygnałów przyspieszeń pozwoli na identyfikację różnic wynikających z uszkodzeń eksploatacyjnych oraz wad produkcyjnych, a w konsekwencji na ocenę stanu technicznego BSP [2].

Wnioski i podsumowanie

Przeprowadzenie porównawczych badań trzech egzemplarzy lekkiego bezzałogowego statku powietrznego w tunelu aerodynamicznym pozwala na ocenę wpływu różnych typów uszkodzeń na zachowanie aerodynamiczne i dynamiczne konstrukcji. Analiza zmian siły nośnej, oporu, momentów oraz odpowiedzi struktury zarejestrowane przez akcelerometry umożliwia identyfikację odchyśleń od stanu referencyjnego, które mogą świadczyć o degradacji płatowca [3]. Zastosowane podejście tworzy podstawę do opracowania powtarzalnej metody oceny stanu technicznego lekkich BSP, opartej na pomiarach tunelowych i analizie odpowiedzi dynamicznej. W efekcie możliwe staje się określenie, czy dany egzemplarz zachowuje wymagane właściwości lotne i strukturalne, co ma kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa eksploatacji oraz dalszego dopuszczenia do lotu.

Bibliografia

1. Sha, Y., Zhao, W., Tang, X. & Zhao, F. Acoustic and Vibration Response and Fatigue Life Analysis of Thin-Walled Connection Structures under Heat Flow Conditions. *Aerospace* 11, 287 (2024).
2. Liu, J., Lin, Q., Liu, G., Liu, D. & Liu, J. Airworthiness Technology: The Key for the Development and Application of Civilian Unmanned Aircraft Systems. (3rd ICAUS 2023) (eds. Qu, Y., Gu, M., Niu, Y. & Fu, W.) vol. 1170 80–90 (Springer Nature Singapore, Singapore, 2024).
3. Xu, C. et al. Application of Carbon Composites in Unmanned Aerial Vehicles: A Review. In *Proceedings of 2021 International Conference on Autonomous Unmanned Systems (ICAUS 2021)* (eds. Wu, M., Niu, Y., Gu, M. & Cheng, J.) vol. 861 3479–3485 (Springer Singapore, Singapore, 2022).



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Bartłomiej Dziewoński, Artur Kierzkowski

Wrocław University of Science and Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Technical Systems Operation and Maintenance

e-mail: bartlomiej.dziewonski@pwr.edu.pl

Concept of a method for assessing the technical condition of a light Unmanned Aerial Vehicle using dynamic loads in a low-speed wind tunnel

Key words: unmanned aircraft system, lightweight UAV, technical condition, assessment, wind tunnel

Introduction

Light unmanned aircraft systems are now widely used across multiple sectors, and their safety and reliability have become increasingly important. Despite this, there is still a lack of methods allowing for a quantitative assessment of technical condition and for determining how structural damage influences aerodynamic performance and flightworthiness. The proposed concept is based on applying dynamic loads to the aircraft surfaces [1] and conducting tests in a low-speed wind tunnel, which enables the reconstruction of flight-like conditions. Analyzing the structural response to these loads makes it possible to detect changes indicative of degradation. As a result, this approach provides a basis for developing a method to assess the technical condition of light unmanned aircraft systems.

Research problem and research methodology

The method for assessing technical condition is based on comparative testing of three identical light UAV airframes in a low-speed wind tunnel. The first airframe serves as a reference specimen; it is new and has not been operated. The second specimen has been previously used and experienced an off-airport landing, which may have caused structural damage not visible to the naked eye. The third specimen includes intentionally introduced manufacturing defects that replicate typical discontinuities or assembly inaccuracies. Each airframe will be tested across a range of flow velocities and angles of attack in the wind tunnel to reconstruct typical flight conditions and their effect on structural behavior. For each configuration, lift, drag, and aerodynamic moments acting on the airframe will be recorded. Additionally, piezoelectric accelerometers will be installed on the structure to track differences in dynamic response between the three UAV specimens. Comparing aerodynamic characteristics and acceleration signals enables the identification of deviations resulting from operational damage or manufacturing defects, ultimately supporting the assessment of the UAV's technical condition [2].

Conclusions

Conducting comparative tests of three light unmanned aircraft in a wind tunnel enables evaluation of how different types of damage affect their aerodynamic and dynamic behavior. Analysis of changes in lift, drag, aerodynamic moments, and structural responses recorded by accelerometers allows for the detection of deviations from the reference state that may indicate degradation of the airframe [3]. The proposed approach provides a foundation for establishing a repeatable method for assessing the technical condition of light UAVs, based on wind tunnel measurements and analysis of structural response. As a result, it becomes possible to determine whether a given aircraft maintains the required aerodynamic and structural properties, which is essential for safe operation and continued airworthiness approval.

Literature

1. Sha, Y., Zhao, W., Tang, X. & Zhao, F. Acoustic and Vibration Response and Fatigue Life Analysis of Thin-Walled Connection Structures under Heat Flow Conditions. *Aerospace* 11, 287 (2024).
2. Liu, J., Lin, Q., Liu, G., Liu, D. & Liu, J. Airworthiness Technology: The Key for the Development and Application of Civilian Unmanned Aircraft Systems. (3rd ICAUS 2023) (eds. Qu, Y., Gu, M., Niu, Y. & Fu, W.) vol. 1170 80–90 (Springer Nature Singapore, Singapore, 2024).
3. Xu, C. et al. Application of Carbon Composites in Unmanned Aerial Vehicles: A Review. In *Proceedings of 2021 International Conference on Autonomous Unmanned Systems (ICAUS 2021)* (eds. Wu, M., Niu, Y., Gu, M. & Cheng, J.) vol. 861 3479–3485 (Springer Singapore, Singapore, 2022).

Piotr Franke-Wąsowski ¹, Bálint Csonka ², Jakub Murawski ¹

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, ² Budapest University of Technology and Economics, Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering

e-mail: piotr.franke@pw.edu.pl

Stochastyczna analiza odporności eksploatacyjnej i propagacji zakłóceń na regionalnych liniach kolejowych

Słowa kluczowe: mikrosymulacja stochastyczna, odporność eksploatacyjna, propagacja opóźnień

Wprowadzenie

W artykule podjęto problematykę niezawodności funkcjonowania infrastruktury kolejowej o ograniczonej przepustowości. Linie jednotorowe, stanowiące istotną część sieci regionalnej, charakteryzują się wysoką wrażliwością na zakłócenia pierwotne, co prowadzi do narastania opóźnień. W referacie postawiono tezę, że tradycyjne, deterministyczne metody planowania rozkładów jazdy są niewystarczające do oceny rzeczywistej stabilności ruchu. Zamiast statycznej oceny przepustowości, zaproponowano podejście oparte na odporności eksploatacyjnej, rozumianej jako zdolność systemu do absorpcji losowych zakłóceń i powrotu do stanu równowagi. Jako studium przypadku wykorzystano linię kolejową nr 354 (Poznań – Piła).

Problem badawczy i metoda badawcza

Głównym problemem badawczym była ocena wpływu rozbudowy infrastruktury punktowej i liniowej na stabilność realizacji cyklicznych rozkładów jazdy (takt 30- i 60-minutowy). Celem było zidentyfikowanie rozwiązań minimalizujących ryzyko propagacji opóźnień wtórnych. W badaniach wykorzystano środowisko mikrosymulacyjne OpenTrack, tworząc cyfrowy model analizowanej linii. W przeciwieństwie do standardowych analiz, zastosowano metodę symulacji stochastycznej. Przeprowadzono serie 100 powtórzeń dla każdego z wariantów modernizacyjnych, wprowadzając losowe opóźnienia pierwotne (zgodnie z przyjętymi scenariuszami). Kluczowym miernikiem oceny niezawodności stał się wskaźnik średniego opóźnienia wtórnego oraz odchylenie standardowe opóźnienia końcowego, będące miarą przewidywalności.

Wyniki

Analiza wykazała znaczące różnice w charakterystyce niezawodnościowej badanych wariantów. Wariant bazowy (jednotorowy) wykazał całkowity brak odporności na zakłócenia. Linia w warunkach stochastycznych wzmacniała opóźnienia, generując średnio ponad 190 sekund opóźnienia wtórnego. Inwestycje punktowe (nowa mijanka) okazały się efektywnym narzędziem stabilizacji dla umiarkowanego ruchu, redukując opóźnienia wtórne o blisko 50%, co potwierdza rolę buforów infrastrukturalnych w budowaniu niezawodności. Warianty częściowej dobudowy drugiego toru, przy intensywnym ruchu (takt 30 min), okazały się rozwiązaniami niewystarczającymi. Mimo zwiększenia przepustowości teoretycznej, zatory były przenoszone na pozostałe odcinki jednotorowe, co skutkowało spadkiem punktualności. Jedynie pełna dwutorowość umożliwiła redukcję opóźnień na analizowanym odcinku linii kolejowej.

Wnioski i podsumowanie

Przeprowadzone badania dowodzą, że w inżynierii niezawodności systemów transportowych kluczowe jest uwzględnienie dynamiki zjawisk ruchowych. Stochastyczna mikrosymulacja pozwala zidentyfikować parametry niewidoczne w analizach statycznych. Dla zapewnienia wysokiej niezawodności połączeń aglomeracyjnych o wysokiej częstotliwości, inwestycje punktowe i odcinkowe mogą być niewystarczające. Odporność systemu powinna być traktowana jako istotne kryterium projektowe, równoważne z kosztem inwestycji.

Bibliografia

1. Wojnar G., Irlik M. (2022). Multicriteria train running model and simulator for railway capacity assessment, *Transport Problems*, vol. 17, no. 2, pp. 199-212.
2. Sogin S., Lai Y.-C., Dick C., Barkan C. (2013). Comparison of capacity of single- and double-track rail lines, *Transportation Research Record*, no. 2374, pp. 111-118.
3. Huang Z., Xu H., Chen J. (2022) Simulation and Verification System Design for High Speed Railway Based on OpenTrack Secondary Development, *Proceedings of SPIE*, vol. 12081.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Piotr Franke-Wąsowski ¹, Bálint Csonka ², Jakub Murawski ¹

¹ Warsaw University of Technology, Faculty of Transport, ² Budapest University of Technology and Economics, Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering

e-mail: piotr.franke@pw.edu.pl

Stochastic analysis of operational resilience and disturbance propagation on regional railway lines

Keywords: stochastic microsimulation, operational resilience, delay propagation

Introduction

The paper addresses the issue of reliability regarding railway infrastructure with limited capacity. Single-track lines, constituting a significant part of the regional network, are characterised by high sensitivity to primary disturbances, which leads to the accumulation of delays. The paper posits that traditional, deterministic timetable planning methods are insufficient for assessing actual traffic stability. Instead of a static capacity assessment, an approach based on operational resilience is proposed, understood as the system's ability to absorb random disturbances and return to a state of equilibrium. Railway line No. 354 (Poznań – Piła) was used as a case study.

Research problem and research methodology

The main research problem was to assess the impact of expanding point and linear infrastructure on the stability of implementing cyclic timetables (30- and 60-minute headways). The aim was to identify solutions that minimise the risk of secondary delay propagation. The research utilised the OpenTrack microsimulation environment, creating a digital model of the analysed line. Unlike standard analyses, a stochastic simulation method was applied. A series of 100 repetitions was conducted for each modernisation variant, introducing random primary delays (according to adopted scenarios). The key metric for reliability assessment became the average secondary delay indicator and the standard deviation of the final delay, serving as a measure of predictability.

Results

The analysis demonstrated significant differences in the reliability characteristics of the examined variants. The base-line variant (single-track) showed a complete lack of resilience to disturbances. Under stochastic conditions, the line amplified delays, generating an average of over 190 seconds of secondary delay. Point investments (a new passing loop) proved to be an effective stabilisation tool for moderate traffic, reducing secondary delays by nearly 50%, which confirms the role of infrastructure buffers in building reliability. Variants of partial double-tracking, under intensive traffic conditions (30-minute headway), proved to be insufficient solutions. Despite increasing theoretical capacity, bottlenecks were transferred to the remaining single-track sections, resulting in a decrease in punctuality. Only full double-tracking enabled the reduction of delays on the analysed railway line section.

Conclusions

The conducted research proves that considering the dynamics of traffic phenomena is crucial in transport system reliability engineering. Stochastic microsimulation enables the identification of parameters that are invisible in static analyses. To ensure high reliability of high-frequency agglomeration connections, point and sectional investments may be insufficient. System resilience should be treated as a significant design criterion, equivalent to the investment cost.

Literature

1. Wojnar G., Irlik M. (2022). Multicriteria train running model and simulator for railway capacity assessment, *Transport Problems*, vol. 17, no. 2, pp. 199-212.
2. Sogin S., Lai Y.-C., Dick C., Barkan C. (2013). Comparison of capacity of single- and double-track rail lines, *Transportation Research Record*, no. 2374, pp. 111-118.
3. Huang Z., Xu H., Chen J. (2022) Simulation and Verification System Design for High Speed Railway Based on OpenTrack Secondary Development, *Proceedings of SPIE*, vol. 12081.

Natalia Gnacy, Sylwia Werbińska-Wojciechowska

Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, Katedra Eksploatacji Systemów Technicznych

e-mail: natalia.gnacy@pwr.edu.pl

Ocena dojrzałości odporności organizacyjnej w łańcuchach dostaw produktów drewnopochodnych poddanych transformacji cyfrowej z wykorzystaniem logiki rozmytej

Słowa kluczowe: odporność organizacji, dojrzałość cyfrowa, logika rozmyta

Wprowadzenie

W artykule przedstawiona została metoda oceny dojrzałości odporności organizacyjnej w kontekście transformacji cyfrowej w łańcuchach dostaw. Rosnąca złożoność systemów logistycznych oraz wymagania związane z cyfryzacją i zrównoważonym rozwojem sprawiają, że tradycyjne wskaźniki niezawodności nie wystarczają do oceny zdolności organizacji do adaptacji i uczenia się w obliczu zakłóceń. Zaproponowany model hierarchiczny łączy wskaźniki cyfrowej dojrzałości z potencjałami odporności według Hollnagela [1], umożliwiając ocenę wpływu transformacji cyfrowej na odporność organizacyjną. Podejście to pozwala na ilościową analizę zależności między czynnikami technologicznymi, procesowymi i organizacyjnymi, oferując syntetyczny wskaźnik dojrzałości odporności organizacyjnej (ORMI – Organizational Resilience Maturity Index).

Problem badawczy i metoda badawcza

Tradycyjne metody oceny odporności i niezawodności w systemach logistycznych nie uwzględniają w pełni złożonych zależności między elementami organizacyjnymi a procesami cyfrowymi. W pracy tej proponuje się metodę hierarchicznego modelowania ORM z użyciem logiki rozmytej. Logika rozmyta umożliwia uwzględnienie niepewności i językowych ocen ekspertów w zakresie kompetencji cyfrowych, procesów adaptacyjnych i zdolności uczenia się organizacji. Model składa się z trzech poziomów: (1) wymiarów głównych (cyfrowa dojrzałość, odporność operacyjna, uczenie organizacyjne), (2) podkryteriów związanych z potencjałami odporności, oraz (3) zmiennych wejściowych ocenianych przez ekspertów.

Wyniki

Model ORM został zastosowany w studium przypadku wybranego łańcucha dostaw materiałów drewnopochodnych, pozwalając na ocenę wpływu poziomu cyfryzacji na potencjały odporności organizacyjnej. Analiza wykazała, że wyższy poziom cyfrowej dojrzałości zwiększa zdolność do monitorowania, przewidywania oraz szybkiego reagowania na zakłócenia, a także wspiera procesy uczenia się organizacji. Wskazano obszary krytyczne, w których wzrost kompetencji cyfrowych i poprawa struktur organizacyjnych mogą znacząco zwiększyć odporność systemu. Syntetyczny wskaźnik ORM umożliwia porównywanie poziomu dojrzałości odporności między jednostkami organizacyjnymi i identyfikację priorytetów rozwojowych.

Wnioski i podsumowanie

Prezentowana metoda hierarchicznego modelowania ORM z użyciem logiki rozmytej umożliwia konstrukcję i analizę zależności między elementami organizacyjnymi, procesowymi i technologicznymi systemów odpornych na zakłócenia. Podejście pozwala ilościowo ocenić wpływ cyfrowej transformacji na odporność organizacyjną, wskazuje obszary wymagające poprawy oraz oferuje syntetyczny wskaźnik ORM do wspomagania decyzji strategicznych. Metoda może być stosowana w różnych sektorach przemysłowych, gdzie transformacja cyfrowa i odporność organizacyjna są kluczowe dla zapewnienia ciągłości operacyjnej i zrównoważonego rozwoju.

Bibliografia

1. Hollnagel E. (2018). Safety-II in Practice: Developing the Resilience Potentials. Routledge, Taylor & Francis Group, London and New York.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Natalia Gnacy, Sylwia Werbinska-Wojciechowska

Wroclaw University of Science and Technology, Faculty of Mechanical Engineering,
Department of Technical Systems Operation and Maintenance

e-mail: natalia.gnacy@pwr.edu.pl

Fuzzy-based assessment of organizational resilience maturity in digitally transformed wood-based supply chains

Keywords: organizational resilience, digital maturity, fuzzy logic

Introduction

The paper presents a method for assessing organizational resilience maturity in the context of digital transformation within supply chains. The increasing complexity of logistics systems, combined with the demands of digitalization and sustainable development, makes traditional reliability indicators insufficient for evaluating an organization's ability to adapt and learn in the face of disruptions. The proposed hierarchical model links digital maturity indicators with resilience potentials according to Hollnagel [1], enabling the assessment of digital transformation's impact on organizational resilience. This approach allows for a quantitative analysis of the relationships between technological, process, and organizational factors, providing a synthetic indicator of organizational resilience maturity (ORMI – Organizational Resilience Maturity Index).

Research problem and research methodology

Traditional methods for assessing resilience and reliability in logistics systems do not fully account for complex dependencies between organizational elements and digital processes. This paper proposes a hierarchical ORM modeling approach using fuzzy logic. Fuzzy logic allows consideration of uncertainty and linguistic expert evaluations regarding digital competencies, adaptive processes, and organizational learning capabilities. The model consists of three levels: (1) main dimensions (digital maturity, operational resilience, organizational learning), (2) sub-criteria related to resilience potentials, and (3) input variables assessed by experts.

Results

The ORM model was applied in a case study of a selected wood-based supply chain, enabling the assessment of the impact of digital maturity on organizational resilience potentials. The analysis showed that a higher level of digital maturity increases the organization's capacity to monitor, anticipate, and respond quickly to disruptions, while also supporting organizational learning processes. Critical areas were identified where enhancing digital competencies and improving organizational structures can significantly strengthen system resilience. The synthetic ORM indicator allows for comparing resilience maturity levels across organizational units and identifying development priorities.

Conclusions

The presented hierarchical ORM modeling method using fuzzy logic enables the construction and analysis of relationships between organizational, process, and technological elements of systems resilient to disruptions. The approach allows for quantitative assessment of the impact of digital transformation on organizational resilience, highlights areas requiring improvement, and provides a synthetic ORM indicator to support strategic decision-making. The method can be applied across various industrial sectors where digital transformation and organizational resilience are key to ensuring operational continuity and sustainable development.

Literature

1. Hollnagel E. (2018). *Safety-II in Practice: Developing the Resilience Potentials*. Routledge, Taylor & Francis Group, London and New York.

Mariusz Izdebski¹, Paweł Golda²

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, Zakład Logistyki i Systemów Transportowych,

² Lotnicza Akademia Wojskowa, Katedra Nauk Ogólnokształcących

e-mail: mariusz.izdebski@pw.edu.pl

Ocena niezawodności pojazdów naziemnych w obsłudze statków powietrznych

Słowa kluczowe: pojazdy obsługi naziemnej, algorytmy heurystyczne, optymalizacja

Wprowadzenie

Istotne znaczenie w zarządzaniu bezpieczeństwem ruchu na płycie lotniska ma bezkolizyjne sterowanie ruchem statków powietrznych realizujących operacje startu lub lądowania oraz bezkolizyjne sterowanie ruchem pojazdów obsługi naziemnej. Bezpieczeństwo wykonywania lotów jest fundamentem sprawnego i efektywnego zarządzania oraz funkcjonowania branży lotniczej [1,2]. W celu poprawy bezpieczeństwa w transporcie lotniczym istotne znaczenie ma nie tylko sama kontrola ruchu statków powietrznych w czasie trwania lotu, ale również kluczowe jest odpowiednie zarządzanie ruchem innych uczestników biorących udział podczas czynności wykonywanych na płycie lotniska. W pracy niezawodność pojazdów obsługi naziemnej jest rozumiana jako wyznaczenie prawdopodobieństwa braku zajścia wypadku w trasach jazdy pojazdów obsługi naziemnej.

Problem badawczy i metoda badawcza

W artykule przedstawiono metodę oceny niezawodności pojazdów naziemnych obsługujących statki powietrzne na płycie lotniska. Metoda ta wyznacza trasy jazdy pojazdów obsługi naziemnej charakteryzujące się minimalnym prawdopodobieństwem wypadku. Metoda ta bazuje na modelu decyzyjnym i algorytmie optymalizacyjnym. Opracowany w pracy model decyzyjny zarządzający ruchem pojazdów obsługi naziemnej na płycie lotniska jest modelem składającym się z następujących etapów tj. opracowanie danych wejściowych, zmiennych decyzyjnych, ograniczeń oraz funkcji kryterium. Funkcja kryterium określa trasę jazdy pojazdu z minimalnym prawdopodobieństwem zajścia wypadku w niej. Do wyznaczenia tras jazdy pojazdów obsługi naziemnej zastosowano algorytm genetyczny należący do grupy algorytmów heurystycznych [3]. Algorytmy tego typu stosowane są w wielu złożonych problemach decyzyjnych, w których istotne znaczenie ma nie tylko znalezienie rozwiązania optymalnego, ale przede wszystkim wygenerowanie wyniku w jak najkrótszym czasie. Algorytm genetyczny wyznacza trasy jazdy pojazdów, wskazuje godzinę wyjazdu pojazdu z bazy. Efektem końcowym działania algorytmu są trasy jazdy pojazdów obsługi naziemnej charakteryzujące się minimalnym prawdopodobieństwem wypadku.

Wyniki

W pracy wyznaczono rozkłady teoretyczne prawdopodobieństwa wypadków na płycie lotniska. Dopasowanie rozkładu empirycznego zmiennej losowej jaką jest moment zajścia wypadku na płycie lotniska do teoretycznego rozkładu przeprowadzono przy użyciu programu STATISTICA 13.3 StatSoft PL. Do weryfikacji rozkładów zastosowano test Chi-kwadrat. Dodatkowo przeprowadzono kalibrację algorytmu genetycznego tj. ustalono populację początkową, liczbę iteracji i parametry algorytmu.

Wnioski i podsumowanie

Weryfikacja opracowanej metody oceny niezawodności pojazdów naziemnych obsługujących statki powietrzne na płycie lotniska potwierdziła jej wysoką skuteczność. Proponowana metoda jest metodą uniwersalną, może zostać wykorzystana do wyznaczania tras jazdy różnych rodzajów pojazdów w tym również pojazdów autonomicznych. Uzyskane rezultaty zachęcają do kontynuacji prac badawczych poprzez wprowadzenie stochastyczności niektórych parametrów modelu np. zastosowanie teorii kolejek w wyznaczaniu czasu oczekiwania na obsługę statku.

Bibliografia

1. H. Pinol, J.E. Beasley, Scatter Search and Bionic Algorithms for the aircraft landing problem. *European Journal of Operational Research*, t. 171, nr 2, s. 439–462.
2. O. Richetta, A.R. Odoni, Dynamic solution to the ground-holding problem in air traffic control. *Transp. Res. Part Policy Pract.*, t. 28, nr 3, s. 167–185.
3. M. Izdebski, M. Jacyna, An Efficient Hybrid Algorithm for Energy Expenditure Estimation for Electric Vehicles in Urban Service Enterprises. *Energies* 2021;14(7): 1–23.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Mariusz Izdebski ¹, Paweł Golda ²

¹ Warsaw University of Technology, Faculty of Transport, Department of Logistics and Transport Systems

² Polish Air Force University, Department of General Education

e-mail: mariusz.izdebski@pw.edu.pl

Assessment of the reliability of ground vehicles in aircraft handling

Keywords: ground vehicles, heuristic algorithms, optimization

Introduction

An essential aspect of managing traffic safety on the airport apron is collision-free control of aircraft performing take-off or landing operations, as well as collision-free control of ground support vehicle movements. Flight safety is the foundation of efficient and effective management and functioning of the aviation sector [1,2]. To improve safety in air transport, not only the control of aircraft during flight is important, but appropriate management of the movement of other participants involved in operations carried out on the airport apron is also crucial. In this study, the reliability of ground support vehicles is understood as determining the probability of no accident occurring along the driving routes of ground support vehicles.

Research problem and research methodology

The article presents a method for assessing the reliability of ground vehicles servicing aircraft on the airport apron. This method determines driving routes for ground support vehicles that are characterized by a minimal probability of an accident. The method is based on a decision model and an optimization algorithm. The decision model developed in the study, designed to manage the movement of ground support vehicles on the airport apron, consists of the following stages: preparation of input data, definition of decision variables, formulation of constraints, and development of the objective function. The objective function identifies the vehicle route with the minimum probability of an accident occurring along it. To determine the driving routes of ground support vehicles, a genetic algorithm belonging to the class of heuristic algorithms [3] was applied. Such algorithms are used in many complex decision-making problems where not only obtaining an optimal solution is important, but also generating results in the shortest possible time. The genetic algorithm determines vehicle routes and indicates the departure time of each vehicle from the base. The final output of the algorithm is a set of driving routes for ground support vehicles characterized by a minimal probability of an accident.

Results

In the study, theoretical probability distributions of accidents occurring on the airport apron were determined. The fitting of the empirical distribution of the random variable—representing the moment an accident occurs on the apron—to a theoretical distribution was performed using the STATISTICA 13.3 software by StatSoft PL. The chi-square test was applied to verify the distributions. Additionally, calibration of the genetic algorithm was carried out, including the determination of the initial population, the number of iterations, and the algorithm parameters.

Conclusions

Verification of the developed method for assessing the reliability of ground vehicles servicing aircraft on the airport apron has confirmed its high effectiveness. The proposed method is universal and can be used to determine driving routes for various types of vehicles, including autonomous ones. The results obtained encourage further research by introducing stochastic elements into selected model parameters, for example by applying queueing theory to estimate aircraft service waiting times.

Literature

1. H. Pinol, J.E. Beasley, Scatter Search and Bionomic Algorithms for the aircraft landing problem. *European Journal of Operational Research*, t. 171, nr 2, s. 439–462.
2. O. Richetta, A.R. Odoni, Dynamic solution to the ground-holding problem in air traffic control. *Transp. Res. Part Policy Pract.*, t. 28, nr 3, s. 167–185.
3. M. Izdebski, M. Jacyna, An Efficient Hybrid Algorithm for Energy Expenditure Estimation for Electric Vehicles in Urban Service Enterprises. *Energies* 2021;14(7): 1–23.

Mariusz Izdebski¹, Ilona Jacyna-Golda²

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, Zakład Logistyki i Systemów Transportowych,

² Politechnika Warszawska, Wydział Mechaniczny i Inżynierii Przemysłowej, Instytut Organizacji Systemów Produkcyjnych

e-mail: nariusz.izdebski@pw.edu.pl

Niezawodność łańcuchów dostaw w transporcie ładunków niebezpiecznych

Słowa kluczowe: ładunki niebezpieczne, algorytmy heurystyczne, optymalizacja

Wprowadzenie

Przewóz towarów niebezpiecznych to specyficzny rodzaj transportu, który wymaga opracowania takiej technologii i organizacji transportu, która minimalizuje prawdopodobieństwo wystąpienia wypadku na danej trasie przewozu [1,2]. Podczas transportu towarów, główne zagrożenia wynikają z wycieku ładunku, pożaru, wybuchu, oparzeń lub szkód w środowisku. Rozwój coraz bardziej zaawansowanych strategii zarządzania ryzykiem ma na celu minimalizację możliwych skutków tych wypadków.

Problem badawczy i metoda badawcza

W artykule przedstawiono problem wyznaczania tras przejazdu pojazdów w transporcie materiałów niebezpiecznych. W pracy przedstawiono autorski model uwzględniający minimalizację prawdopodobieństwa wypadków w transporcie towarów niebezpiecznych. Do wyznaczenia tras przejazdu towarów niebezpiecznych wykorzystano algorytm mrówkowy i genetyczny. Dopasowanie rozkładu empirycznego do teoretycznego przeprowadzono przy użyciu programu STATISTICA 13.3 StatSoft PL. Skuteczność tych algorytmów heurystycznych w wyznaczaniu trasy przejazdu towarów niebezpiecznych została zweryfikowana algorytmem Dijkstry. Algorytm mrówkowy wyznacza trasy jazdy pojazdów, wskazuje godzinę wyjazdu pojazdu z bazy. Efektem końcowym działania algorytmu jest trasa jazdy pojazdu charakteryzująca się minimalnym prawdopodobieństwem wypadku. Algorytm mrówkowy generuje populację początkową dla algorytmu genetycznego [3].

Wyniki

Do wyznaczenia teoretycznych rozkładów zmiennej losowej jaką jest moment zajścia wypadku w danym punkcie trasy wykorzystano test chi-kwadrat, poświęcony definiowaniu rozkładów normalnych i zbliżonych do normalnych. Wstępne założenia dotyczące rozkładu normalnego lub zbliżonego do normalnego wynikają z obserwacji liczby wypadków mających miejsce w danych godzinach doby. Badane próby są niewielkie, dlatego oprócz testu chi-kwadrat zastosowano test Kołmogorowa-Smirnowa. Użycie testu Kołmogorowa-Smirnowa jest jedynie dodatkowym środkiem wspomagającym ostateczną decyzję o rodzaju rozkładu. Weryfikacja algorytmu mrówkowego i genetycznego potwierdziła ich wysoką skuteczność w planowaniu tras jazdy pojazdów z ładunkiem niebezpiecznym.

Wnioski i podsumowanie

Przedstawione w niniejszym artykule podejście do wyznaczania tras przejazdów pojazdów w łańcuchach dostaw w transporcie materiałów niebezpiecznych pozwala stwierdzić, że zastosowanie odpowiednich algorytmów zmniejsza ryzyko wystąpienia niepożądanych sytuacji. Biorąc pod uwagę znaczną liczbę zleceń w firmach transportowych zajmujących się transportem towarów niebezpiecznych, czas planowania przejazdów pojazdów ma istotne znaczenie w procesie planowania, aby uniknąć wystąpienia niepożądanych sytuacji. Algorytmy heurystyczne zastosowane w pracy pozwalają w akceptowanym czasie znaleźć rozwiązanie problemu.

Bibliografia

1. Holeczek N., Hazardous materials truck transportation problems: A classification and state of the art literature review. Transportation Research Part D: Transport and Environment 2019;69:305–28.
2. Cordeiro FG., Bezerra BS., Peixoto ASP., Ramos RAR., Methodological aspects for modeling the environmental risk of transporting hazardous materials by road. Transp Res Part D Transp Environ 2016;44:105–21.
3. Izdebski M., Jacyna M., An Efficient Hybrid Algorithm for Energy Expenditure Estimation for Electric Vehicles in Urban Service Enterprises. Energies 2021;14(7): 1–23.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Mariusz Izdebski ¹, Ilona Jacyna-Golda ²

¹ Warsaw University of Technology, Faculty of Transport, Department of Logistics and Transport Systems

² Warsaw University of Technology, Faculty of Mechanical and Industrial Engineering, Institute of Production Systems Organization

e-mail: nariusz.izdebski@pw.edu.pl

Reliability of supply chains in the transport of hazardous materials

Keywords: dangerous goods, heuristic algorithms, optimization

Introduction

The transport of dangerous goods is a specific type of transportation that requires the development of such technology and organization of the transport process that minimize the probability of an accident occurring along a given transport route [1,2]. During the transport of goods, the main hazards arise from cargo leakage, fire, explosion, burns, or environmental damage. The development of increasingly advanced risk-management strategies aims to minimize the potential consequences of these incidents.

Research problem and research methodology

The article presents the problem of determining vehicle routes in the transport of hazardous materials. The study introduces an original model that takes into account the minimization of accident probability in the transport of dangerous goods. To determine the routes for hazardous materials, an ant colony algorithm and a genetic algorithm were used. The fitting of the empirical distribution to the theoretical one was carried out using the STATISTICA 13.3 software (StatSoft PL). The effectiveness of these heuristic algorithms in determining routes for the transport of dangerous goods was verified using Dijkstra's algorithm. The ant colony algorithm determines vehicle routes and indicates the departure time from the base. The final output of the algorithm is a vehicle route characterized by a minimum probability of an accident. The ant colony algorithm also generates the initial population for the genetic algorithm [3].

Results

To determine the theoretical distributions of the random variable representing the moment an accident occurs at a given point along the route, the chi-square test was used, focusing on identifying normal and near-normal distributions. The preliminary assumptions regarding a normal or near-normal distribution arise from observations of the number of accidents occurring at specific hours of the day. Since the samples under study are small, the Kolmogorov–Smirnov test was applied in addition to the chi-square test. The use of the Kolmogorov–Smirnov test serves only as an additional tool supporting the final decision regarding the type of distribution. The verification of the ant colony and genetic algorithms confirmed their high effectiveness in planning vehicle routes for the transport of hazardous materials..

Conclusions

The approach to determining vehicle routes in supply chains for the transport of hazardous materials presented in this article allows us to conclude that the use of appropriate algorithms reduces the risk of undesirable situations. Considering the significant number of orders in transport companies dealing with hazardous goods, the time required for planning vehicle routes plays an essential role in the planning process in order to avoid the occurrence of unwanted events. The heuristic algorithms applied in the study make it possible to find a solution to the problem within an acceptable timeframe.

Literature

1. Holeczek N., Hazardous materials truck transportation problems: A classification and state of the art literature review. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 2019;69:305–28.
2. Cordeiro FG., Bezerra BS., Peixoto ASP., Ramos RAR., Methodological aspects for modeling the environmental risk of transporting hazardous materials by road. *Transp Res Part D Transp Environ* 2016;44:105–21.
3. Izdebski M., Jacyna M., An Efficient Hybrid Algorithm for Energy Expenditure Estimation for Electric Vehicles in Urban Service Enterprises. *Energies* 2021;14(7): 1–23.

Anna Jodejko-Pietruczuk, Artur Kierzkowski, Tomasz Kisiel, Ewa Mardeusz, Jacek Ryczyński, Łukasz Wolniewicz

Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, Katedra Eksploatacji Systemów Technicznych

e-mail: anna.jodejko@pwr.edu.pl

Koncepcja zautomatyzowanego systemu szybkiego konfekcjonowania niejednorodnych ładunków lotniczych na paletowej jednostce transportowej

Słowa kluczowe: lotnicze przewozy towarowe, transport lotniczy, sztuczna inteligencja

Wprowadzenie

Artykuł przedstawia założenia projektu mającego na celu opracowanie zautomatyzowanego systemu szybkiego konfekcjonowania niejednorodnych ładunków lotniczych. W ramach przedsięwzięcia prowadzone są interdyscyplinarne prace badawczo-rozwojowe obejmujące zagadnienia z zakresu automatyki, robotyki, systemów wizyjnych oraz zaawansowanego oprogramowania sterującego. Głównym celem projektu jest zwiększenie wydajności obsługi palet lotniczych poprzez skrócenie czasu operacji, poprawę bezpieczeństwa oraz istotne ograniczenie prac manualnych, co wpisuje się w szerszy trend automatyzacji procesów logistycznych w portach lotniczych.

Problem badawczy i metoda badawcza

Według danych literaturowych około 40% operatorów w europejskich portach lotniczych nadal wykorzystuje do obsługi ładunków tradycyjne wózki widłowe i narzędzia manualne [1]. Rozwiązania te sprawdzają się głównie w magazynach o powtarzalnym układzie ładunków, natomiast nie zapewniają warunków do pełnej autonomii w środowisku magazynów lotniczych, które charakteryzują się dużą różnorodnością obsługiwanych jednostek (np. palety EUR, palety przemysłowe) oraz koniecznością zachowania wysokiego poziomu bezpieczeństwa i zgodności z przepisami IATA. Na rynku brakuje obecnie rozwiązań umożliwiających autonomiczny rozładunek palet lotniczych o niejednorodnej i losowej strukturze ładunku. W odpowiedzi na tę lukę projekt zakłada opracowanie automatycznego systemu szybkiego konfekcjonowania niejednorodnych ładunków na paletowych jednostkach transportowych. System ten będzie integrował zautomatyzowane urządzenie załadunkowo-rozładunkowe, inteligentny system wizyjny oraz oprogramowanie sterujące procesem konfekcjonowania palet, jak również powiązаныmi procesami logistycznymi i planistycznymi.

Wyniki

Kluczową innowacją projektu jest pełna automatyzacja operacji załadunku i rozładunku palet lotniczych. Osiągnięcie tego celu wymaga przeprowadzenia badań poznawczych ukierunkowanych na rozwiązanie kluczowych problemów technologicznych. Pierwszym z nich jest opracowanie modeli sztucznej inteligencji umożliwiających wyizolowanie z otoczenia oraz precyzyjną identyfikację palet i ładunków paletowych, a także lokalizację otworów na widły i określenie współrzędnych oraz orientacji palety niezbędnych do jej autonomicznej obsługi. Drugim obszarem badań jest stworzenie algorytmów optymalizacyjnych pozwalających na skrócenie średniego czasu procesu załadunku i rozładunku. Obejmuje to wybór metody optymalizacji umożliwiającej odwzorowanie specyfiki procesu, uwzględnienie wszystkich ograniczeń technologicznych oraz zasilanie systemu bieżącymi danymi operacyjnymi.

Wnioski i podsumowanie

W ostatnich latach branża handlingowa zmagą się z narastającym niedoborem pracowników operacyjnych, co wpływa na wydłużenie procesu budowy jednostek lotniczych oraz generuje opóźnienia w załadunkach samolotów. Automatyzacja procesu konfekcjonowania, osiągnięta w ramach realizowanego projektu, umożliwi ciągłą pracę systemu przez całą dobę, znaczną redukcję udziału pracy manualnej, obniżenie kosztów operacyjnych oraz ograniczenie ryzyka błędów. Jednocześnie rozwiązanie to przyczyni się do zwiększenia bezpieczeństwa operacji przeładunkowych i podniesienia ogólnej efektywności procesów logistycznych w środowisku portów lotniczych.

Bibliografia

1. Bunahri et al. (2023) Determination of Air Cargo Performance: Analysis of Revenue Management, Terminal Operations, and Aircraft Loading, pp. 833-844 <https://doi.org/10.31933/dijms.v4i5>.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Anna Jodejko-Pietruczuk, Artur Kierzkowski, Tomasz Kisiel, Ewa Mardeusz, Jacek Ryczyński, Lukasz Wolniewicz

Wroclaw University of Science and Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Technical Systems Operation and Maintenance

e-mail: anna.jodejko@pwr.edu.pl

Concept of an Automated System for Rapid Kitting of Heterogeneous Air Cargo on a Palletized Unit Load Device

Keywords: air cargo transport, air freight, artificial intelligence

Introduction

The article presents the assumptions of a project aimed at developing an automated system for rapid kitting of heterogeneous air cargo. As part of the undertaking, interdisciplinary research and development work is being carried out, covering issues in automation, robotics, vision systems, and advanced control software. The main objective of the project is to increase the efficiency of handling air cargo pallets by reducing process time, improving safety, and significantly limiting manual labor, which aligns with the broader trend of automation in logistics processes at airports.

Research problem and research methodology

According to literature data, approximately 40% of operators in European airports still use traditional forklifts and manual tools for cargo handling [1]. These solutions are effective mainly in warehouses with a repetitive load structure, but they do not provide conditions for full autonomy in the environment of air cargo terminals, which are characterized by a high diversity of handled units (e.g., EUR pallets, industrial pallets) and the need to maintain a high level of safety and compliance with IATA regulations. Currently, the market lacks solutions enabling autonomous unloading of air cargo pallets with a heterogeneous and random load structure. In response to this gap, the project assumes the development of an automated system for rapid kitting of heterogeneous cargo on palletized transport units. This system will integrate an automated loading–unloading device, an intelligent vision system, and software controlling the pallet kitting process as well as the associated logistics and planning processes.

Results

The key innovation of the project is the full automation of loading and unloading operations for air cargo pallets. Achieving this goal requires cognitive research focused on solving essential technological problems. The first of these is the development of artificial intelligence models enabling the isolation of pallets and palletized cargo from the surrounding environment, their precise identification, as well as the localization of fork openings and determination of the coordinates and orientation of the pallet necessary for its autonomous handling. The second area of research involves creating optimization algorithms that make it possible to shorten the average duration of loading and unloading processes. This includes selecting an optimization method capable of representing the specific characteristics of the process, taking into account all technological constraints, and supplying the system with real-time operational data.

Conclusions

In recent years, the handling industry has been facing a growing shortage of operational staff, which has led to longer build-up times for air cargo units and delays in aircraft loading. The automation of the kitting process, achieved within the project, will enable continuous system operation around the clock, a significant reduction in manual labor, lower operational costs, and reduced risk of errors. At the same time, this solution will contribute to increased safety of cargo handling operations and improved overall efficiency of logistics processes in the airport environment.

Literature

1. Bunahri et al. (2023) Determination of Air Cargo Performance: Analysis of Revenue Management, Terminal Operations, and Aircraft Loading, pp. 833-844 <https://doi.org/10.31933/dijms.v4i5>.

Anna Jodejko-Pietruczuk, Artur Kierzkowski, Tomasz Kisiel, Ewa Mardeusz, Jacek Ryczyński, Łukasz Wolniewicz

Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, Katedra Eksploatacji Systemów Technicznych

e-mail: anna.jodejko@pwr.edu.pl

Koncepcja hybrydowego symulatora integrującego rzeczywisty i wirtualny świat do szkolenia operatora kontroli bezpieczeństwa w porcie lotniczym z zastosowaniem autonomicznego trenera opartego o agenta sztucznej inteligencji

Słowa kluczowe: kontrola bezpieczeństwa, system szkoleniowy, sztuczna inteligencja

Wprowadzenie

W artykule przedstawiono koncepcję badań obejmujących opracowanie i walidację innowacyjnego systemu szkoleniowego dla operatorów kontroli bezpieczeństwa. Opisuje on zakres planowanych prac badawczych, ze szczególnym uwzględnieniem opracowania realistycznego generatora obrazów oraz autonomicznego środowiska szkoleniowego VR.

Problem badawczy i metoda badawcza

Problem badawczy dotyczy opracowania realistycznego, interaktywnego generatora obrazów rentgenowskich oraz zintegrowanego środowiska szkoleniowego VR umożliwiającego autonomiczne kształcenie operatorów kontroli bezpieczeństwa. Obecne systemy szkoleniowe bazują głównie na obrazach statycznych, które nie odwzorowują złożonych właściwości fizycznych, materiałowych i przestrzennych bagażu ani nowoczesnych technik ukrywania zagrożeń. W efekcie nie zapewniają ani wystarczającego poziomu realizmu, ani możliwości indywidualizacji szkolenia. Dodatkowo brak spójnych danych umożliwiających trenowanie agentów sztucznej inteligencji sprawia, że rozwój autonomicznych trenerów jest obecnie ograniczony. Przekłada się to na nieodpowiedni poziom wyszkolenia operatorów [1]. Nieskuteczne są również systemy automatycznej detekcji zagrożeń [2].

Metoda badawcza obejmuje badania obejmujące eksperymentalne skanowanie próbek materiałów oraz analizę wpływu ich gęstości, położenia i wzajemnego zasłaniania na wygląd obrazu rentgenowskiego, co pozwala na budowę realistycznych modeli fizycznych. Uzupełnieniem będą badania kognitywne z wykorzystaniem eye-trackingu i reakcji skórnogalwanicznych, dzięki którym możliwe jest zrozumienie sposobu percepcji obrazu przez operatorów i dostosowanie poziomu trudności szkolenia. Uzyskane dane posłużą do trenowania agentów AI, którzy będą pełnić rolę autonomicznych trenerów w środowisku VR, dynamicznie dostosowując scenariusze do predyspozycji szkolonego.

Wyniki

Rezultatem przeprowadzonych badań będzie w pełni funkcjonalny prototyp autonomicznego systemu szkoleniowego dla operatorów kontroli bezpieczeństwa, integrujący zaawansowany generator realistycznych obrazów rentgenowskich z immersyjnym środowiskiem VR. System pozwoli odwzorować rzeczywiste zjawiska fizyczne, konfiguracje materiałowe i techniki ukrywania zagrożeń, a także przeprowadzać szkolenia obejmujące działania wykonywane po wykryciu niebezpiecznych przedmiotów. Kluczowym elementem rezultatu będzie wirtualny trener oparty na sztucznej inteligencji, zdolny do samodzielnego prowadzenia szkolenia, dostosowywania jego przebiegu do predyspozycji i postępów konkretnej osoby oraz generowania zróżnicowanych scenariuszy o rosnącym poziomie trudności.

Wnioski i podsumowanie

Przeprowadzone analizy wstępne wskazują, że opracowanie realistycznego generatora obrazów oraz autonomicznego systemu szkoleniowego znacząco podniesie skuteczność kształcenia operatorów kontroli bezpieczeństwa. Zintegrowanie wyników badań fizycznych, kognitywnych i algorytmicznych umożliwi stworzenie rozwiązania odpowiadającego na realne potrzeby rynkowe i kadrowe.

Bibliografia

1. Skorupski i in. (2015), A fuzzy model for evaluating airport security screener's work, *Journal of Air Transport Management*, vol. 48, 2015, pp: 42-51
2. Huegli i in. (2022) Benefits of Decision Support Systems in Relation to Task Difficulty in Airport Security X-Ray Screening.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

**Anna Jodejko-Pietruczuk, Artur Kierzkowski, Tomasz Kisiel, Ewa Mardeusz, Jacek Ryczyński,
Łukasz Wolniewicz**

Wroclaw University of Science and Technology, Faculty of Mechanical Engineering,
Department of Technical Systems Operation and Maintenance

e-mail: anna.jodejko@pwr.edu.pl

Concept of a Hybrid Simulator Integrating the Real and Virtual World for Training Airport Security Screening Operators Using an Autonomous Trainer Based on an Artificial Intelligence Agent

Keywords: security screening, training system, artificial intelligence

Introduction

The article presents the concept of research involving the development and validation of an innovative training system for security screening operators. It describes the scope of the planned research work, with particular emphasis on the development of a realistic image generator and an autonomous VR training environment.

Research problem and research methodology

The research problem concerns the development of a realistic, interactive X-ray image generator and an integrated VR training environment enabling autonomous training of security screening operators. Current training systems are based mainly on static images, which do not reproduce the complex physical, material, and spatial properties of baggage nor modern threat concealment techniques. As a result, they do not provide a sufficient level of realism or the ability to individualize training. Additionally, the lack of consistent data enabling the training of artificial intelligence agents means that the development of autonomous trainers is currently limited. This translates into an inadequate level of operator proficiency [1]. Automatic threat detection systems are also ineffective [2]. The research method includes experimental scanning of material samples and analysis of the influence of their density, position, and mutual occlusion on the appearance of X-ray images, which enables the construction of realistic physical models. This will be complemented by cognitive studies using eye-tracking and galvanic skin response, which make it possible to understand how operators perceive images and to adjust the difficulty level of training. The collected data will be used to train AI agents, who will act as autonomous trainers in the VR environment, dynamically adjusting scenarios to the trainee's predispositions.

Results

The result of the conducted research will be a fully functional prototype of an autonomous training system for security screening operators, integrating an advanced generator of realistic X-ray images with an immersive VR environment. The system will make it possible to reproduce real physical phenomena, material configurations, and threat concealment techniques, as well as to conduct training that includes actions performed after detecting dangerous items. A key element of the result will be a virtual trainer based on artificial intelligence, capable of independently conducting training, adjusting its course to the predispositions and progress of a specific person, and generating diverse scenarios with increasing levels of difficulty.

Conclusions

The preliminary analyses indicate that the development of a realistic image generator and an autonomous training system will significantly improve the effectiveness of training security screening operators. The integration of physical, cognitive, and algorithmic research results will make it possible to create a solution that responds to real market and staffing needs.

Literature

1. Skorupski et al. (2015), A fuzzy model for evaluating airport security screener's work, *Journal of Air Transport Management*, vol. 48, 2015, pp: 42-51
2. Huegli et al. (2022) Benefits of Decision Support Systems in Relation to Task Difficulty in Airport Security X-Ray Screening.

Juliusz Karolak, Andrzej Kochan

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

e-mail: juliusz.karolak@pw.edu.pl

Analiza ryzyka uszkodzenia przełącznika na danej stacji - założenia

Słowa kluczowe: sterowanie ruchem kolejowym, przełącznik, uszkodzenie

Wprowadzenie

Elektryczne urządzenia sterowania ruchem kolejowym (srk) oparte o obwody przełącznikowe stanowią w Polsce około 30% wyposażenia sieci kolejowej PKP PLK S.A. Przełączniki elektromagnetyczne są także często elementami układów wykonawczych komputerowych urządzeń srk. Przepisy krajowe określają szereg wymagań, które muszą spełniać przełączniki stosowane w obwodach urządzeń i systemów srk oraz urządzenia i systemy zawierające w swojej strukturze przełączniki. Uszkodzenia przełączników nie mogą doprowadzić do zagrożenia w ruchu kolejowym.

Problem badawczy i metoda badawcza

W artykule wskazano sposób postępowania mający na celu określenie, które z przełączników pracujących na danej stacji powinny podlegać częstszej weryfikacji stanu. Na pracę przełączników mają wpływ różne czynniki, które należy sklasyfikować, a następnie określić prawdopodobieństwo i skutek ich wystąpienia. Skutki uszkodzeń poszczególnych przełączników zależą od rodzajów obwodów i funkcji, które przełączniki w nich spełniają. Analiza obwodów w różnych stanach pracy pozwoli określić skutki ich uszkodzeń.

Wyniki

Przyjęto, dla przykładu, stację wyposażoną w urządzenia przełącznikowe typu E. Na podstawie analizy obwodów w oparciu o wymagania norm określono możliwe uszkodzenia i ich reakcje w skali systemu. Na tej podstawie określono ryzyko związane z poszczególnymi rodzajami uszkodzeń określonych przełączników. Sklasyfikowanym rodzajom uszkodzeń przyporządkowano rodzaje zagrożeń mogących do nich doprowadzić. Na tej podstawie wskazano, które z rodzajów zagrożeń doprowadzają do większego ryzyka niż inne i które przełączniki są na nie najbardziej narażone.

Wnioski i podsumowanie

W artykule określono zbiory zagrożeń dla trwałości przełącznika, obejmujące obszary materiałów i konstrukcji, funkcji realizowanych w obwodach przez przełącznik, liczby zadziałań i inne.

Bibliografia

1. Lista Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego w sprawie właściwych krajowych specyfikacji technicznych i dokumentów normalizacyjnych, których zastosowanie umożliwia spełnienie zasadniczych wymagań systemu kolei, z dnia 23 grudnia 2021 r.
2. EN 50129:2018 - railway applications - Communication, signalling and processing systems - Safety-related electronic systems for signalling
3. IEC 62912:2015 - Railway applications -- Direct current signalling monostable relays of type N and type C
4. IEC 62912-2:2019 - Railway applications -- Direct current signalling monostable relays -- Part 2: Spring type relays
5. IEC 60812:2018 - Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA)



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Juliusz Karolak, Andrzej Kochan

Warsaw University of Technology, Faculty of Transport

e-mail: juliusz.karolak@pw.edu.pl

Risk analysis of relay failure at a given station - assumptions

Keywords: railway traffic control, relay, failure

Introduction

Electric railway traffic control devices (SRK) based on relay circuits account for approximately 30% of the equipment in the PKP PLK S.A. railway network in Poland. Electromagnetic relays are also often components of the executive systems of computerized SRK devices. National regulations specify a number of requirements that must be met by relays used in the circuits of SRK devices and systems, as well as devices and systems containing relays in their structure. Failure of relays must not lead to a threat to railway traffic.

Research problem and research methodology

The article indicates a procedure for determining which relays operating at a given station should be subject to more frequent status verification. The operation of relays is affected by various factors, which should be classified and then assessed in terms of their probability and impact. The effects of failure of individual relays depend on the types of circuits and the functions that the relays perform in them. Analysis of circuits in various operating states will help determine the effects of damage.

Results

For example, a station equipped with E-type relay devices was taken as an example. Based on an analysis of the circuits in accordance with the requirements of the standards, possible faults and their reactions on a system scale were determined. On this basis, the risk associated with particular types of faults in specific relays was determined. The classified types of faults were assigned to the types of hazards that could lead to them. On this basis, it was indicated which types of hazards lead to greater risk than others and which relays are most vulnerable to them.

Conclusions

The article identifies sets of threats to the durability of the relay, covering areas such as materials and construction, functions performed by the relay in circuits, number of operations, and others.

Literature

1. List of the President of the Railway Transport Office on relevant national technical specifications and standardization documents, the application of which enables compliance with the essential requirements of the railway system, dated December 23, 2021.
2. EN 50129:2018 - railway applications - Communication, signalling and processing systems - Safety-related electronic systems for signalling
3. IEC 62912:2015 - Railway applications -- Direct current signalling monostable relays of type N and type C
4. IEC 62912-2:2019 - Railway applications -- Direct current signalling monostable relays -- Part 2: Spring type relays
5. IEC 60812:2018 - Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA)

Mykola Karpenko ¹, Michał Stosiak ², Bartłomiej Dziewoński ²

¹Wileński Uniwersytet Techniczny im. Giedymina, Wydział Inżynierii Transportu, ²Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny

e-mail: mykola.karpenko@vilniustech.lt

Bezpieczeństwo drgań w e-hulajnogach z oponami pneumatycznymi i niepneumatycznymi

Słowa kluczowe: e-hulajnoga, dragania, bezpieczeństwo

Wprowadzenie

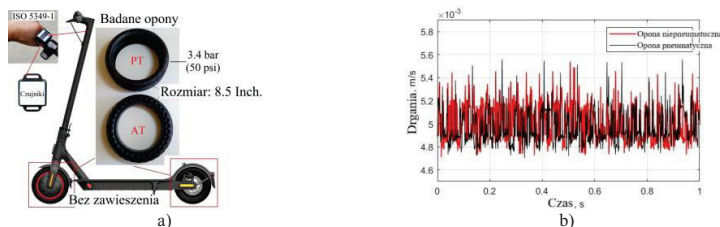
Mikromobilność stała się jednym z głównych globalnych trendów w transporcie miejskim. Jednakże towarzyszy jej również wzrost liczby wypadków, często wynikających z niewłaściwego użytkowania oraz niewystarczających środków bezpieczeństwa, w szczególności w odniesieniu do drgań przenoszonych na użytkowników e-hulajnóg [1]. Wraz z rosnącą popularnością e-hulajnóg wciąż brakuje dobrze opracowanych modeli dynamicznych opisujących ich zachowanie. Tymczasem takie analizy dynamiczne są kluczowe dla poprawy bezpieczeństwa użytkowników oraz doskonalenia konstrukcji pojazdów [2], w szczególności w zakresie sterowania pojazdami dwukołowymi.

Problem badawczy i metoda badawcza

Głównym celem proponowanych badań jest analiza wpływu drgań przenoszonych na użytkownika w warunkach stosowania opon pneumatycznych i niepneumatycznych na bezpieczeństwo i ryzyko związane z eksploatacją e-hulajnóg. Niniejsze badanie koncentruje się na eksperymentalnej analizie drgań elektrycznej hulajnogi (Rys. 1a) w celu zbadania pionowych charakterystyk dynamicznych wywołanych przez różne typy opon oraz ich wpływu na drgania kierowcy podczas rzeczywistej jazdy po nawierzchni z kostki brukowej.

Wyniki

Prędkość e-hulajnogi podczas testu wynosiła 25 km/h, zgodnie z wymaganiami norm EN 15194 oraz ISO 5349-1. Wyniki pomiarów drgań na kierownicy e-hulajnogi przedstawiono na Rys. 1b.



Rys. 1. Parametry badań i wyniki: a) E-hulajnoga i opony objęte badaniami; b) Prędkość drgań na kierownicy e-hulajnogi.

Poziom drgań zmierzony na kierownicy, generowany przez napęd e-hulajnogi, wyniósł $RMS\ 5,07 \times 10^{-3}$ m/s dla opony niepneumatycznej oraz $RMS\ 5,38 \times 10^{-3}$ m/s dla opony pneumatycznej. Analiza wyników pomiarów wskazuje, że wybór opony ma istotny wpływ na zakres drgań, co jest istotne w kontekście sterowania pojazdami dwukołowymi.

Wnioski i podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazują, że rodzaj opony ma mierzalny wpływ na charakterystyki drgań przenoszonych na kierowcę e-hulajnogi. Opona pneumatyczna zapewnia nieco lepsze tłumienie drgań, co może zwiększyć komfort użytkownika oraz bezpieczeństwo sterowania pojazdem. Uzyskane wyniki podkreślają znaczenie doboru odpowiedniego typu opon w kontekście poprawy bezpieczeństwa dynamicznego i stabilności pojazdów mikromobilnych dwukołowych.

Bibliografia

1. Karpenko M., Prentkovskis O., Skačkauskas P. (2025). Analysing the impact of electric kick-scooters on drivers: vibration and frequency transmission during the ride on different types of urban pavements. *Eksplotacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, vol. 27(2), pp. 1- 14.
2. Kleinertz H., Ntalos D., Hennes F., Nüchtern J., Frosch K., Thiesen D. (2021). Accident mechanisms and injury patterns in e-scooter users – A retrospective analysis and comparison with cyclists. *Deutsches Arzteblatt International*. vol. 118(8), pp. 117-121.

Mykola Karpenko ¹, Michał Stosiak ², Bartłomiej Dziwowski ²

¹Vilnius Gediminas Technical University, Faculty of Transport Engineering, ²Wrocław University of Science and Technology, Faculty of Mechanical Engineering

e-mail: mykola.karpenko@vilniustech.lt

Vibration safety in e-scooters with pneumatic and non-pneumatic tires

Keywords: e-scooter, vibration, safety

Introduction

Micromobility has become a major global trend in urban transportation. However, it has also been accompanied by an increase in accidents, often resulting from improper usage and insufficient safety measures particularly in relation to vibrations transmitted to riders on e-scooters [1]. As e-scooters continue to gain popularity, well-established dynamic models for their behavior are still lacking. Yet, such dynamic analyses are essential for improving rider safety and guiding vehicle design [2], especially in controlling of two-wheels vehicle.

Research problem and research methodology

The primary objective of the proposed research is to investigate how vibrations transmitted to the rider, under both pneumatic and non-pneumatic tire conditions, influence the safety and risk associated with e-scooter drive. This study focuses on the experimental vibration analysis of an electric scooter (Fig. 1a) to investigate the vertical dynamic characteristics induced by different types of tires and their influence on handlebar vibrations during real-time operation on brick pavement.

Results

The e-scooter speed during a test was set a 25 km/h regarding specifics to EN 15194 and ISO 5349-1 standards. The results of measured vibration at e-scooter handlebar are presented at Fig. 1b.

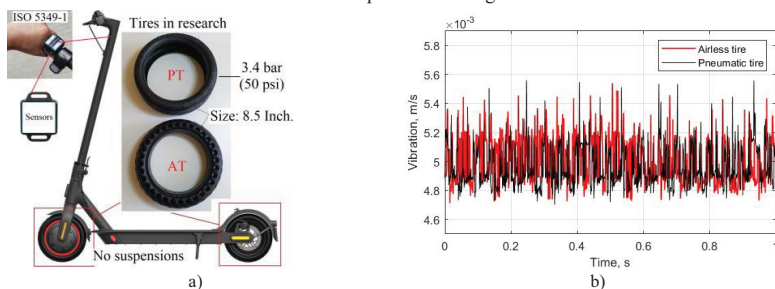


Fig. 1. Research setups and results: a) E-scooter and tires under research; b) Measured vibration velocity on e-scooter handlebar

The vibration level measured at handlebar produced by the e-scooter drive was recorded at 5.07×10^{-3} m/s for non-pneumatic tire and 5.38×10^{-3} m/s for pneumatic tire. Upon analysing the measurements, it appears that, registered vibration range by choose a different tire is significant for case of two-wheels vehicle controlling.

Conclusions

The research demonstrate that tire type has a measurable impact on the vibration characteristics transmitted to the e-scooter handlebar. The pneumatic tire provides slightly better vibration attenuation, which can enhance rider comfort and more safety for vehicle controllability. These findings highlight the importance of tire selection in improving the dynamic safety and stability of two-wheeled micromobility vehicles.

Literature

1. Karpenko M., Prentkovskis O., Skačkauskas P. (2025). Analysing the impact of electric kick-scooters on drivers: vibration and frequency transmission during the ride on different types of urban pavements. *Eksplotacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, vol. 27(2), pp. 1- 14.
2. Kleintertz H., Ntalos D., Hennes F., Nüchtern J., Frosch K., Thiesen D. (2021). Accident mechanisms and injury patterns in e-scooter users – A retrospective analysis and comparison with cyclists. *Deutsches Arzteblatt International*, vol. 118(8), pp. 117-121.

Karolina Kaszuba, Maksym Sobieraj, Anna Stelmach

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

e-mail: karolina.kaszuba@student.pw.edu.pl

Transport kolejowy zieloną alternatywą dla lotów krajowych – możliwe scenariusze dla Polski

Słowa kluczowe: loty krajowe, emisja dwutlenku węgla, transport kolejowy

Wprowadzenie

W artykule została przedstawiona koncepcja zastąpienia lotów krajowych połączeniami kolejowymi w celu ograniczenia emisji dwutlenku węgla. W tym celu zainspirowano się podobną analizą wykonaną na podstawie Włoch [1] oraz wprowadzonymi już ograniczeniami we Francji. Aby wytypować korzystne do zastąpienia połączenia, przeanalizowano ofertę przewoźników lotniczych i kolejowych z punktu widzenia kilku aspektów. Świadomość negatywnego wpływu transportu lotniczego na środowiska przyczyniła się do stworzenia przez Unię Europejską rozporządzeń takich jak rozporządzenie nr 1008/2008 w sprawie wspólnych zasad wykonywania przewozów lotniczych na terenie Wspólnoty. Aktualnie podejmowane są różne kroki mające na celu zminimalizowanie negatywnego wpływu transportu lotniczego na klimat a likwidacja lotów krótkodystansowych jest jednym z nich.

Problem badawczy i metoda badawcza

Przyjęty problem badawczy dotyczy wytypowania możliwych scenariuszy pozwalających na ograniczenie lotów krajowych w Polsce w odniesieniu do możliwości substytucji zlikwidowanych lotów na poszczególnych trasach przez transport kolejowy oraz zdefiniowaniu oszczędności emisji dwutlenku węgla po wprowadzeniu tych restrykcji. Aby to ustalić, wyznaczono 4 warianty ograniczające w których pod uwagę wzięto różne czynniki, takie jak wartości emisji, czas podróży czy dystans podróży. Na tej podstawie wybrano 6 tras, które zostały wytypowane do wprowadzenia zakazu lotu w każdym z analizowanych wariantów.

Wyniki

Na podstawie przeprowadzonej analizy ustalono, że sześć połączeń lotniczych spełnia każde z przyjętych kryteriów do ich zlikwidowania. Są to loty na trasach z Warszawy do następujących miast: Poznań, Bydgoszcz, Katowice, Kraków, Gdańsk, Lublin. Dla tych relacji wyliczono wartości emisji zarówno dla transportu lotniczego i kolejowego. W wyniku porównania otrzymanych wartości można zauważyć, że na wybranych trasach transport kolejowy przynosi oszczędności w emisji dwutlenku węgla na pasażera w przedziale od 3 do 29 procent w porównaniu do transportu lotniczego.

Wnioski i podsumowanie

Analiza poszczególnych wariantów umożliwiła rozpatrzenie problemu pod kątem różnych czynników, takich jak czas podróży, długość trasy czy emisja dwutlenku węgla. Wzięcie pod uwagę wszystkich aspektów pozwoliło wyłonić 6 połączeń najkorzystniejszych do zastąpienia koleją. Czas podróży koleją na tych trasach jest zbliżony do czasu podróży samolotem, co pozwala sądzić, że pasażerowie byłoby skłonni skorzystać z kolei w sytuacji zlikwidowania lotów na tych trasach. Wprowadzenie takich zmian może w istotny sposób przyczynić się do ograniczenia emisji dwutlenku węgla z transportu lotniczego.

Bibliografia

1. David Fulka, E. E. (2024). Ban of short-haul flights – potential scenarios, Italy case study. *Transportation Research Procedia*.
2. Nicol'o Avogadro, M. C. (2021). Replacing short-medium haul intra-European flights with high-speed rail. *Transport Policy*.
3. Frederic Dobruszkes, G. M. (2022). Banning super short-haul flights: Environmental evidence or political turbulence. *Journal of Transport Geography*.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Karolina Kaszuba, Maksym Sobieraj, Anna Stelmach
Warsaw University of Technology, Faculty of Transport

e-mail: karolina.kaszuba@student.pw.edu.pl

Railway transport, green alternative for domestic flights – possible scenarios for Poland

Keywords: domestic flights, carbon dioxide emissions, rail transport

Introduction

This article presents a concept for replacing national rail connections to reduce carbon emissions. This was inspired by an analysis conducted in Italy [1] and the already registered objections in France. To determine the effect of the connection replacement, the delivered and rail products were analyzed from the perspective of several functions. Awareness of the negative impact of air transport on the natural environment is being fostered by European Union regulations such as Regulation No. 1008/2008 on the rules for operating transport within municipalities. Various measures are being taken to eliminate the harmful impact of air transport on the climate, and the elimination of short-haul flights is one of them.

Research problem and research methodology

The research problem involves identifying possible scenarios for restricting domestic flights in Poland, considering the potential for substituting cancelled flights on individual routes with rail transport, and defining the carbon dioxide emission savings following the introduction of these restrictions.

To determine this, four restriction scenarios were selected, taking into account various factors such as emission values, travel time, and travel distance. Based on this, six routes were selected for the introduction of a flight ban under each of the analyzed scenarios.

Results

Based on the analysis, it was determined that six air connections meet each of the criteria for elimination. These are flights from Warsaw to the following cities: Poznań, Bydgoszcz, Katowice, Kraków, Gdańsk, and Lublin.

Emission values for both air and rail transport were calculated for these connections. Comparing the obtained values, it was determined that on selected routes, rail transport delivers carbon dioxide emission savings per passenger ranging from 3 to 29 percent compared to air transport.

Conclusions

Analysis of the individual variants allowed us to consider the problem in terms of various factors, such as travel time, route length, and carbon dioxide emissions. Taking all these aspects into account, we identified six connections that were most favorable for rail replacement. Rail travel times on these routes are similar to those of air travel, suggesting that passengers would be willing to use rail if flights were eliminated. Introducing such changes could significantly reduce carbon dioxide emissions from air transport.

Literature

1. David Fulka, E. E. (2024). Ban of short-haul flights – potential scenarios, Italy case study. *Transportation Research Procedia*.
2. Nicol'o Avogadro, M. C. (2021). Replacing short-medium haul intra-European flights with high-speed rail. *Transport Policy*.
3. Frederic Dobruszkes, G. M. (2022). Banning super short-haul flights: Environmental evidence or political turbulence. *Journal of Transport Geography*.

Sheryar Khan, Janusz Szpytko
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

e-mail: skhan@student.agh.edu.pl, szpytko@agh.edu.pl

Niezawodność systemów i urządzeń technicznych, studium przypadku

Słowa kluczowe: analiza awarii, odporność, konserwacja zapobiegawcza

Wprowadzenie

Praca jest ukierunkowana na analizę niezawodności transportu w północnym Pakistanie i procesach obsługiwanego typu predyktynego w celu zmniejszenia liczby awarii i zwiększenia odporności systemu w procesie eksploatacji. Pomysłem jest dostosowanie praktyki inżynierii niezawodności do procesu eksploatacji środków transportu do trudnej infrastruktury wraz z wypracowaniem metody reagowania na możliwe zagrożenia z uwzględnieniem podejścia zrównoważonego rozwoju [1].

Problem badawczy i metoda badawcza

Celem pracy jest opracowanie koncepcji poprawy infrastruktury transportowej, niezawodności systemów i odporności energetycznej z wykorzystaniem mieszanych metod jakościowych i ilościowych. Przeanalizowano stan infrastruktury, zidentyfikowano istniejące rozwiązania techniczne i konserwacyjne, sformułowano zależności przyczynowo - skutkowe stanu istniejącego, przeprowadzono analizy porównawcze w kontekście dobrych praktyk [2].

Wnioski i podsumowanie

Analizy wykazały, że obszary wiejskie zmagają się z problemami słabej infrastruktury technicznej, niezadawalającej niezawodności systemów transportowych i niedoborów energii, które ograniczają mobilność. Ograniczone wdrażanie nowoczesnych technologii i niedobory wykwalifikowanych specjalistów technicznych dodatkowo wpływają na niedogodności w zakresie procesów eksploatacji i jakości procesów. Sprostanie tym wyzwaniom wymaga ukierunkowanych inwestycji, budowania potencjału ludzkiego i technicznego [3].

Acknowledgements

The project has been financially supported by the UNESCO/ Poland Co-Sponsored Fellowships Programme in Engineering edition 2025A and the AGH University of Krakow/ UNESCO AGH Chair (academic year 2025/ 2026).

Bibliografia

1. Anwar, Z., Abdul Qudoos, H., & Hanif, H. (2015). Identification and Analysis of Factors Affecting Machinery in the Construction Industry of Pakistan. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR)*, 19(1), 269–278.
2. Embrechts P., Lindskog F., McNeil, A. (2003). Modelling Dependence with Copulas and Applications to Risk Management. W: *Handbook of Heavy Tailed Distributions in Finance*, ed. S. Rachev, Elsevier, Chapter 8, pp. 329–384.
3. Farooq, U., Taj, S., & Hussain, A. (2022). Energy access and transport infrastructure development in northern Pakistan: Challenges, strategies, and policy implications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 161, 112407. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112407>.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Sheryar Khan, Janusz Szpytko
AGH University of Krakow

e-mail: skhan@student.agh.edu.pl, szpytko@agh.edu.pl

The reliability of technical systems and devices, case study

Keywords: failure analysis, resilience, preventive maintenance

Introduction

This study enhances transportation reliability in northern Pakistan by applying advanced modeling and predictive maintenance to reduce failures and increase system resilience. Its originality lies in adapting reliability engineering to challenging rural terrains to support disaster response and sustainable regional development [1].

Research problem and research methodology

Northern Pakistan faces severe infrastructure gaps, unreliable technical systems, and chronic power shortages due to geographic constraints and long-term underinvestment. This study aims to develop an integrated framework to improve transport infrastructure, system reliability, and energy resilience using mixed qualitative and quantitative methods. It will analyze current infrastructure conditions, identify critical technical and maintenance gaps, and evaluate root causes through data analysis and international comparisons. The research will design context-specific interventions such as adaptive maintenance, local workforce training, renewable energy solutions, and terrain-compatible technologies. Finally, it will propose a decision-making framework and policy recommendations to enhance regional development, disaster resilience, and long-term sustainability [2].

Results

The study concludes that northern Pakistan's rural areas suffer from interconnected problems of weak infrastructure, low technical system reliability, and persistent energy shortages, all of which restrict mobility and economic growth. Limited adoption of modern technologies and shortages of skilled technical professionals further reduce system efficiency and service quality. Addressing these challenges requires targeted investment, capacity-building, and technology integration to improve livelihoods and regional development. Northern Pakistan's rural areas face significant infrastructure, technical system, and energy resource gaps, which hinder reliability and affect quality of life and regional development. Transportation challenges increase costs, reduce mobility, and erode public trust in service providers. Strengthening reliability through dedicated institutional support, smarter resource allocation, and evidence-based policies can foster long-term resilience [3].

Acknowledgements

The project has been financially supported by the UNESCO/ Poland Co-Sponsored Fellowships Programme in Engineering edition 2025A and the AGH University of Krakow/ UNESCO AGH Chair (academic year 2025/ 2026).

Literature

1. Anwar, Z., Abdul Qudoos, H., & Hanif, H. (2015). Identification and Analysis of Factors Affecting Machinery in the Construction Industry of Pakistan. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR)*, 19(1), 269–278.
2. Embrechts P., Lindskog F., McNeil, A. (2003). Modelling Dependence with Copulas and Applications to Risk Management. W: *Handbook of Heavy Tailed Distributions in Finance*, ed. S. Rachev, Elsevier, Chapter 8, pp. 329–384.
3. Farooq, U., Taj, S., & Hussain, A. (2022). Energy access and transport infrastructure development in northern Pakistan: Challenges, strategies, and policy implications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 161, 112407. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112407>.

Artur Kierzkowski¹, Tomasz Kisiel¹, Ewa Mardeusz¹, Jacek Ryczyński¹, David Valis²,
Łukasz Wolniewicz¹

¹ Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, Katedra Eksploatacji Systemów Technicznych

² University of Defence Brno, Republika Czeska

e-mail: lukasz.wolniewicz@pwr.edu.pl

Koncepcja modelu oceny poziomu wyszkolenia motorniczych ukierunkowana na bezpieczeństwo i niezawodność systemu tramwajowego

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo, niezawodność, tramwaj, symulator tramwaju, model oceny

Wprowadzenie

Szkolenia oparte na symulatorach tramwajowych stanowią istotny element systemu zarządzania bezpieczeństwem i niezawodnością transportu szynowego [1]. Symulatory umożliwiają bezpieczne i powtarzalne odtwarzanie złożonych sytuacji drogowych, w tym scenariuszy zakłóconych i niebezpiecznych, bez generowania dodatkowego ryzyka dla pasażerów, infrastruktury i taboru. Z punktu widzenia bezpieczeństwa i niezawodności istotne jest, aby proces szkolenia był powiązany ze sformalizowaną, możliwie obiektywną oceną poziomu wyszkolenia, ukierunkowaną na minimalizację ryzyka zdarzeń niebezpiecznych.

Problem badawczy i metoda badawcza

Celem badań jest opracowanie modelu do oceny poziomu wyszkolenia motorniczego. Ocena ta polega na wykorzystaniu zintegrowanej i zobiektywizowanej wiedzy eksperckiej w zakresie umiejętności niezbędnych do dopuszczenia motorniczych do bezpiecznej i niezawodnej pracy operacyjnej. Ogólna struktura rozmytego modelu oceny osoby szkolonej w ramach realizowanego zadania opiera się na czterech blokach odnoszących się do kluczowych aspektów bezpieczeństwa i niezawodności: bezpieczeństwa ruchu drogowego, dynamiki jazdy, zgodności przejazdu z zadaną trasą oraz identyfikacji zdarzeń niebezpiecznych.

Wyniki

Zmienna wejściowa bezpieczeństwo ruchu drogowego służy do oceny liczby oraz charakteru wykroczeń w ruchu drogowym popełnianych przez osobę szkoloną; odzwierciedla bezpośrednio poziom bezpieczeństwa prowadzonego pojazdu. Zmienna wejściowa dynamika jazdy opisuje styl jazdy pojazdu prowadzonego przez osobę szkoloną (m.in. płynność przyspieszania i hamowania, unikanie gwałtownych manewrów), co ma znaczenie zarówno dla bezpieczeństwa pasażerów, jak i dla niezawodności eksploatacyjnej pojazdu i infrastruktury. Zmienna wejściowa zgodność przejazdu z zadaną trasą ocenia stopień realizacji rozkładu jazdy oraz prawidłowość wykonania powierzonych zadań. W systemie szkoleniowym dokonywana jest również ocena identyfikacji zdarzeń niebezpiecznych poprzez podrzędny model logiki rozmytej. Na podstawie danych wejściowych do modelu oceny osoby szkolonej w realizowanym zadaniu dokonuje się końcowej, zagregowanej oceny motorniczego. Dla danych wejściowych obliczono ostre wartości wyjściowe modelu i przyporządkowano im wartości lingwistyczne. Dla tych samych przypadków opinię przedstawił zespół ekspertów, a następnie zweryfikowano zgodność ich ocen z wartościami lingwistycznymi generowanymi przez opracowany model.

Wnioski i podsumowanie

Przeprowadzone w ramach badań wywiady z doświadczonymi motorniczymi i trenerami motorniczych wskazują na istnienie dużego zakresu subiektywizmu w tradycyjnych ocenach oraz praktyczny brak możliwości agregacji różnych wskaźników cząstkowych bezpieczeństwa i niezawodności w jeden spójny model oceny. Biorąc pod uwagę istniejący subiektywizm oraz brak możliwości pełnego i precyzyjnego opisu zależności między mierzalnymi i niemierzalnymi czynnikami dostępnymi dla dokonania oceny motorniczych a zintegrowaną oceną końcową, przyjęto, że model oparty na teorii logiki rozmytej stanowi adekwatne przybliżenie sposobu rozumowania ekspertów. Opracowany model umożliwia usystematyzowaną, przejrzystą i powtarzalną ocenę poziomu wyszkolenia motorniczego.

Bibliografia

1. Kierzkowski, A., Wolniewicz, Ł., Danilevičius, A., Mardeusz, E., Kin, M., Bakinowski, Ł., Barabas, D., & Wielkopolan, P. (2024). The Concept of a Universal Tram Driver Console with Interchangeable Panels for a Polish Tram Simulator. *Infrastructures*, 9(3), 41. <https://doi.org/10.3390/infrastructures9030041>



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Artur Kierzkowski¹, Tomasz Kisiel¹, Ewa Mardeusz¹, Jacek Ryczyński¹, David Valis²,
Łukasz Wolniewicz¹

¹ Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, Katedra Eksploatacji Systemów Technicznych

² University of Defence Brno, Republika Czeska

e-mail: lukasz.wolniewicz@pwr.edu.pl

The concept of a model for assessing the level of training of tram drivers focused on the safety and reliability of the tram system

Keywords: safety, reliability, tram, tram simulator, assessment model

Introduction

Training based on tram simulators is an important element of the rail transport safety and reliability management system [1]. Simulators enable the safe and repeatable reproduction of complex traffic situations, including disrupted and dangerous scenarios, without generating additional risk to passengers, infrastructure and rolling stock. From the point of view of safety and reliability, the training process must be linked to a formalised, objective assessment of the level of training, aimed at minimising the risk of dangerous incidents.

Research problem and research methodology

The research aims to develop a model for assessing the level of driver training. This assessment involves the use of integrated and objective expert knowledge in the field of skills necessary for drivers to be approved for safe and reliable operational work. The general structure of the fuzzy model for assessing trainees within the framework of the task being carried out is based on four blocks relating to key aspects of safety and reliability: road safety, driving dynamics, compliance with the set route and identification of dangerous events. The fuzzy logic method was employed to map the relationship between partial indicators and the synthetic assessment of the training level.

Results

The road safety input variable is used to assess the number and nature of traffic offences committed by the trainee; it directly reflects the level of safety of the vehicle being driven. The driving dynamics input variable describes the driving style of the vehicle driven by the trainee (including smooth acceleration and braking, avoidance of sudden manoeuvres), which is important both for passenger safety and for the operational reliability of the vehicle and infrastructure. The input variable assessing compliance with the set route evaluates the degree of adherence to the timetable and the accuracy of the task performed. The training system also assesses the identification of dangerous events using a subordinate fuzzy logic model. Based on the input data for the assessment model of the trainee in the task being performed, a final, aggregated assessment of the tram driver is made. For the input data, the sharp output values of the model were calculated, and linguistic values were assigned to them. For the same cases, an opinion was presented by a team of experts, and then the consistency of their assessments with the linguistic values generated by the developed model was verified. The obtained convergence suggests the potential for using the model as a tool to support the assessment of the impact of tram driver training on the safety and reliability of the tram system.

Conclusions

Interviews conducted as part of the study with experienced tram drivers and tram driver trainers indicate that there is a high degree of subjectivity in traditional assessments and a practical inability to aggregate various partial safety and reliability indicators into a single coherent assessment model. Given the existing subjectivity and the inability to fully and accurately describe the relationship between the measurable and unmeasurable factors available for assessing tram drivers and the integrated final assessment, it was assumed that a model based on fuzzy logic theory is an adequate approximation of the experts' reasoning. The developed model enables a systematic, transparent, and repeatable assessment of the level of driver training, closely linked to the safety and reliability criteria of the tram system.

Literature

1. Kierzkowski, A., Wolniewicz, Ł., Danilevičius, A., Mardeusz, E., Kin, M., Bakinowski, Ł., Barabasz, D., & Wielkopolan, P. (2024). The Concept of a Universal Tram Driver Console with Interchangeable Panels for a Polish Tram Simulator. *Infrastructures*, 9(3), 41. <https://doi.org/10.3390/infrastructures9030041>

Ewelina Kobialka, Janusz Ćwiklak, Artur Goś

Lotnicza Akademia Wojskowa, Instytut Nawigacji

e-mail: e.kobialka@law.mil.pl

Zagrożenia dla bezpieczeństwa lotów spowodowane kolizjami statków powietrznych z ptakami

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo lotów, zderzenia statków powietrznych z ptakami, ryzyko zderzeń z ptakami

Wprowadzenie

Zapewnienie wysokiego poziomu bezpieczeństwa operacji lotniczych należy do fundamentalnych celów współczesnego lotnictwa. Badania jednoznacznie wskazują, że istotnym czynnikiem ryzyka dla statków powietrznych jest możliwość kolizji z ptakami, zwłaszcza w obrębie infrastruktury lotniskowej oraz w jej strefie [1]. Zderzenia statków powietrznych z ptakami stanowią znaczące zagrożenie dla ciągłości i niezawodności ruchu lotniczego. Ponadto wpływa ono negatywnie na ogólną ocenę poziomu bezpieczeństwa systemu transportu lotniczego. Skuteczność zarządzania ryzykiem zderzeń z ptakami zależy od specyficznych uwarunkowań środowiskowych, takich jak sezonowe migracje oraz lokalna koncentracja gatunków charakteryzujących się wysokim potencjałem kolizyjnym [3].

Problem badawczy i metoda badawcza

Współcześnie w lotnictwie cywilnym wdrażany jest zintegrowany i unowocześniony system zarządzania bezpieczeństwem (Safety Management System, SMS), którego jednym z istotnych obszarów jest problematyka kolizji statków powietrznych z ptakami oraz innymi zwierzętami [2]. Z tego względu konieczne jest prowadzenie systematycznych analiz zdarzeń tego typu, umożliwiających identyfikację kluczowych czynników ryzyka oraz ocenę skuteczności stosowanych środków prewencyjnych. Przyjmuje się, że rezultaty podjętych badań posłużą jako wsparcie merytoryczne podczas rozwijania i doskonalenia elementów SMS ukierunkowanych na minimalizację ryzyka zderzeń ze zwierzętami. W przeprowadzonej analizie zastosowano metody statystyczne, umożliwiające obiektywną ocenę dynamiki oraz charakterystyki badanego zjawiska.

Wyniki

Z przeprowadzonych badań wynika, że miesiące letnie, będące czasem największej intensywności lotów, są jednocześnie okresem zwiększonego zagrożenia zderzeniem statku powietrznego z ptakami (tzw. bird strike). Dane te silnie korelują z wykresami przedstawiającymi rozkład liczby bird strike występujących zarówno w lotnictwie wojskowym, jak i cywilnym. Biorąc pod uwagę warunki życia ptaków w Polsce, prawdopodobieństwo kolizji jest największe w okresie lata i wczesnej wiosny.

Wnioski i podsumowanie

Jak wynika z przeprowadzonych analiz kolizje statków powietrznych z ptakami, podobnie jak w innych krajach, stanowią poważny problem w lotnictwie. Pomimo stosowania różnorodnych metod ograniczających populację ptaków na lotnisku i jego okolicy liczba tego typu zdarzeń utrzymuje się na podobnym poziomie od 1991 roku. Z przeprowadzonych badań wynika, że niemal każda kolizja generuje straty finansowe. Dotyczą one głównie remontu statku powietrznego lub wykonania sprawdzenia jego stanu technicznego. Koszty to także przerwy w wykonywaniu lotów przez statek powietrzny przekazany do sprawdzenia lub remontu.

Bibliografia

1. Cleary E.C., Dolbeer R.A., Wright S.E. (2006): Wildlife strikes to civil aircraft in the United States 1990–2005. U.S. Dept. Of Agriculture. Federal Aviation Administration. National Wildlife Strike Database Serial Report 12.
2. Dzik T. and Kiernicki A.: Ptaki - użytkownicy przestrzeni powietrznej (Birds as Users of the Air Space). The Air Force Review No 8; 21-36, 2005.
3. M. Skakuj, B. Grabowska (2018): Zderzenia statków powietrznych z ptakami- ryzyko, którego nie unikniemy, ale które możemy minimalizować, ULC, s. 2.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Ewelina Kobialka, Janusz Ćwikła, Artur Goś
Polish Air Force University, The Institute of Navigation

e-mail: e.kobialka@law.mil.pl

Bird strike hazards to flight safety

Keywords: flight safety, bird strikes, bird strike risk

Introduction

Ensuring a high level of flight operations safety is among the fundamental goals of contemporary aviation. Research unambiguously indicates that a significant risk factor for aircraft is the potential for bird strikes, particularly within the airport infrastructure and its associated zone. Bird strikes pose a substantial threat to the continuity and reliability of air traffic. Furthermore, they negatively impacts the overall assessment of the safety level of the air transport system. The effectiveness of managing the bird strike risk depends on specific environmental conditions, such as seasonal migrations and the local concentration of bird species characterized by a high strike potential.

Research problem and research methodology

Contemporarily, an integrated and modernized safety management system (Safety Management System, SMS) is being implemented in civil aviation. One of its significant areas is the issue of bird strikes and wildlife strikes. For this reason, it is necessary to conduct systematic analyses of these types of events, enabling the identification of key risk factors and the assessment of the effectiveness of implemented preventive measures. It is assumed that the results of the undertaken research will serve as substantive support during the development and improvement of SMS elements aimed at minimizing the wildlife strike risk. Statistical methods were applied in the conducted analysis to enable an objective assessment of the dynamics and characteristics of the phenomenon under study.

Results

The conducted research indicates that the summer months, which are the time of greatest flight intensity, are simultaneously a period of increased threat of aircraft bird strikes. This data strongly correlates with graphs presenting the distribution of the number of bird strikes occurring in both military and civil aviation. Taking into account the lifestyle and activity of birds in Poland, the probability of a collision is highest during the summer and early spring.

Conclusions

As the conducted analyses show, aircraft bird strikes, similarly to other countries, constitute a serious problem in aviation. Despite the use of various methods to reduce bird populations at the airport and in its vicinity, the number of these types of events has remained at a similar level since 1991. The research indicates that almost every collision generates financial losses. These mainly concern the repair of the aircraft or the execution of a check of its technical condition. Costs also include interruptions in flight operations for aircraft submitted for inspection or repair.

Literature

1. Cleary E.C., Dolbeer R.A., Wright S.E. (2006): Wildlife strikes to civil aircraft in the United States 1990–2005. U.S. Dept. Of Agriculture. Federal Aviation Administration. National Wildlife Strike Database Serial Report 12.
2. Dzik T. and Kiernicki A.: Ptaki - użytkownicy przestrzeni powietrznej (Birds as Users of the Air Space). The Air Force Review No 8; 21-36. 2005.
3. M. Skakuj, B. Grabowska (2018): Zderzenia statków powietrznych z ptakami- ryzyko, którego nie unikniemy, ale które możemy minimalizować, ULC, s. 2.

Arkadiusz Koprowski, Romuald Rządkowski, Leszek Kubitz

Instytut Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk

e-mail: z3@imp.gda.pl

Niezawodność wirników małych turbin parowych

Słowa kluczowe: wirnik, małe turbiny parowe

Wprowadzenie

Prędkości krytyczne wirników turbin parowych zależą od geometrii wirnika oraz od współczynników dynamicznych łożysk ślizgowych. W artykule przedstawiono metodę obliczenia współczynników łożysk ślizgowych turbin parowych z wykorzystaniem numerycznej mechaniki płynów. Do obliczenia współczynników wykorzystano trajektorie wirnika otrzymane z badań eksperymentalnych oraz trajektorie uproszczone.

Problem badawczy i metoda badawcza

Przeanalizowano dwa typy łożysk ślizgowych: tradycyjne łożysko ślizgowe [1], [2] i trzy segmentowe łożysko Y. Obliczono współczynniki dynamiczne łożyska wykorzystując narzędzia numerycznej dynamiki płynów CFD wraz z metodą regresji liniowej (LR) [3], [4] oraz metodą regresji najmniejszych kwadratów (LSR), dla uproszczonych trajektorii czopa. Wyniki porównano z rezultatami otrzymanymi z programu MERSWIR w którym wykorzystano dwuwymiarowe równania Reynoldsa. Zaletą metod LR i LSR jest możliwość wyznaczenia współczynników dynamicznych łożyska Y na podstawie trajektorii wirnika otrzymanych z pomiarów eksperymentalnych turbiny parowej. Wyniki obliczeń porównano ze współczynnikami otrzymanymi przy pomocy programu MESWIR [2]. Metoda przedstawiona w artykule może być wykorzystana do obliczenia współczynników dynamicznych innych typów łożysk ślizgowych. W celu zweryfikowania metody obliczono prędkości krytyczne wirnika i porównano z prędkościami krytycznymi otrzymanymi z pomiarów eksperymentalnych dla turbiny parowej przeciwprężnej 1 MW.

Wyniki

Współczynniki dynamiczne obliczone na podstawie dwóch eksperymentalnych trajektorii łożysk ślizgowych, trajektorii teoretycznej i trajektorii MESWIR różnią się od siebie, czasami nawet znacznie. Bardziej istotne są prędkości krytyczne wirnika, które również zostaną zaprezentowane w niniejszym artykule. Wszystkie numerycznie obliczone prędkości krytyczne są porównywane z eksperymentalnymi prędkościami krytycznymi turbiny parowej o mocy 1 MW. Trzy metody obliczania współczynników dynamicznych (LS, LSR, MESWIR) wykorzystywano do określania prędkości krytycznych wirnika. We wszystkich tych metodach pierwsza synchroniczna (1X) prędkość krytyczna wirnika jest niższa niż 2696 obr./min, a druga (2X) prędkość krytyczna pozostaje na poziomie 2121 obr./min, co jest stosunkowo bliskie eksperymentalnym prędkościom krytycznym (2852 obr./min i 2507 obr./min) wirnika turbiny parowej o mocy 1 MW.

Wnioski i podsumowanie

Krytyczne prędkości wirnika uzyskane dla współczynników dynamicznych otrzymanych z MESWIR z uproszczoną trajektorią były wyższe niż dla trajektorii eksperymentalnych z wykorzystaniem LR i LSR. Współczynniki uzyskane z uproszczonych symulacji trajektorii również dają dość precyzyjne wyniki.

Po raz pierwszy prędkości krytyczne obliczone na podstawie trajektorii teoretycznych zostały porównane z prędkościami krytycznymi uzyskanymi eksperymentalnie i następnie wykorzystane do porównania różnych metod wyznaczania współczynników dynamicznych łożysk ślizgowych.

Bibliografia

1. Rao J.S. Rotor Dynamics, New Age International, 1996.
2. Kiciński, J. Rotor dynamics - four open questions. Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences 69, e139791, 1–10 (2021).
3. Nordmann, R. in Dynamics of Rotors: Stability and System Identification (ed. Mahrenholtz, O.) 395–409 (Springer, 1984). doi:10.1007/978-3-7091-2812-1_16.
4. Tiwari, R., Lees, A. W. & Friswell, M. I. Identification of Dynamic Bearing Parameters: A Review. The Shock and Vibration Digest 36, 99–124 (2004).



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Arkadiusz Koprowski, Romuald Rządowski, Leszek Kubitz
Institute of Fluid-Flow Machinery Polish Academy of Sciences

e-mail: z3@imp.gda.pl

Reliability of small steam turbine rotor

Keywords: rotor, small steam turbine

Introduction

The critical speeds of steam turbine rotors depend on the rotor geometry and the accurate calculation of dynamic bearing coefficients. This paper presents a numerical approach for calculating the coefficients of hydrodynamic bearings in steam turbines using computational fluid dynamics. An experimentally obtained rotor trajectory is used for more precise dynamic coefficient calculations. Further, the rotor critical speeds were calculated for the dynamic coefficients.

Research problem and research methodology

Two types of journal bearings are considered: plain journal bearings [1], [2] and three-pad journal bearings. The dynamic coefficients are determined using the Linear Regression method (LR)[3],[4] as well as the Least Squares Regression method (LSR), based on the results of CFD simulations performed for a simplified rotor trajectory. The results are compared with those obtained from MESWIR in-house software [2] using 2D Reynolds equations. An innovation in using the Linear Regression method, as well as the Least Squares Regression method, is that the dynamic coefficients can also be calculated for experimentally measured rotor trajectories in two journal bearings of a 1 MW steam turbine in real operating conditions. These results are compared with coefficients derived from theoretical trajectories and MESWIR calculations. This approach can be extended to other types of bearings and operating conditions. The calculation methods of dynamic coefficients were verified by calculating the critical speeds of the rotor, and these were next compared with experimental critical speeds.

Results

This study shows that the dynamic coefficients calculated based on the two experimental journal bearing trajectories, a theoretical trajectory, and the MESWIR trajectory all differ from each other, at times even considerably. Nonetheless, more significant is the critical speeds of the rotor, which will also be demonstrated in this paper. All the numerically calculated critical speeds are compared with the experimental critical speeds of a 1 MW steam turbine. The three methods for calculating dynamic coefficients are also used to determine the rotor critical speeds. In all these methods, the first synchronous (1X) critical speed of the system is below 2696 rpm, and the superharmonic (2X) critical speed remains at 2121 rpm, which is relatively close to the experimentally identified critical speeds (2852 rpm and 2507 rpm) of a 1 MW steam turbine rotor.

Conclusions

The critical rotor speeds obtained for dynamic coefficients from MESWIR with a simplified trajectory were higher than those for the experimental trajectories using LR and LSR. Nevertheless, coefficients derived from simplified trajectory simulations also provide reasonably precise results. For the first time, critical speeds calculated using theoretical trajectories have been compared with those obtained from experiments and used to compare various journal-bearing dynamic coefficient methods.

Literature

1. Rao J.S. Rotor Dynamics, New Age International, 1996.
2. Kiciński, J. Rotor dynamics - four open questions. Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences 69, e139791, 1–10 (2021).
3. Nordmann, R. in Dynamics of Rotors: Stability and System Identification (ed. Mahrenholtz, O.) 395–409 (Springer, 1984). doi:10.1007/978-3-7091-2812-1_16.
4. Tiwari, R., Lees, A. W. & Friswell, M. I. Identification of Dynamic Bearing Parameters: A Review. The Shock and Vibration Digest 36, 99–124 (2004).

Jarosław Korzeb, Piotr Pryciński

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

e-mail: jaroslaw.korzeb@pw.edu.pl

Mobilny układ analizy zanieczyszczeń komunikacyjnych: założenia projektowe, architektura systemu i wytyczne do badań terenowych

Słowa kluczowe: zanieczyszczenia komunikacyjne, dynamika ruchu a emisje, mapy zanieczyszczeń

Wprowadzenie

Rosnące natężenie ruchu w obszarach zurbanizowanych powoduje wzrost narażenia mieszkańców na zanieczyszczenia powietrza powodowane transportem. Klasyczne stacje pomiarowe dostarczają danych o wysokiej jakości, lecz ich ograniczona liczba nie pozwala uchwycić przestrzennych wahań stężeń wzdłuż ulic, w tunelach, podziemnych parkingach, czy w rejonach o utrudnionej wentylacji. W odpowiedzi na te wyzwania opracowano mobilny układ rejestracji zanieczyszczeń z geotaggingiem, umożliwiający pozyskanie danych środowiskowych na szlakach komunikacyjnych uczestnicząc w ruchu pojazdu. Celem pracy jest przedstawienie założeń projektowych systemu, architektury akwizycji danych oraz wytycznych do badań terenowych. Problem badawczy dotyczy braku możliwości precyzyjnej identyfikacji lokalnych gradientów zanieczyszczeń komunikacyjnych przy użyciu tradycyjnych stacji pomiarowych, których rozmieszczenie jest zbyt rzadkie, aby odzwierciedlić dynamiczne zmiany stężeń w ruchu ulicznym.

Problem badawczy i metoda badawcza

W środowisku zurbanizowanym poziomy zanieczyszczeń podlegają szybkim fluktuacjom zależnym od natężenia ruchu, płynności jazdy, geometrii miejskiej i wentylacji ulicznej. Odpowiedzią na tę lukę pomiarową jest opracowanie mobilnego systemu pomiarowego wykorzystującego czujniki fotometryczne $PM_{2.5}/PM_{10}$, zestawy EC dla pomiarów SO_2 , NO_x , CO, czujnik LZO w technologii PID oraz optyczne czujniki CO_2 NDIR. Uzupełnieniem warstwy pomiarowej są czujniki temperatury i wilgotności powietrza, niezbędne do kompensacji charakterystyk sensorycznych oraz blok monitorowania stanu, obejmujący autodiagnostykę napięcia, temperatury elektroniki, watchdog i sygnały błędów. Procedura badawcza zakłada integrację geotaggingu, czasu UTC i prędkości pojazdu w celu precyzyjnego powiązania wartości stężeń z lokalizacją oraz warunkami ruchu. Kolejnym etapem jest budowa skalowalnej architektury danych – lokalnej i chmurowej – umożliwiającej zapis surowych pomiarów oraz późniejszą analizę GIS. Metodyka badań obejmuje pomiary mobilne i półmobilne prowadzone w warunkach drogowych, w tym przy zmiennej prędkości, w tunelach i garażach podziemnych. Uzyskane dane umożliwią rekonstrukcję przestrzennych map zanieczyszczeń oraz identyfikację obszarów o podwyższonej emisji związanych zarówno z infrastrukturą, jak i pojedynczymi pojazdami. Zastosowana procedura badawcza pozwoli na wykrywanie charakterystycznych sygnatur emisji pojazdów niesprawnych lub emitujących ponadnormatywnie zanieczyszczenia. Opracowany system ma służyć jako narzędzie wspierające miejską politykę środowiskową, strefy czystego transportu oraz budowę aktywnych map jakości powietrza.

Wnioski i podsumowanie

Wielosensorowa warstwa detekcji, obejmująca czujniki PM, elektrochemiczne sensory gazów, detektor PID oraz moduł CO_2 , zapewni kompleksowy obraz środowiska drogowego. Analiza eksploatacyjna dostarczy informacji o niezawodności układu, w tym o dryfcie czujników, stabilności torów pomiarowych i odporności systemu na zakłócenia. Dane z autodiagnostyki pozwolą określić wymagania utrzymaniowe oraz interwały kalibracji, wspierając projektowanie systemu zgodnie z zasadami RAMS.

Bibliografia

1. Hofman, J., Panzica La Manna, V., Ibarrola-Ulzurrun, E., Peters, J., Escribano Hierro, M., & Van Poppel, M. (2023). Opportunistic mobile air quality mapping using sensors on postal service vehicles: from point clouds to actionable insights. *Frontiers in Environmental Health*. <https://doi.org/10.3389/fenvh.2023.1232867>.
2. Okorn, K., Iraci, L. T. (2024). An overview of outdoor low-cost gas-phase air quality sensor deployments: current efforts, trends, and limitations. *Atmospheric Measurement Techniques*, 17, 6425–6457. <https://doi.org/10.5194/amt-17-6425-2024>.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Jarosław Korzeb, Piotr Pryciński

Warsaw University of Technology, Faculty of Transport

e-mail: jaroslaw.korzeb@pw.edu.pl

Mobile Monitoring System for Traffic-Related Air Pollution: Design Assumptions, Architecture, and Field Study Guidelines

Keywords: traffic-related pollutants, traffic dynamics and emissions, real-time pollution mapping

Introduction

Increasing traffic volumes in urban areas intensify residents' exposure to transport-related air pollution. Conventional monitoring stations provide high-quality data, yet their limited number does not allow the capture of spatial concentration variations along streets, inside tunnels, in underground car parks, or in poorly ventilated zones. In response to these challenges, a mobile pollution-monitoring system with geotagging has been developed, enabling the acquisition of environmental data along transport corridors while moving with the vehicle. The aim of this study is to present the system's design assumptions, data acquisition architecture, and guidelines for field investigations. The research problem concerns the inability to precisely identify local gradients of traffic-related pollutants using traditional monitoring stations, whose sparse distribution is insufficient to reflect the dynamic changes in concentrations occurring in urban traffic.

Research problem and research methodology

In urban environments, pollutant concentrations undergo rapid fluctuations driven by traffic intensity, driving dynamics, street geometry, and local ventilation conditions. A response to this measurement gap is the development of a mobile monitoring system employing photometric $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ sensors, electrochemical EC modules for SO_2 , NO_x and CO measurements, a PID-based VOC detector, and optical NDIR sensors for CO_2 . The sensor layer is complemented by temperature and humidity probes, essential for compensating sensor characteristics, as well as a status-monitoring block incorporating voltage and electronics-temperature diagnostics, watchdog functions, and sensor fault signalling. The research procedure assumes the integration of geotagging, UTC time, and vehicle speed to precisely link pollutant concentrations with location and traffic conditions. The next step involves designing a scalable data architecture—both local and cloud-based—allowing storage of raw measurements and subsequent GIS-based analysis. The methodological framework includes mobile and semi-mobile measurements under road traffic conditions, including variable speed, tunnels, and underground garages. The resulting dataset will enable reconstruction of spatial pollution maps and identification of high-emission areas related to both infrastructure and individual vehicles. The applied research procedure will also allow detection of characteristic emission signatures from malfunctioning or high-emitting vehicles. The developed system is intended to serve as a tool supporting urban environmental policy, clean transport zones, and the development of active air-quality maps.

Conclusions

The multisensor detection layer, comprising PM sensors, electrochemical gas sensors, a PID detector, and a CO_2 module, will provide a comprehensive characterization of the road-traffic environment. Operational analysis will yield insights into the system's reliability, including sensor drift, measurement-chain stability, and the system's resistance to disturbances. Data from the self-diagnostic modules will make it possible to define maintenance requirements and calibration intervals, supporting system design in accordance with RAMS principles.

Literature

1. Hofman, J., Panzica La Manna, V., Ibarrola-Ulzurrun, E., Peters, J., Escribano Hierro, M., & Van Poppel, M. (2023). Opportunistic mobile air quality mapping using sensors on postal service vehicles: from point clouds to actionable insights. *Frontiers in Environmental Health*. <https://doi.org/10.3389/fenvh.2023.1232867>.
2. Okorn, K., Iraci, L. T. (2024). An overview of outdoor low-cost gas-phase air quality sensor deployments: current efforts, trends, and limitations. *Atmospheric Measurement Techniques*, 17, 6425–6457. <https://doi.org/10.5194/amt-17-6425-2024>.

Bernard Kostrubiec¹, Anna Kwasiborska¹, Paulina Owczarek²

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, ² Wojskowa Akademia Techniczna

e-mail: bernard.kostrubiec@gmail.com

Analiza procesu obsługi ładunków w magazynie lotniskowym oraz identyfikacja problemów operacyjnych

Słowa kluczowe: cargo, magazyn lotniczy, fracht lotniczy

Wprowadzenie

Proces obsługi ładunków w magazynach lotniskowych stanowi kluczowy element funkcjonowania współczesnych łańcuchów dostaw, szczególnie w warunkach dynamicznie rosnącego rynku cargo. Wysoka zmienność napływu przesyłek oraz wymogi bezpieczeństwa i niezawodności wpływają na złożoność operacji magazynowych. W związku z tym niezbędne jest systematyczne analizowanie procesów oraz identyfikowanie czynników ograniczających ich efektywność. Celem artykułu jest przedstawienie funkcjonowania magazynów lotniskowych i uzasadnienie potrzeby podjęcia badań nad optymalizacją obsługi frachtu lotniczego.

Problem badawczy i metoda badawcza

Zidentyfikowany problem badawczy dotyczy występowania opóźnień, przeciążeń procesowych oraz nieefektywnego wykorzystania zasobów w magazynie lotniczym. Głównym celem analizy jest określenie, które obszary operacyjne w największym stopniu obniżają jakość i płynność obsługi ładunków. W badaniach zastosowano metody obserwacji procesów, analizę dokumentacji operacyjnej oraz konsultacje eksperckie z pracownikami magazynu. Dodatkowo wykorzystano narzędzia analityczne służące do oceny obciążeń procesów i identyfikacji wąskich gardeł.

Wyniki

Wyniki badań wskazują, że największe problemy operacyjne dotyczą niewystarczającej automatyzacji procesów, ograniczonej przepustowości wybranych stanowisk oraz nieoptymalnego harmonogramowania pracy. Analiza wykazała również istotne rozbieżności pomiędzy zapotrzebowaniem na zasoby a ich faktyczną dostępnością w godzinach szczytu. Zidentyfikowano obszary wymagające usprawnień, takie jak proces weryfikacji dokumentów, kontrola bezpieczeństwa oraz obsługa ładunków specjalnych. Wyniki potwierdzają potrzebę wdrażania nowoczesnych narzędzi zarządzania wspierających podejmowanie decyzji operacyjnych.

Wnioski i podsumowanie

Przeprowadzona analiza pozwoliła na jednoznaczne wskazanie kluczowych obszarów wymagających reorganizacji w celu poprawy efektywności procesów magazynowych. Usprawnienia powinny koncentrować się na zwiększeniu automatyzacji, lepszym planowaniu zasobów oraz skróceniu czasu obsługi na poszczególnych etapach. Wyniki badań pokazują, że wdrożenie rozwiązań opartych na analizie danych i nowoczesnych systemach wspomagania decyzji może przynieść znaczące korzyści operacyjne. Ostateczne wnioski podkreślają konieczność dalszych badań nad integracją danych operacyjnych z narzędziami analitycznymi w czasie rzeczywistym.

Bibliografia

1. Debbage, K., Debbage N. (2021). Air Freight Logistics. International Encyclopedia of Transportation, pp. 361-368, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102671-7.10270-2>
2. International Air Transport Association. European Air Cargo Programme (EACP) Handbook (19th ed.) (2021). <https://www.iata.org/contentassets/e9cb5a72b88f4f68a5cfc572a50b60c9/eacph-european-air-cargo-programme-handbook.pdf>.
3. Michielsens, S., Gevaers, R., Dewulf, W. (2025). A historical overview and analysis of e-commerce's milestones and its growing connection with air transport. J. shipp. trd. 10, 14 <https://doi.org/10.1186/s41072-025-00203-5>



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Bernard Kostrubiec ¹, Anna Kwasiborska ¹, Paulina Owczarek ²

¹ Warsaw University of Technology, ² Military University of Technology

e-mail: bernard.kostrubiec@gmail.com

Analysis of the cargo handling process in the airport warehouse and identification of operational problems

Keywords: cargo, air warehouse, air freight

Introduction

The process of handling cargo in airport warehouses is a key element of modern supply chains, particularly in the dynamically growing cargo market. High variability in shipment inflows, along with security and reliability requirements, contributes to the complexity of warehouse operations. Therefore, systematic process analysis and identification of factors limiting their effectiveness are essential. The paper aims to present the operation of airport warehouses and justify the need for research on optimizing air freight handling.

Research problem and research methodology

The identified research problem concerns the occurrence of delays, process overloads, and inefficient resource utilization in an air cargo warehouse. The primary objective of the analysis is to identify the operational areas that most significantly impact the quality and smoothness of cargo handling. The research utilized process observation methods, analysis of operational documentation, and expert consultations with warehouse employees. Additionally, analytical tools were used to assess process load and identify bottlenecks.

Results

The study results indicate that the most significant operational challenges relate to insufficient process automation, limited capacity at selected stations, and suboptimal work scheduling. The analysis also revealed significant discrepancies between resource demand and actual availability during peak hours. Areas requiring improvement were identified, including document verification processes, security checks, and the handling of special cargo. The results confirm the need to implement modern management tools that support operational decision-making.

Conclusions

The analysis clearly identified key areas requiring reorganization to improve the efficiency of warehouse processes. Improvements should focus on increasing automation, better resource planning, and reducing turnaround times at individual stages. The research results demonstrate that implementing solutions based on data analysis and modern decision support systems can deliver significant operational benefits. The conclusions emphasize the need for further research into integrating operational data with real-time analytical tools.

Literature

1. Debbage, K., Debbage N. (2021). Air Freight Logistics. International Encyclopedia of Transportation, pp. 361-368, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102671-7.10270-2>
2. International Air Transport Association. European Air Cargo Programme (EACP) Handbook (19th ed.) (2021). <https://www.iata.org/contentassets/e9cb5a72b88f4f68a5cfc572a50b60c9/eacph-european-air-cargo-programme-handbook.pdf>.
3. Michielsen, S., Gevaers, R., Dewulf, W. (2025). A historical overview and analysis of e-commerce's milestones and its growing connection with air transport. J. shipp. trd. 10, 14 <https://doi.org/10.1186/s41072-025-00203-5>

Piotr Kotylak, Marianna Jacyna, Jolanta Żak
Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

e-mail: marianna.jacyna@pw.edu.pl

Ocena efektywności stacji ładowania z wykorzystaniem wybranych wskaźników

Słowa kluczowe: Elektromobilność, analiza wskaźnikowa, wskaźniki konkurencyjności

Wprowadzenie

Obserwowany obecnie dynamiczny rozwój elektromobilności sprawia, że infrastruktura ładowania samochodów elektrycznych staje się kluczowym ogniwem w łańcuchu wartości transportu zeroemisyjnego [1]. Jednocześnie operatorzy stacji funkcjonują w środowisku gwałtownych wahań cen energii, agresywnej konkurencji cenowej i niskiej lojalności klientów. Uwarunkowanie te wymuszają wdrażanie nowych reaktywnych strategii cenowych [2]. Klasyczne modele ustalania cen, oparte głównie na kosztach zakupu energii i docelowej marży, okazują się w tym kontekście niewystarczające, ponieważ nie uwzględniają szeregu uwarunkowań takich jak lokalizacja, sezonowość, natężenie ruchu czy działania konkurencji [3].

Problem badawczy i metoda badawcza

Badania dotyczą wypracowania zależności funkcyjnych dla wybranych czynników mających wpływ na efektywność funkcjonowania i stabilność finansową operatora infrastruktury ładowania pojazdów elektrycznych. Wzrost liczby pojazdów elektrycznych, zwiększona konkurencja, zmienność wymogów dot. energii ze źródeł odnawialnych wymaga nowego podejścia do strategii ustalania cen energii w punktach ładowania.

Tradycyjne strategie ustalania cen energii w punktach ładowania okazują się niewystarczające ze względu na bardzo dużą ilość czynników wymagających uwzględnienia w ocenie wpływu na ostateczne wyniki ekonomiczne. Zidentyfikowano kluczowe czynniki, które są istotne z punktu widzenia rentowności detalicznej sprzedaży paliw. Wśród nich można wymienić np. elastyczność cenową popytu, ceny konkurencji, liczbę konkurencyjnych stacji ładowania, koszt energii elektrycznej, koszty operacyjne stacji itp.

Wyniki

Opracowanie zależności funkcyjnych czynników mających wpływ na efektywność funkcjonowania i stabilność finansową operatora infrastruktury ładowania pojazdów elektrycznych. Będzie to istotnym elementem metody dla oceny wpływu wybranych czynników na wskaźniki ekonomiczne i ocenę efektywności funkcjonowania operatora infrastruktury ładowania pojazdów elektrycznych.

Wnioski i podsumowanie

Opracowanie zależności funkcyjnych dla wybranych czynników mających wpływ na efektywność funkcjonowania i stabilność finansową operatora infrastruktury ładowania pojazdów elektrycznych pozwala na prowadzenie uporządkowanej polityki cenowej. Może być wykorzystane do lepszego kształtowania polityki i strategii dla rozwoju infrastruktury np. za pomocą przejrzystych miar KPI w projektach o charakterze rozwojowym.

Bibliografia

1. International Energy Agency (IEA), Global EV Outlook 2024, IEA, Paryż, 2024.
2. Dixit A. C., Harshavardhan B.: A game theory approach to optimizing electric vehicle charging infrastructure in urban areas. March 2025, E3S Web of Conferences, vol. 619, art. no. 01004, DOI:10.1051/e3sconf/202561901004.
3. Kalakanti A., Rao S.: Dynamic Pricing for Electric Vehicle Charging. 26 Aug. 2024, DOI:10.1145/3672608.3707745.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Piotr Kotylak, Marianna Jacyna, Jolanta Żak
Warsaw University of Technology, Faculty of Transport

e-mail: marianna.jacyna@pw.edu.pl

Assessing the efficiency of charging stations using selected indicators

Keywords: electromobility, ratio analysis, competitiveness indicators

Introduction

The currently observed dynamic development of electromobility means that electric-vehicle charging infrastructure is becoming a key link in the value chain of zero-emission transport [1]. At the same time, charging-station operators operate in an environment of rapid fluctuations in energy prices, aggressive price competition, and low customer loyalty. These conditions necessitate the implementation of new reactive pricing strategies [2]. In this context, traditional pricing models based mainly on the cost of purchasing electricity and a target margin prove insufficient, because they do not account for a range of factors such as location, seasonality, traffic intensity, or competitors' actions [3].

Research problem and research method

The research concerns the development of functional relationships for selected factors affecting the operational efficiency and financial stability of electric-vehicle charging infrastructure operators. The growing number of electric vehicles, intensified competition, and the changing requirements related to energy from renewable sources call for a new approach to electricity pricing strategies at charging points.

Traditional electricity pricing strategies at charging points prove insufficient due to the very large number of factors that must be considered when assessing their impact on final economic outcomes. Key factors have been identified that are relevant from the perspective of the profitability of retail fuel sales. These include, for example, price elasticity of demand, competitors' prices, the number of competing charging stations, the cost of electricity, station operating costs, and others.

Results

Development of functional relationships for factors that influence the operating efficiency and financial stability of an electric-vehicle charging infrastructure operator. This will constitute an important element of the methodology for assessing how selected factors affect economic indicators and for evaluating the overall operational performance of an EV charging infrastructure operator.

Conclusions and summary

Developing functional relationships for selected factors that affect the operating efficiency and financial stability of an electric-vehicle charging infrastructure operator will enable a more structured pricing policy. This can be used to better shape policies and strategies for infrastructure development, for example, by using clear KPI measures in development oriented projects.

Bibliografia

1. International Energy Agency (IEA), Global EV Outlook 2024, IEA, Paryż, 2024.
2. Dixit A. C., Harshavardhan B.: A game theory approach to optimizing electric vehicle charging infrastructure in urban areas. March 2025, E3S Web of Conferences, vol. 619, art. no. 01004, DOI:10.1051/e3sconf/202561901004.
3. Kalakanti A., Rao S.: Dynamic Pricing for Electric Vehicle Charging. 26 Aug. 2024, DOI:10.1145/3672608.3707745.

Wiktoria Kruszewska, Anna Stelmach
Politechnika Warszawska, Wydział Transportu
e-mail: wiktoria.kruszewska@pw.edu.pl

Koncepcja wyważania wybranych statków powietrznych z uwzględnieniem charakterystyk masowych pasażerów

Słowa kluczowe: charakterystyki masowe pasażerów, środek ciężkości, wyważanie statków powietrznych.

Wprowadzenie

W artykule przedstawiona została koncepcja wyważania statków powietrznych z uwzględnieniem charakterystyk masowych pasażerów. Jej przedmiotem jest opracowanie metody wyznaczenia położenia środka ciężkości wybranych statków powietrznych - wąskokadłubowego B737-800 oraz szerokokadłubowego A330-300, przy zmianie powszechnie używanej masy standardowej pasażera na masy odpowiadające średnim masom obywateli wybranych państw.

Problem badawczy i metoda badawcza

Problem badawczy dotyczy określenia wpływu masy, rozmieszczenia pasażerów, załadunku i ilości paliwa na położenie środka ciężkości statku powietrznego oraz jego zgodność z dopuszczalnymi wartościami granicznymi. W tym celu przeprowadzono obliczenia masy i środka ciężkości na podstawie aktualnych danych dotyczących załadunku, pasażerów i paliwa. Uzyskane wyniki porównano z wartościami granicznymi w celu oceny prawidłowości wyważenia i zapewnienia bezpieczeństwa lotu.

Wyniki

Wyniki badań wykazały, że zmiana mas pasażerów ma bardzo niewielki wpływ na wyważenie samolotu wąskokadłubowego B737-800 — różnice w położeniu środka ciężkości nie przekraczały 2 indeksów, a w pełnym samolocie jedynie 1 IU. W przypadku większego samolotu A330-300 odnotowano nieco większe odchylenia, sięgające 5 IU przy połowicznym i 11 IU przy pełnym zaopatrzeniu kabiny. Różnice te odpowiadały zmianom w położeniu środka ciężkości o 1,3% do 2,3% MACZFW przy spadku masy samolotu o kilka ton. Ostatecznie stwierdzono, że oba typy samolotów zachowują stabilność i prawidłowe wyważenie nawet przy znacznych różnicach w średniej masie pasażerów.

Wnioski i podsumowanie

Opracowano koncepcję wyważania statków powietrznych z uwzględnieniem zmienności mas pasażerów, wykorzystując analizę i przekształcenie tabel trymu jako element badań niezawodności w systemach eksploatacji. Metodę zastosowano do samolotów B737-800 i A330-300, wykorzystując modelowanie wpływu zmiennych obciążeń na stabilność. Wyniki pokazały, że mimo istotnych zmian mas pasażerskich konstrukcje te zachowują wysoką niezawodność i gotowość operacyjną, a badane samoloty zostały na tyle dobrze zaprojektowane, aby zachowały równowagę nawet w ekstremalnych przypadkach. Ponadto, zgodnie z raportem Amerykańskiej Narodowej Rady Bezpieczeństwa Transportu, większość incydentów lotniczych związanych z wyważaniem wynika z błędów proceduralnych człowieka, a nie z niepoprawnie dobranych mas - co pozostaje istotnym elementem analizy wpływu czynnika ludzkiego na niezawodność systemów technicznych.

Bibliografia

1. Feynman Richard P., Leighton Robert B., Matthew Sands „Feynmana wykłady z fizyki. Tom 1, część 1. Mechanika. Szczególna teoria względności”, Wyd. 7, Warszawa, 2014.
2. IATA, Airport Handling Manual, Edition 46, 2026.
3. Laskowski R., Osiągi, wyważanie i planowanie lotu, Wyd. I, Podkowa Leśna: PILEUS, 2014, s. 51-55.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Wiktoria Kruszevska, Anna Stelmach

Warsaw University of Technology, Faculty of Transport

e-mail: wiktoria.kruszevska@pw.edu.pl

The concept of aircraft weight and balance considering passenger mass characteristics

Keywords: passenger mass characteristics, center of gravity, aircraft balancing.

Introduction

This article presents a concept for aircraft balancing based on passenger mass characteristics. The aim is to develop a method for determining the center of gravity of selected aircraft—the narrow-body B737-800 and the wide-body A330-300—by changing the commonly used standard passenger mass to masses corresponding to the average masses of citizens of selected countries.

Research problem and research methodology

The research problem involves determining the effect of mass, passenger distribution, cargo, and fuel load on the aircraft's center of gravity (CG) and its compliance with permissible limits. To this end, mass and CG calculations were performed based on current data regarding cargo, passengers, and fuel. The obtained results were compared with limit values to assess the correct balance and ensure flight safety.

Results

The study results showed that changing passenger weights had very little effect on the balance of the B737-800 single-aisle aircraft—differences in center of gravity position did not exceed two indexes, and only one indices for a fully loaded aircraft. For the larger A330-300 aircraft, slightly larger deviations were noted, reaching 5 indices at half-load and 11 indices at full load. These differences corresponded to changes in center of gravity position of 1.3% to 2.3% of the MACZFW for a weight reduction of several tons. Ultimately, both aircraft types were found to maintain stability and proper balance even with significant differences in average passenger weight.

Conclusions

A concept for aircraft balancing was developed, taking into account passenger weight variations, using the analysis and transformation of trim tables as part of reliability studies in operational systems. The method was applied to the B737-800 and A330-300 aircraft, using modeling of the effects of variable loads on stability. The results showed that despite significant changes in passenger weights, these structures retained high reliability and operational availability, and the tested aircraft were well-designed to maintain balance even in extreme cases. Furthermore, according to a report by the US National Transportation Safety Board, most aircraft balancing incidents are due to procedural human errors, not incorrectly selected weights - which remains an important element in analyzing the impact of human factors on the reliability of technical systems.

Literature

1. K Feynman Richard P., Leighton Robert B., Matthew Sands „Feynmana wykłady z fizyki. Tom 1, część 1. Mechanika. Szczególna teoria względności”, Wyd. 7, Warszawa, 2014.
2. IATA, Airport Handling Manual, Edition 46, 2026.
3. Laskowski R., Osiągi, wyważanie i planowanie lotu, Wyd. I, Podkowa Leśna: PILEUS, 2014, s. 51-55.

Karolina Krzykowska-Piotrowska ¹, Piotr Pelka ², Małgorzata Pelka ³

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Transportu ² Giganci Programowania Sp. z o.o., ³ Instytut Transportu Samochodowego

e-mail: karolina.krzykowska@pw.edu.pl

Zastosowanie dużych modeli językowych (LLM) do automatycznej oceny jakości kształcenia na podstawie danych dydaktycznych

Słowa kluczowe: LLM, ontologia edukacyjna, automatyczna ocena kształcenia

Wprowadzenie

Projekt badawczo-rozwojowy dotyczy opracowania systemu automatycznej oceny jakości kształcenia z wykorzystaniem dużych modeli językowych (LLM) oraz ontologii edukacyjnej. Postępująca cyfryzacja zajęć i dostępność nagrań dydaktycznych otwierają możliwość analizy lekcji na skalę niemożliwą do osiągnięcia metodami eksperckimi [1]. W odpowiedzi na tę potrzebę projekt integruje ontologiczny opis domeny edukacyjnej z nowoczesnymi modelami przetwarzania języka, umożliwiając automatyczne rozpoznawanie i ocenę cech prowadzenia zajęć. Celem projektu jest redukcja kosztów ewaluacji, zwiększenie obiektywności ocen oraz stworzenie narzędzia, które może wspierać trenerów, metodyków i instytucje edukacyjne w monitorowaniu jakości dydaktyki.

Problem badawczy i metoda badawcza

Problem badawczy dotyczył określenia, czy możliwe jest automatyczne odwzorowanie eksperckiej oceny jakości kształcenia na podstawie zestawu cech obserwowanych na nagraniach zajęć, przy jednoczesnym zachowaniu ich semantycznej spójności i wysokiej trafności. W pierwszej fazie opracowano ontologię opisującą obiekty i relacje w domenie edukacyjnej (np. *Trener*, *Uczeń*, *Lekcja*, *Aktywność ucznia*, *Cel lekcji*), modelowaną z wykorzystaniem formalnego opisu relacji i taksonomii. Następnie zebrano pięć kluczowych źródeł danych: informacje o trenerze, nagrania audio zajęć, cechy kursów, sylabusy oraz eksperckie oceny lekcji. Z wykorzystaniem ontologii opracowano model ekstrakcji ponad czterdziestu cech dydaktycznych, obejmujących interakcje, strukturę lekcji, zachowania trenera, aspekty techniczne i elementy organizacyjne. Trafność odtworzenia ocen eksperckich weryfikowano testami statystycznymi (t-Studenta, χ^2 , miary zgodności Kappa) na ponad 500 nagraniach.

Wyniki

Wyniki badań wykazały, że integracja ontologii z LLM znacząco zwiększa precyzję ekstrakcji cech dydaktycznych. System osiągnął wysoką zgodność z ocenami eksperckimi dla wymaganych 15 cech referencyjnych, a w wielu przypadkach trafność przewyższała 80%. LLM skutecznie radził sobie z identyfikacją elementów struktury lekcji, oceną interakcji trenera z uczniami, wykrywaniem problemów technicznych i analizą zgodności z sylabusem. Ontologia zapewniła interpretowalność wyników oraz umożliwiła jednolite mapowanie różnorodnych źródeł danych do struktur analizowanych przez model. W praktyce oznacza to, że LLM nie tylko przetwarza dane tekstowe, ale — dzięki ontologii — rozumie je w kontekście dydaktycznym.

Wnioski i podsumowanie

Projekt potwierdza, że duże modele językowe, połączone z formalną ontologią, mogą stanowić wiarygodne narzędzie do automatycznej oceny jakości kształcenia. Opracowane rozwiązanie umożliwia skalowalny proces ewaluacji, odciążający ekspertów, zapewniający większą spójność ocen oraz umożliwiający analizę setek godzin zajęć w krótkim czasie. Zastosowany system może być w przyszłości rozszerzany na inne typy lekcji, kursów oraz środowisk edukacyjnych, a także integrowany z narzędziami analitycznymi i systemami zarządzania jakością kształcenia.

Bibliografia

1. Daniel, A., Dias, J., Nunes, A., Marques, J., & Damasceno, M. (2025). Transforming Textual Quality Assessment in Higher Education at a Federal University through an Ontology-Based Methodology. *Cadernos de Informática*. <https://seer.ufrgs.br/cadernosdeinformatica/article/download/139578/94874>

Publikacja w ramach projektu GigatrAlner - model sztucznej inteligencji do kontroli i oceny zajęć online dofinansowanego z Programu Fundusze Europejskie dla Nowoczesnej Gospodarki 2021-2027, w ramach Ścieżki SMART (FENG.01.01-IP.02-2329/23). Wartość projektu: 17 177 450,53 zł. Kwota dofinansowania: 12 231 047,22 zł.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Karolina Krzykowska-Piotrowska ¹, Piotr Pelka ², Małgorzata Pelka ³

¹ Warsaw University of Technology, Faculty of Transport, ² Giganci Programowania Sp. z o.o., ³ Motor Transport Institute

e-mail: karolina.krzykowska@pw.edu.pl

Application of Large Language Models (LLM) for Automatic Assessment of Teaching Quality Based on Educational Data

Keywords: LLM, educational ontology, automated quality assessment

Introduction

The research and development project focuses on creating a system for the automatic assessment of teaching quality using large language models (LLM) combined with an educational ontology. The ongoing digitalisation of classes and the widespread availability of instructional recordings enable analyses of lessons on a scale unattainable through expert-based methods [1]. To address this need, the project integrates an ontological description of the educational domain with state-of-the-art language processing models, making it possible to automatically identify and evaluate key teaching characteristics. The aim is to reduce evaluation costs, increase objectivity, and provide a tool that can support instructors, methodologists, and educational institutions in monitoring teaching quality.

Research problem and research methodology

The research problem focused on determining whether it is possible to automatically reproduce expert assessments of teaching quality based on a set of features observed in lesson recordings, while ensuring semantic consistency and high validity. In the first phase, an ontology describing objects and relations in the educational domain (e.g., *Teacher, Student, Lesson, Student Activity, Lesson Objective*) was developed using a formal specification of relations and taxonomies. Subsequently, five key data sources were collected: trainer attributes, audio recordings of classes, course characteristics, syllabi, and expert lesson evaluations. Based on the ontology, a feature-extraction model was developed, covering more than forty didactic features, including interactions, lesson structure, trainer behaviours, technical aspects, and organisational elements. The validity of reproducing expert assessments was verified using statistical tests (Student's t-test, χ^2 test, and Cohen's Kappa agreement measures) on more than 500 recordings.

Results

The results indicate that integrating ontological structures with LLM significantly improves the precision of didactic feature extraction. The system achieved high agreement with expert assessments for the required 15 reference features, often exceeding 80% accuracy. The LLM effectively identified lesson structure components, analysed trainer–student interactions, detected technical issues, and assessed compliance with the syllabus. The ontology ensured interpretability of the results and enabled consistent mapping of heterogeneous data sources into the structures processed by the model.

Conclusions

The project demonstrates that large language models, when combined with a formal ontology, can serve as a reliable tool for automatic assessment of teaching quality. The developed solution enables a scalable evaluation process, reducing the workload of experts, increasing consistency of assessments, and allowing the analysis of hundreds of hours of classes within a short time. The system can be expanded in the future to cover additional lesson types, courses, and educational environments, as well as integrated with analytical tools and quality-management systems for education.

Literature

1. Daniel, A., Dias, J., Nunes, A., Marques, J., & Damasceno, M. (2025). Transforming Textual Quality Assessment in Higher Education at a Federal University through an Ontology-Based Methodology. *Cadernos de Informática*. <https://seer.ufrgs.br/cadernosdeinformatica/article/download/139578/94874>

Publication developed within the GigatrAIner project – an artificial intelligence model for monitoring and evaluating online classes, co-funded by the European Funds for a Modern Economy 2021–2027 Programme under the SMART Path (FENG.01.01-IP.02-2329/23). Project value: PLN 17,177,450.53. Amount of funding: PLN 12,231,047.22.

Michał Lasota, Marianna Jacyna, Mariusz Wasiak
Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

e-mail: michal.lasota@pw.edu.pl

Zintegrowana ocena efektywności i ryzyka w drogowych przewozach ponadnormatywnych

Słowa kluczowe: przewóz ponadnormatywny, efektywność, ocena ryzyka

Wprowadzenie

Drogowe przewozy ponadnormatywne są istotnym elementem funkcjonowania nowoczesnych systemów logistycznych, ponieważ umożliwiają transport ładunków o parametrach masowych lub wymiarowych przekraczających standardy określone dla typowego ruchu pojazdów. Tego typu przewozy pełnią znaczącą rolę w sektorach gospodarki opierających się na infrastrukturze wielkogabarytowej, takich jak energetyka wiatrowa, przemysł ciężki czy budownictwo modułowe. Jednocześnie ich organizacja wiąże się z koniecznością uzyskiwania zezwoleń, szczegółowego planowania trasy oraz zapewnienia odpowiednich zasobów technicznych i logistycznych. Współczesne podejście do tego obszaru transportu wskazuje na potrzebę oceny zarówno efektywności operacyjnej przejazdów, jak i ryzyka towarzyszącego ich realizacji [1]. Obydwa aspekty stanowią elementy kluczowe dla utrzymania niezawodności i bezpieczeństwa całego systemu transportowego.

Problem badawczy i metoda badawcza

Głównym problemem badawczym jest określenie sposobu oceny przewozów ponadnormatywnych z uwzględnieniem dwóch perspektyw: efektywności realizacji transportu oraz ryzyka związanego z jego przebiegiem. Zagadnienie obejmuje koszty operacyjne, czas przygotowania i realizacji przejazdu, ograniczenia infrastruktury oraz zagrożenia techniczne i organizacyjne. W pracy zastosowano podejście przeglądowe, bazujące na literaturze, przykładach praktycznych i studiach przypadków, co pozwala dostrzec zależności między efektywnością a ryzykiem w transporcie ponadnormatywnym. Metoda ma charakter jakościowy i eksploracyjny, umożliwiając dalsze rozwijanie tematu i wykorzystanie bardziej zaawansowanych narzędzi oceny w kolejnych etapach badań.

Wyniki

Z przeprowadzonej analizy wynika, że przewozy ponadnormatywne cechuje duża zmienność parametrów realizacyjnych, co sprawia, że ich efektywność zależy od wielu czynników związanych z planowaniem i wykonaniem transportu. Duże znaczenie mają warunki infrastrukturalne, w tym nośność obiektów inżynierskich, układ geometryczny dróg oraz dostępność tras przystosowanych do transportów ponadnormatywnych. Ważną rolę odgrywają również aspekty organizacyjne, takie jak koordynacja z podmiotami nadzorującymi ruch i przygotowanie tras alternatywnych [2]. Wykazano, że wzrost ryzyka operacyjnego może obniżyć efektywność przewozu, natomiast działania prewencyjne i odpowiednie zarządzanie procesem sprzyjają jednocześnie zwiększeniu bezpieczeństwa i poprawie wyników operacyjnych.

Wnioski i podsumowanie

Przedstawione rozważania potwierdzają potrzebę zintegrowanego podejścia do oceny przewozów ponadnormatywnych, w którym równolegle analizuje się efektywność i ryzyko. Pozwala to lepiej zrozumieć wpływ transportu ponadnormatywnego na system drogowy oraz wskazać obszary wymagające usprawnień organizacyjnych i infrastrukturalnych. Taka ocena wspiera podejmowanie racjonalnych decyzji logistycznych, prowadząc do większego bezpieczeństwa, krótszego czasu realizacji i niższych kosztów. Wnioski wskazują także na zasadność rozwijania narzędzi wspierających planowanie tras i prognozowanie zagrożeń, co może przełożyć się na wyższą niezawodność przewozów ponadnormatywnych w praktyce.

Bibliografia

1. Lasota Michał Krzysztof, Sokołowski Marek, Wojdat Czesław, Pierzak Arkadiusz. 2025. „Risk of adverse events in the transportation of oversize cargoes”. *Maintenance & Reliability / Eksploatacja i Niezawodność* 27 (1).
2. Izdebski Mariusz. 2023. „Risk management in the allocation of vehicles to tasks in transport companies using a heuristic algorithm”. *Archives of Transport* 67 (3): 139–153.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Michał Lasota, Marianna Jacyna, Mariusz Wasiak
Warsaw University of Technology, Faculty of Transport

e-mail: michal.lasota@pw.edu.pl

Integrated assessment of efficiency and risk in oversize road transport

Keywords: oversize transport, efficiency, risk assessment

Introduction

Oversized road transport is a crucial element of modern logistics systems, enabling the transport of loads with mass or dimensions exceeding the standards established for typical vehicle traffic. This type of transport plays a significant role in economic sectors relying on large-scale infrastructure, such as wind energy, heavy industry, and modular construction. At the same time, its organization requires obtaining permits, detailed route planning, and ensuring adequate technical and logistical resources. Contemporary approaches to this area of transport emphasize the need to assess both the operational efficiency of transport and the risks associated with its implementation [1]. Both aspects are crucial for maintaining the reliability and safety of the entire transport system.

Research problem and research methodology

The main research problem is to determine a method for assessing oversize transport, taking into account two perspectives: transport efficiency and the risks associated with its execution. This issue encompasses operating costs, transport preparation and execution time, infrastructure constraints, and technical and organizational risks. The study utilizes a review approach, drawing on literature, practical examples, and case studies, which allows for the identification of the relationship between efficiency and risk in oversize transport. The method is qualitative and exploratory in nature, enabling further development of the topic and the use of more advanced assessment tools in subsequent research stages.

Results

The analysis shows that oversize transport is characterized by significant variability in performance parameters, which means its effectiveness depends on many factors related to transport planning and execution. Infrastructure conditions, including the load-bearing capacity of engineering structures, road layout, and the availability of routes adapted to oversize transport, are of great importance. Organizational aspects, such as coordination with traffic regulators and the preparation of alternative routes, also play a significant role [2]. It has been shown that increased operational risk can reduce transport efficiency, while preventive measures and appropriate process management simultaneously contribute to increased safety and improved operational results.

Conclusions

The presented considerations confirm the need for an integrated approach to assessing oversize transport, which simultaneously analyzes efficiency and risk. This allows for a better understanding of the impact of oversize transport on the road system and identifies areas requiring organizational and infrastructure improvements. Such an assessment supports rational logistical decision-making, leading to greater safety, shorter lead times, and lower costs. The conclusions also point to the importance of developing tools that support route planning and threat forecasting, which can translate into greater reliability of oversize transport in practice.

Literature

1. Lasota Michał Krzysztof, Sokołowski Marek, Wojdat Czesław, Pierzak Arkadiusz. 2025. „Risk of adverse events in the transportation of oversize cargoes”. *Maintenance & Reliability / Eksploatacja i Niezawodność* 27 (1).
2. Izdebski Mariusz. 2023. „Risk management in the allocation of vehicles to tasks in transport companies using a heuristic algorithm”. *Archives of Transport* 67 (3): 139–153.

Michał Lower¹, Jan Magott¹, Jacek Skorupski²

¹ Politechnika Wrocławska, Wydział Informatyki i Telekomunikacji,

² Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

e-mail: michal.lower@pwr.edu.pl

Hierarchiczne podejście do modelowania FRAM w ocenie bezpieczeństwa systemu

Słowa kluczowe: FRAM, bezpieczeństwo, analiza ryzyka

Wprowadzenie

W artykule przedstawiona została metoda hierarchicznego modelowania i analizy złożonych systemów socjotechnicznych z wykorzystaniem metody FRAM (Functional Resonance Analysis Method) [1]. Zastosowanie struktury hierarchicznej umożliwia zarządzanie złożonością analityczną poprzez oddzielenie ogólnego opisu systemu od jego szczegółowych elementów, zachowanie przejrzystości modelu oraz elastyczność analizy [2]. Metoda ta jest szczególnie przydatna w przypadkach, gdy system charakteryzuje się wielopoziomowymi zależnościami, nieliniowymi interakcjami i dynamicznie zmieniającym się kontekstem, jak ma to miejsce np. w lotnictwie. Hierarchiczne podejście pozwala na dekompozycję modeli FRAM na podmodele, co ułatwia identyfikację powiązań między funkcjami oraz analizę zachowania systemu na różnych poziomach abstrakcji. Trwałość i bezpieczeństwo złożonych systemów technicznych mogą być w ten sposób oceniane poprzez analizę struktury i zachowania funkcji oraz ich sprzężeń, zarówno na poziomie ogólnym, jak i szczegółowym.

Problem badawczy i metoda badawcza

Współczesne zaawansowane systemy socjotechniczne charakteryzują się wysoką złożonością, licznymi powiązaniami funkcjonalnymi i dynamicznymi zmianami kontekstu działania. Tradycyjne podejście z wykorzystaniem metody FRAM sprawia, że po przekroczeniu pewnego poziomu złożoności analiza relacji staje się trudna, mało czytelna. Problemem badawczym jest więc opracowanie sposobu analizy złożonych modeli FRAM w sposób umożliwiający zachowanie czytelności, skalowalności i spójności analitycznej przy dużej liczbie funkcji i sprzężeń.

Wyniki

W pracy opracowano i przedstawiono przykład hierarchicznego modelu FRAM dla procedury odlotu samolotu, obejmujący różne poziomy szczegółowości. Modele wyższych poziomów umożliwiają analizę ogólną procesu, natomiast niższe poziomy pozwalają na badanie szczegółowych interakcji, np. komunikacji pilota z kontrolerem ATC z wykorzystaniem automatycznych systemów rozpoznawania mowy (ASRU). Przedstawiono formalną metodę opisu i redukcji/uszczegółowienia modeli FRAM, pokazując, jak funkcje i sprzężenia mogą być agregowane lub rozwijane przy zachowaniu równoważności behawioralnej. Analiza sekwencji wykonania funkcji wraz z etykietami sprzężeń pozwala śledzić skutki odchyłek i przewidywać ich konsekwencje w dalszych etapach procedury. Proponowane podejście ułatwia identyfikację krytycznych punktów funkcjonalnych systemu oraz analizę scenariuszy zdarzeń, co czyni je użytecznym narzędziem do badań bezpieczeństwa systemów złożonych.

Wnioski i podsumowanie

Przedstawiona formalizacja hierarchicznego modelowania FRAM umożliwia zarówno redukcję, jak i uszczegółowienie modeli, przy zachowaniu równoważności ich zachowania. Zastosowanie metody zilustrowano na przykładzie procedury odlotu samolotu, pokazując np. możliwość analizy zgody na start na różnych poziomach szczegółowości. Podejście to pozwala skutecznie zarządzać złożonością modeli, utrzymując ich czytelność i elastyczność analityczną. Metoda spełnia wymagania skalowalności, dzięki większej czytelności ułatwia współpracę ekspertów z różnych dziedzin oraz może stanowić podstawę do dalszych badań nad hierarchiczną analizą modeli FRAM.

Bibliografia

1. Hollnagel E., Hounsgaard J., Colligan L. (2014), FRAM-the Functional Resonance Analysis Method: a handbook for the practical use of the method. Centre for Quality, Region of Southern Denmark.
2. Patriarca R., Bergström J., Di Gravio G. (2017). Defining the functional resonance analysis space: Combining Abstraction Hierarchy and FRAM. Reliability Engineering & System Safety, 165, 34–46.

Michał Lower¹, Jan Magott¹, Jacek Skorupski²

¹ Wrocław University of Science and Technology, Faculty of Informatics and Telecommunication

² Warsaw University of Technology, Faculty of Transport

e-mail: michal.lower@pwr.edu.pl

Hierarchical approach to FRAM modeling in system safety assessment

Slowa kluczowe: FRAM, safety, risk analysis

Introduction

The article presents a method of hierarchical modeling and analysis of complex socio-technical systems using the Functional Resonance Analysis Method (FRAM) [1]. The use of a hierarchical structure enables the management of analytical complexity by separating the general description of the system from its detailed elements, thereby maintaining the transparency of the model and the flexibility of the analysis [2]. This method is beneficial in cases where the system is characterized by multi-level dependencies, nonlinear interactions, and a dynamically changing context, as is the case, for example, in aviation. The hierarchical approach enables FRAM models to be decomposed into submodels, facilitating the identification of links between functions and the analysis of system behavior at various levels of abstraction. The robustness and safety of complex technical systems can thus be assessed by analyzing the structure and behavior of functions and their couplings, both at a general and detailed level.

Research problem and research methodology

High complexity, numerous functional links, and dynamic changes during operation characterize contemporary, advanced socio-technical systems. The traditional approach using the FRAM method makes it challenging to analyze relationships beyond a certain level of complexity, making them unclear. The research problem is therefore to develop a method for analyzing complex FRAM models in a way that preserves clarity, scalability, and analytical consistency with a large number of functions and couplings.

Results

The paper develops and presents an example of a hierarchical FRAM model for aircraft departure procedures, covering various levels of detail. Higher-level models facilitate the general analysis of the process. In contrast, lower-level models enable the study of specific interactions, such as pilot-ATC communication using automatic speech recognition (ASRU) unit. A formal method for describing and reducing/detailing FRAM models is presented, showing how functions and couplings can be aggregated or expanded while maintaining behavioral equivalence. Analysis of the sequence of function execution together with coupling labels allows the effects of deviations to be tracked and their consequences in later stages of the procedure to be predicted. The proposed approach facilitates the identification of critical functional points of the system and the analysis of event scenarios, making it a valuable tool for safety research in complex systems.

Conclusions

The presented formalization of hierarchical FRAM modeling enables both reduction and refinement of models while maintaining the equivalence of their behavior. The application of the method is illustrated using the example of an aircraft departure procedure, showing, for example, the possibility of analyzing takeoff clearance at various levels of detail. This approach enables the effective management of model complexity while maintaining readability and analytical flexibility. The method meets scalability requirements, facilitates collaboration between experts from different fields thanks to its greater readability, and can serve as a basis for further research on hierarchical analysis of FRAM models.

Literature

1. Hollnagel E., Hounsgaard J., Colligan L. (2014), FRAM-the Functional Resonance Analysis Method: a handbook for the practical use of the method. Centre for Quality, Region of Southern Denmark.
2. Patriarca R., Bergström J., Di Gravio G. (2017). Defining the functional resonance analysis space: Combining Abstraction Hierarchy and FRAM. Reliability Engineering & System Safety, 165, 34–46.

Michał Lower ¹, Bogusław Szlachetko ², Jędrzej Szczepaniak ², Vlad Kozak ³

¹ Politechnika Wrocławska, Wydział Informatyki i Telekomunikacji, ² Politechnika Wrocławska, Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów, ³ Fundacja Postup

e-mail: michal.lower@pwr.edu.pl

Stabilność wielowirnikowego BSP z podwieszonym układem pomiarowym do wykrywania min lądowych

Słowa kluczowe: BSP, niewybuchy, bezpieczeństwo misji BSP

Wprowadzenie

W artykule przedstawiono nowoczesną metodę wykorzystującą bezałogowe statki powietrzne (BSP) do identyfikacji oraz lokalizacji min lądowych na polach minowych. Dotychczasowe podejście opiera się głównie na tradycyjnych metodach, takich jak poszukiwanie min przez saperów lub użycie trałów przeciwminowych, których zadaniem jest neutralizacja wykrytych ładunków. Główną wadą tych metod jest ograniczona efektywność. Trały przeciwminowe ulegają uszkodzeniom w kontakcie z minami przeciwpancernymi, co generuje konieczność ich naprawy, natomiast ręczne poszukiwanie min przez człowieka jest procesem czasochłonnym. Szacuje się, że oczyszczenie Ukrainy z min, które zostały tam rozrzucone w wyniku działań wojennych, przy zastosowaniu tradycyjnych metod zajęłoby kilkadziesiąt lat, co podkreśla potrzebę opracowania rozwiązań przyspieszających ten proces przy jednoczesnym zapewnieniu bezpieczeństwa personelu. Prace opisane w artykule realizowane są w ramach projektu badawczego NATO MinesEye – UXO Identification and Classification for Ukraine.

Problem badawczy i metoda badawcza

System identyfikacji i klasyfikacji min składa się z BSP wyposażonego w magnetometr pomiarowy, zawieszony na wysięgniku o długości 2–2,5 m pod BSP. Podczas przelotu nad polem minowym układ pomiarowy umożliwia identyfikację położenia oraz rodzaju min. Skuteczność tego systemu została potwierdzona w publikacji [1].

W niniejszym artykule autorzy koncentrują się na aspekcie bezpieczeństwa lotu BSP z podwieszonym układem pomiarowym. Układ pomiarowy zawieszony pod BSP działa jak wahadło, co może znacząco wpłynąć na stabilność całego systemu i w skrajnych przypadkach doprowadzić do utraty kontroli nad BSP podczas misji. Jak wykazano w pracy [2], stabilność dynamiczna jest istotnym czynnikiem determinującym bezpieczeństwo całego lotu. Ponadto konieczne jest utrzymanie odpowiednich parametrów lotu, aby układ pomiarowy mógł działać efektywnie.

W celu oceny, czy wielowirnikowy BSP jest w stanie bezpiecznie prowadzić pomiary, przeprowadzono próby lotu z podwieszonym ładunkiem o masie i charakterystyce zbliżonej do rzeczywistego układu pomiarowego. Podwieszony ładunek może generować zakłócenia wpływające na stabilność układu.

Wyniki

Przeprowadzono loty wielowirnikowego BSP z podwieszonym ładunkiem, podczas których rejestrowano parametry lotu oraz dane pomiarowe. Na podstawie zebranych informacji dokonano modyfikacji konfiguracji parametrów dynamicznych BSP, po czym testy były powtarzane. W wyniku tych działań ustalono konfigurację umożliwiającą bezpieczne wykonywanie misji oraz określono krytyczne parametry układu.

Wnioski i podsumowanie

W pracy przedstawiono system identyfikacji i klasyfikacji min lądowych oparty na wielowirnikowym BSP z podwieszonym magnetometrem pomiarowym. Przeprowadzone próby lotów z symulowanym ładunkiem pomiarowym umożliwiły ocenę wpływu zawieszonego układu na stabilność i parametry dynamiczne BSP. Analiza wyników pozwoliła na odpowiednią konfigurację systemu, zapewniając zarówno bezpieczeństwo lotu, jak i skuteczność pomiarów.

Bibliografia

1. Poliachenko I., Kozak V., Bakhmutov V., Cherkes S., Varava I. (2023). Preliminary results of UAV magnetic surveys for unexploded ordnance detection in Ukraine: effectiveness and challenges. *Geofizicheskij zhurnal*.
2. Szczepaniak J., Szlachetko B., Lower M., (2024), The Influence of Temporal Disturbances in EKF Calculations on the Achieved Parameters of Flight Control and Stabilization of UAVs, Sensors.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Michał Lower ¹, Bogusław Szlachetko ², Jędrzej Szczepaniak ², Vlad Kozak ³

¹ Wrocław University of Science and Technology, Faculty of Informatics and Telecommunication,

² Wrocław University of Science and Technology, Faculty of Electronics, Photonics and Microsystems,

³ Fundacja Postup

e-mail: michal.lower@pwr.edu.pl

Stability of a Multirotor UAV with a Suspended Measurement System for Landmine Detection

Keywords: UAV, unexploded ordnance (UXO), UAV mission safety

Introduction

The paper presents a modern method utilizing Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for the identification and localization of landmines in minefields. Traditional approaches have so far relied mainly on conventional methods, such as manual mine detection by sappers or the use of mine-clearing flails, whose task is to neutralize detected charges. The main drawback of these methods is their limited efficiency. Mine-clearing flails can be damaged when encountering anti-tank mines, requiring repairs, while manual mine detection by humans is a time-consuming process. It is estimated that clearing Ukraine of mines scattered during military operations using traditional methods would take several decades, highlighting the need to develop solutions that accelerate this process while ensuring personnel safety. The work described in the paper is conducted as part of the NATO MinesEye research project – UXO Identification and Classification for Ukraine.

Research problem and research methodology

The mine identification and classification system consists of a UAV equipped with a measurement magnetometer, suspended on a 2–2.5 m long boom under the UAV. During flights over a minefield, the measurement system allows for the identification of the location and type of mines. The effectiveness of this system has been confirmed in [1].

In this paper, the authors focus on the aspect of UAV flight safety with the suspended measurement system. The suspended measurement device acts like a pendulum, which can significantly affect the stability of the entire system and, in extreme cases, may lead to loss of control over the UAV during the mission. As demonstrated in [2], dynamic stability is a crucial factor determining the safety of the entire flight. Additionally, it is necessary to maintain appropriate flight parameters to ensure that the measurement system can operate effectively.

To evaluate whether the multirotor UAV can safely perform measurements, test flights were conducted with a suspended payload having a mass and characteristics similar to the actual measurement system. The suspended payload may generate disturbances affecting the stability of the system.

Results

Flights of the multirotor UAV with the suspended payload were conducted, during which flight parameters and measurement data were recorded. Based on the collected information, the configuration of the UAV's dynamic parameters was modified, and the tests were repeated. As a result, a configuration was established that allows safe mission execution and identifies the critical parameters of the system.

Conclusions

The paper presents a mine identification and classification system based on a multirotor UAV with a suspended measurement magnetometer. Test flights with a simulated measurement payload enabled the assessment of the impact of the suspended system on UAV stability and dynamic parameters. Analysis of the results allowed for the proper configuration of the system, ensuring both flight safety and measurement effectiveness.

Literature

1. Poliachenko I., Kozak V., Bakhmutov V., Cherkas S., Varava I. (2023). Preliminary results of UAV magnetic surveys for unexploded ordnance detection in Ukraine: effectiveness and challenges. *Geofizicheskiy zhurnal*.
2. Szczepaniak J., Szlachetko B., Lower M., (2024) , The Influence of Temporal Disturbances in EKF Calculations on the Achieved Parameters of Flight Control and Stabilization of UAVs, Sensors.



Marcin Mazur

Polska Agencja Kosmiczna

e-mail: Marcin.Mazur@polsa.gov.pl

Bezpieczeństwo a uwarunkowania technologiczno-prawne w zarządzaniu europejskimi zasobami satelitarnymi w przestrzeni kosmicznej

Słowa kluczowe: przestrzeń kosmiczna, bezpieczeństwo zasobów, efektywność

Wprowadzenie

Rozwój technologii kosmicznych oraz ich powszechne użycie dla celów cywilnych oraz wojskowych, powodują wzrost znaczenia przestrzeni kosmicznej dla funkcjonowania naszych gospodarek. Należy zauważyć, że produkcja, obrót towarami i usługami, ale także rozwój przemysłowy opiera się na zasobach satelitarnych. Ograniczenie dostępu lub całkowite ich wyeliminowanie spowoduje zagrożenie dla realizacji interesów państw europejskich.

Ogromny wzrost liczby systemów satelitarnych spowodował uzależnienie się społeczeństwa, funkcjonowania gospodarki czy administracji publicznej od danych, produktów i usług (ang. Data, Products and Services - DPS) pochodzących z przestrzeni kosmicznej. Chcąc sprawdzić prognozę pogody, aktualną informację nt. lokalizacji pociągu czy możliwości wykonania przelewu międzynarodowego, niezbędne jest wykorzystanie zasobów będących w kosmosie.

Problem badawczy i metoda badawcza

Rozwój i miniaturyzacja nowych technologii, a w konsekwencji komercjalizacja systemów satelitarnych oraz systemów wynoszenia na orbitę, spowodowały ogólną dostępność przestrzeni kosmicznej dla wielu państw. W wyniku prac stałego Komitetu do spraw Pokojowego Wykorzystania Przestrzeni Kosmicznej COPUOS (ang. Committee on the Peaceful Uses of Outer Space), przy Zgromadzeniu Ogólnym ONZ, powstało pięć umów z zakresu prawa kosmicznego obejmujące [1]: Układ kosmiczny, Umowa o ratowaniu kosmonautów, Konwencja o odpowiedzialności, Konwencja o rejestracji obiektów i Układ księżycowy. Największe znaczenie wśród powyższych dokumentów pełni Układ kosmiczny z 1967 r., a kolejne dokumenty stanowią uzupełnienie, doprecyzowanie i rozwinięcie zdefiniowanych zasad.

Wyniki

Z punktu widzenia bezpieczeństwa coraz większa liczba państw szuka sposobu wykorzystania przestrzeni kosmicznej do zwiększenia swojego bezpieczeństwa oraz budowy samodzielnych zdolności satelitarnych, cywilnych i wojskowych. W planowaniu rozwoju i budowy europejskich zasobów satelitarnych w przestrzeni kosmicznej kluczowe znaczenie stanowi aspekt finansowy. Systemy satelitarne są kosztownymi inwestycjami, które wymagają długoterminowego planowania środków finansowych i późnego efektu zwrotu poniesionych nakładów [2].

Wnioski i podsumowanie

Coraz więcej podmiotów prywatnych, publicznych i naukowo-badawczych z najróżniejszych państw świata umieszcza swoje satelity na orbicie, celem potwierdzenia swoich umiejętności, przeprowadzenia badań i testów w kosmosie, bądź prowadzenia działalności biznesowej z wykorzystaniem kosmosu. Rosnąca rola wykorzystania kosmosu doprowadziła naturalnie do większej liczby potencjalnych zagrożeń pochodzących z wykorzystania przestrzeni oraz rozwoju zdolności anty-satelitarnych (ang. *Anti-Satellite Capabilities*), które mogą być wykorzystywane do zakłócania, degradowania lub nawet zniszczenia systemów satelitarnych państw przeciwnych.

Bibliografia

1. Myszona-Kostrzewa K., Kulińska-Kępa Z., Podręczniki Prawnicze. Prawo kosmiczne międzynarodowe, europejskie i krajowe. Wydawnictwo C. H. Beck, 2025, s. 6.
2. Report on the Space Economy, The European Space Agency (ESA), Marzec 2025.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Marcin Mazur
Polish Space Agency

e-mail: Marcin.Mazur@polsa.gov.pl

Security, technological and legal conditions in the management of European satellite resources in space

Keywords: space, resource security, efficiency

Introduction

The development of space technologies and their widespread use for civilian and military purposes are increasing the importance of space for the functioning of our economies. It should be noted that production, trade in goods and services, and industrial development rely on satellite resources. Restricting access or completely eliminating them would threaten the interests of European states.

The enormous increase in the number of satellite systems has led to society, the functioning of the economy, and public administration becoming dependent on data, products, and services (DPS) originating from space. Whether you want to check the weather forecast, current information on a train's location, or the possibility of making an international money transfer, you need to utilize resources available in space.

Research problem and research methodology

The development and miniaturization of new technologies, and consequently the commercialization of satellite systems and orbital launch systems, have resulted in the general accessibility of outer space to many countries. As a result of the work of the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space (COPUOS) at the UN General Assembly, five space law agreements were established, including [1]: the Outer Space Treaty, the Rescue Agreement, the Liability Convention, the Registration Convention, and the Moon Agreement. The most significant of these documents is the 1967 Outer Space Treaty, with subsequent documents supplementing, clarifying, and expanding upon the established principles.

Results

From a security perspective, a growing number of countries are seeking to utilize space to enhance their security and build autonomous civil and military satellite capabilities. Financial considerations are crucial in planning the development and deployment of European satellite resources in space. Satellite systems are expensive investments that require long-term financial planning and a delayed return on investment [2].

Conclusions

More and more private, public, and research entities from various countries around the world are launching satellites into orbit to demonstrate their capabilities, conduct research and testing in space, or conduct business activities using space. The growing importance of space use has naturally led to an increase in potential threats from space use and the development of Anti-Satellite Capabilities, which can be used to disrupt, degrade, or even destroy the satellite systems of opposing countries.

Literature

1. Myszona-Kostrzewa K., Kulińska-Kępa Z., Podręczniki Prawnicze. Prawo kosmiczne międzynarodowe, europejskie i krajowe. Publishing house: C. H. Beck, 2025, page 6.
2. Report on the Space Economy, The European Space Agency (ESA), March 2025.

Michał Mazur

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki

e-mail: michal.mazur@wat.edu.pl

Pomiar tłumienia światła przez dym powstający w wyniku spalania drewna o różnej wilgotności

Słowa kluczowe: systemy sygnalizacji pożarowej, spektrofotometria, pożar

Wprowadzenie

Artykuł przedstawia wyniki badań produktów spalania wykorzystujących analizę spektrofotometryczną do identyfikacji spalającego się materiału. Zastosowanie tej metody w odniesieniu do dymu pożarowego jest istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa pożarowego, ponieważ skład i własności optyczne dymu niosą informację o rodzaju spalanej substancji oraz o fazie rozwoju pożaru. Analiza spektrofotometryczna spalanych substancji w prezentowanym badaniu polegała na pomiarze właściwości tłumiących dymu pochodzącego ze spalania poszczególnych materiałów, takich jak różne rodzaje drewna o odmiennych stopniach wilgotności.

Problem badawczy i metoda badawcza

Problem badawczy podjęty w pracy dotyczy wykorzystania analizy spektrofotometrycznej do określenia poziomu tłumienia optycznego dymu różnych materiałów oraz sprawdzenia, czy na podstawie tego parametru możliwe jest rozróżnienie spalanej substancji. Taka identyfikacja mogłaby zostać w przyszłości zaimplementowana w Systemach Sygnalizacji Pożarowej (SSP) jako dodatkowa funkcja diagnostyczna, wspomagająca obsługę i służby ratownicze informacją o potencjalnym rodzaju zagrożenia. Do badań zaprojektowano stanowisko pomiarowe, które składa się z komory spalania, źródła światła o regulowanej mocy, spektrofotometru, autorskiej komory pomiarowej z labiryntem optycznym oraz światłowodu doprowadzającego promieniowanie. W komorze spalania próbki drewna poddawano kontrolowanej pirolizie, co umożliwilo utrzymanie porównywalnych warunków emisji dymu. Tłumienie dymu określano poprzez porównanie natężenia sygnału optycznego zarejestrowanego dla komory wypełnionej dymem z sygnałem odniesienia mierzonym przy braku dymu. Pomiarów dokonywano w zakresie długości fali obejmującym pasmo światła widzialnego.

Wyniki

Przeprowadzone badania pozwoliły na wyznaczenie nachyleń widma tłumienia optycznego poszczególnych materiałów w określonych odcinkach długości fali światła z zakresu widzialnego. Uzyskane charakterystyki pokazały, że kształt krzywych tłumienia oraz wartości współczynników nachylenia zależą zarówno od rodzaju drewna, jak i od jego wilgotności.

Wnioski i podsumowanie

Na podstawie otrzymanych wyników można zaobserwować istotne różnice w nachyleniu charakterystyk tłumienia światła pomiędzy drewnem suchym a wilgotnym. Dym próbek drewna wilgotnego charakteryzuje się większym poziomem tłumienia światła w zakresie bliskim UV oraz bardziej stromo opadającą charakterystyką w kierunku dłuższych fal. Z kolei dym drewna suchego cechuje się bardziej równomiernym poziomem tłumienia dla całego badanego zakresu, tj. 400–700nm, co przekłada się na łagodniejsze nachylenie krzywej. Dla długości fal 500nm i dłuższych wartości nachyleń dla obu typów próbek zaczynają przyjmować zbliżone wartości. Zaproponowana metoda analizy tłumienia światła przez różne typy dymu może zostać zintegrowana z istniejącymi systemami sygnalizacji i ochrony pożarowej, wspierając dobór algorytmów detekcji oraz progów alarmowych i poprawiając czułość na wczesne stadia rozwoju pożaru. W efekcie może to przyczynić się do zwiększenia skuteczności i niezawodności działania tych systemów w rzeczywistych warunkach eksploatacji, umożliwiając wcześniejszą detekcję i identyfikację zagrożenia oraz ograniczenie liczby fałszywych alarmów.

Bibliografia

1. Wiśnios, M.; Tatko, S.; Mazur, M.; Paś, J.; Łukasiak, J.M.; Klimczak, T. Identifying Characteristic Fire Properties with Stationary and Non-Stationary Fire Alarm Systems. *Sensors* 2024, 24, 2772.
2. Gupta, S.; Kanwar, S.; Kashyap, M. Performance characteristics and assessment of fire alarm system. *Mater. Today Proc.* 2022, 57, 2036–2040

Michał Mazur

Military University of Technology, Faculty of Electronics

e-mail: michal.mazur@wat.edu.pl

Measurement of light attenuation by smoke from wood with different moisture content

Keywords: fire alarm systems, spectrophotometry, fire

Introduction

The article presents the results of research on combustion products using spectrophotometric analysis to identify the burning material. The application of this method to fire smoke is important from the point of view of fire safety, because the composition and optical properties of smoke carry information about the type of material being burnt and about the phase of fire development. In the present study, spectrophotometric analysis of burning substances consisted in measuring the attenuating properties of smoke originating from the combustion of individual materials, such as different types of wood with different degrees of moisture content.

Research problem and research methodology

The research problem addressed in this study concerns the use of spectrophotometric analysis to determine the level of optical attenuation of smoke from different materials and to check whether, on the basis of this parameter, it is possible to distinguish the burning substance. Such identification could in future be implemented in fire alarm systems (FAS) as an additional diagnostic function, supporting operators and emergency services by providing information on the potential type of hazard. A test stand was designed for the investigations, consisting of a combustion chamber, a light source with adjustable power, a spectrophotometer, a custom-made measuring chamber with an optical labyrinth and an optical fibre guiding the radiation. In the combustion chamber, wood samples were subjected to controlled pyrolysis, which made it possible to maintain comparable smoke emission conditions. Smoke attenuation was determined by comparing the intensity of the optical signal recorded for the chamber filled with smoke with the reference signal measured in the absence of smoke. Measurements were carried out over a wavelength range covering the visible band of light.

Results

The conducted investigations made it possible to determine the slopes of the optical attenuation spectra of individual materials in selected wavelength intervals within the visible range. The obtained characteristics showed that the shape of the attenuation curves and the values of the slope coefficients depend both on the type of wood and on its moisture content.

Conclusions

On the basis of the obtained results, significant differences can be observed in the slope of the light-attenuation characteristics between dry and wet wood. Smoke from wet-wood samples is characterised by a higher level of light attenuation in the near-UV range and by a more steeply decreasing characteristic towards longer wavelengths. In turn, smoke from dry wood is characterised by a more uniform level of attenuation over the entire investigated range, i.e. 400–700 nm, which results in a gentler slope of the curve. For wavelengths of 500 nm and above, the slope values for both types of samples start to take on similar values. The proposed method of analysing light attenuation for different smoke types can be integrated with existing fire detection and protection systems, supporting the selection of detection algorithms and alarm thresholds and improving sensitivity to the early stages of fire development. As a result, it may increase the effectiveness and reliability of such systems under real operating conditions, enabling earlier detection and identification of hazards and helping to reduce the number of false alarms.

Literature

1. Wiśnios, M.; Tatko, S.; Mazur, M.; Paś, J.; Łukasiak, J.M.; Klimczak, T. Identifying Characteristic Fire Properties with Stationary and Non-Stationary Fire Alarm Systems. *Sensors* 2024, 24, 2772.
2. Gupta, S.; Kanwar, S.; Kashyap, M. Performance characteristics and assessment of fire alarm system. *Mater. Today Proc.* 2022, 57, 2036–2040

Stanisław Młynarski ¹, Anna Borucka ²

¹ Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny, ² Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Bezpieczeństwa, Logistyki i Zarządzania

e-mail: stanislaw.mlynarski@pk.edu.pl

Modelowanie intensywności zagrożeń w transporcie kolejowym z wykorzystaniem danych eksploatacyjnych

Słowa kluczowe: Zagrożenie, transport kolejowy, modelowanie

Wprowadzenie

Bezpieczeństwo transportu w tym również kolejowego uzależnione jest od wystąpienia i korelacji ze sobą wielu czynników działających podczas procesu realizacji transportu. Czynniki te występują losowo i można podjąć próbę oszacowania prawdopodobieństwa ich występowania. W artykule przedstawiono kategoryzację występujących w transporcie kolejowym rzeczywistych zagrożeń oraz próbę ich modelowania z użyciem znanych rozkładów prawdopodobieństwa. Uzyskane charakterystyki modeli wykorzystano do dalszych analiz w celu opracowania metod zmniejszenia ryzyka w procesie transportu kolejowego.

Problem badawczy i metoda badawcza

Celem badawczym jest ocena bezpieczeństwa w transporcie kolejowym realizowana przez analizę intensywności oraz struktury zagrożeń występujących podczas eksploatacji systemu kolejowego. W procesie badawczym zastosowano ilościową metodę szacowania ryzyka wystąpienia zagrożeń z użyciem modeli probabilistycznych stosowanych w analizie niezawodności na podstawie funkcji gęstości i intensywności zdarzeń umożliwiającej identyfikację kategorii krytycznych w ujęciu czasowym. Do analizy wykorzystano kategoryzowane dane rzeczywiste z Księgi Wydarzeń Kolejowych. Proponowane podejście stanowi wkład naukowy w zakresie doskonalenia narzędzi oceny ryzyka w transporcie kolejowym oraz tworzenia podstaw do standaryzacji wskaźników bezpieczeństwa.

Wyniki

Badanie wykazało znaczne zróżnicowanie częstości oraz dynamiki występowania zdarzeń w poszczególnych kategoriach zagrożeń. Na podstawie funkcji gęstości prawdopodobieństwa i intensywności zdarzeń ustalono, że do najbardziej obciążających bezpieczeństwo procesów eksploatacyjnych należą kategorie: K68 (rozerwanie składu), K72 (uszkodzenia nawierzchni i obiektów inżynierskich) oraz K71 (awarie taboru). Kategorie te cechowały się najwyższą intensywnością zdarzeń i wzrostem ryzyka wraz z upływem czasu użytkowania. Wyniki wskazują także, że część zagrożeń ma charakter sezonowy, a ich kumulacja w czasie stanowi sygnał do wdrożenia działań naprawczych lub ograniczeń eksploatacyjnych. Drugim istotnym wynikiem było obliczenie intensywności zagrożeń i próba odniesienia do kryteriów standardów SIL. Okazało się, że żadna z analizowanych kategorii nie spełnia progu SIL1, co oznacza, że zakres ryzyka w badanych obszarach dla tak zaproponowanych kryteriów jest nieakceptowalny do uznania w analizowanych procesach za zgodny z wysokimi wymaganiami bezpieczeństwa systemów krytycznych.

Wnioski i podsumowanie

Przeprowadzona analiza wyraźnie wskazuje, że bezpieczeństwo transportu kolejowego pozostaje wypadkową wielu losowych i współwystępujących czynników, które - w przypadku niewłaściwego nadzoru - mogą prowadzić do wzrostu ryzyka operacyjnego. Wyniki pokazują konieczność systematycznego monitorowania intensywności zagrożeń oraz określania punktów krytycznych, w których kumulacja zdarzeń wymaga natychmiastowego wdrożenia działań naprawczych lub ograniczeń w eksploatacji. Jednym z najważniejszych wniosków jest potrzeba opracowania jednolitych standardów ocen ryzyka oraz formalnych wartości progowych wskaźników bezpieczeństwa.

Bibliografia

1. UIC. (2023). Railway safety indicators for 2022. UIC eNews. <https://uic.org/com/enews/article/railway-safety-indicators-for-2022>



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Stanisław Młynarski ¹, Anna Borucka ²

¹ Cracow University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, ² Military University of Technology, Faculty of Security, Logistics and Management

e-mail: stanislaw.mlynarski@pk.edu.pl

Modeling the intensity of threats in rail transport using operational data

Keywords: threat, rail transport, modeling

Introduction

Safety in transport, including railway transport, depends on the occurrence and mutual correlation of numerous factors influencing the execution of transport processes. These factors arise randomly, which makes it possible to estimate the probability of their occurrence. This article presents a categorisation of real threats observed in railway transport and an attempt to model them using established probability distributions. The resulting model characteristics were subsequently used for further analyses aimed at developing methods to reduce risk within railway transport operations.

Research problem and research methodology

The aim of the study is to evaluate safety in railway transport by analysing the intensity and structure of threats occurring during the operation of the railway system. The research applies a quantitative method for estimating the risk of threat occurrence using probabilistic models commonly employed in reliability analysis. These models, based on probability density functions and event intensity functions, enable the identification of critical threat categories over time. The analysis is grounded in categorised real-world data obtained from the Railway Event Register. The proposed approach provides a scientific contribution to the development of improved risk assessment tools in railway transport and establishes a foundation for the standardisation of safety indicators used in transport safety engineering.

Results

The study revealed substantial variation in the frequency and dynamics of the different threat categories. Based on analyses of probability density functions and event intensity, it was determined that the most safety-critical categories include: K68 (train consist breakage), K72 (track infrastructure and engineering structure damage), and K71 (rolling stock failures). These categories demonstrated the highest increases in risk intensity over the course of system operation. The findings also indicate that some threats exhibit seasonal patterns, and their accumulation over time signals the need to implement corrective actions or operational restrictions. A further significant result was the assessment of threat intensities in relation to SIL standard criteria. It was found that none of the examined categories met the SIL1 threshold SIL1, indicating that the safety levels in the examined areas are insufficient for classifying the analysed processes as compliant with the stringent requirements of safety-critical systems.

Conclusions

The analysis clearly demonstrates that railway transport safety results from the interaction of numerous random and co-occurring factors which, if inadequately supervised, may lead to elevated operational risk. The findings highlight the need for systematic monitoring of threat intensity and the identification of critical points at which event accumulation necessitates immediate corrective or preventive actions. One of the most important conclusions is the need to develop unified standards for risk assessment and formal threshold values for safety indicators, which would support more coherent and effective risk management within railway transport systems.

Literature

1. UIC. (2023). Railway safety indicators for 2022. UIC eNews. <https://uic.org/com/enews/article/railway-safety-indicators-for-2022>

Jakub Murawski, Piotr Franke-Wąsowski
Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

e-mail: jakub.murawski@pw.edu.pl

Wielokryterialny model lokalizacji obiektów magazynowych z uwzględnieniem aspektów zrównoważonego rozwoju

Słowa kluczowe: zrównoważony rozwój, metody wielokryterialne, problemy wyznaczania lokalizacji

Wprowadzenie

Zrównoważony rozwój odgrywa coraz większą rolę w procesach inwestycyjnych, szczególnie w sektorze transportu i logistyki, gdzie decyzje dotyczące lokalizacji obiektów infrastrukturalnych mają istotny wpływ na środowisko oraz otoczenie społeczne. Jednym z praktycznych sposobów wdrażania koncepcji zrównoważonego rozwoju jest stosowanie kryteriów ESG (ang. Environmental, Social, Governance), obejmujących niefinansowe czynniki odnoszące się do oddziaływania na środowisko, odpowiedzialności społecznej i ładu korporacyjnego. Integracja kryteriów ESG w procesie kształtowania systemów logistycznych ma coraz większe znaczenie w kontekście rosnących wymagań regulacyjnych oraz presji konkurencyjnej na rynku [1].

Problem badawczy i metoda badawcza

Klasyczne problemy lokalizacyjne, takie jak p-median, p-center, p-Hub Location Problem, czy Facility Location Problem koncentrują się przede wszystkim na minimalizacji kosztów oraz optymalizacji działalności operacyjnej. Modele te zakładają minimalizację średnich kosztów dostaw, średniego czasu obsługi lub kosztów uruchomienia i kosztów eksploatacji obiektów logistycznych. Bardziej rozbudowane problemy optymalizacyjne uwzględniają m.in. zagadnienia związane z niezawodnością dostaw [2], czy stochastyczność wybranych parametrów modeli [3]. Mimo tego nadal niewiele metod wyznaczania lokalizacji obiektów logistycznych uwzględnia czynniki zrównoważonego rozwoju, w tym kryteria środowiskowe, społeczne i zarządcze, tak aby stanowiły one integralny element procesu decyzyjnego. Zidentyfikowana luka wskazuje na potrzebę opracowania wielokryterialnego modelu decyzyjnego umożliwiającego uwzględnienie poza kryteriami ekonomicznymi, także czynniki środowiskowe, społeczne i zarządcze.

Wyniki

W ramach badań przeprowadzono analizę literatury obejmującą zarówno klasyczne metody lokalizacji obiektów logistycznych, jak i koncepcję ESG jako narzędzie wspierające wdrażanie zasad zrównoważonego rozwoju. Na tej podstawie opracowano wielokryterialny model decyzyjny integrujący tradycyjne kryteria kosztowe z czynnikami środowiskowymi, społecznymi i zarządczymi odzwierciedlonymi w kryteriach ESG. Skuteczność zaproponowanej metody zweryfikowano na przykładzie studium przypadku, które pokazuje, w jaki sposób uwzględnienie kryteriów ESG wpływa na ranking potencjalnych lokalizacji obiektów magazynowych.

Wnioski i podsumowanie

Uwzględnienie kryteriów ESG jako reprezentatywnych dla podejścia opartego na zrównoważonym rozwoju znacząco wzbogaca proces oceny lokalizacji obiektów magazynowych. Opracowany model umożliwia bardziej odpowiedzialne i kompleksowe podejmowanie decyzji inwestycyjnych, łącząc cele ekonomiczne z podejściem uwzględniającym zasady zrównoważonego rozwoju. Wyniki badań pokazują, że integracja czynników ESG w procesie decyzyjnym może przyczynić się do zwiększenia społecznej akceptacji inwestycji oraz ograniczenia ich kosztów środowiskowych.

Bibliografia

1. Motowidlak, U., Bukowska-Piastryńska, A. (2024). ESG criteria as determinants of sustainable transformation of supply chains. Scientific Papers of Silesian University of Technology Organization and Management Series, 207.
2. Cui, T., Ouyang, Y., Shen, Z.-J. M. (2010). Reliable Facility Location Design Under the Risk of Disruptions. Operations Research, 58(4), 998–1011.
3. Hu, Q.-M., Hu, S., Wang, J., Li, X. (2021). Stochastic single allocation hub location problems with balanced utilization of hub capacities. Transportation Research Part B: Methodological, 153, 204–22000

Jakub Murawski, Piotr Franke-Wąsowski

Warsaw University of Technology, Faculty of Transport

e-mail: jakub.murawski@pw.edu.pl

Multicriteria warehouse location model incorporating sustainability aspects

Keywords: sustainable development, multi-criteria methods, location determination problems

Introduction

Sustainable development is playing an increasingly important role in investment processes, particularly in the transport and logistics sector, where decisions regarding the location of infrastructure facilities have a significant impact on the environment and the surrounding community. One practical way of implementing the concept of sustainable development is the use of ESG criteria (Environmental, Social, Governance), which encompass non-financial factors related to environmental impact, social responsibility and corporate governance. The integration of ESG criteria into the design and development of logistics systems is becoming increasingly relevant in the context of growing regulatory requirements and intensifying market competition [1].

Research problem and research methodology

Classical location problems, such as the p-median, p-center, p-Hub Location Problem or the Facility Location Problem, focus primarily on minimizing costs and optimizing operational performance. These models typically assume the minimization of average delivery costs, average service time, or the costs of establishing and operating logistics facilities. More advanced optimization approaches also consider issues such as delivery reliability [2] and the stochastic nature of selected model parameters [3]. Nevertheless, only a limited number of existing location-selection methods explicitly incorporate sustainability-related factors, including environmental, social and governance criteria, as integral components of the decision-making process. This gap highlights the need to develop a multicriteria decision model that accounts not only for economic considerations but also for environmental, social and governance aspects.

Results

The study included a review of the literature on both classical methods for locating logistics facilities and the concept of ESG as an instrument supporting the implementation of sustainable development principles. Based on this analysis, a multicriteria decision model was developed, integrating traditional cost-related factors with environmental, social and governance dimensions reflected in ESG criteria. The effectiveness of the proposed method was validated through a case study demonstrating how the inclusion of ESG criteria influences the ranking of potential warehouse locations.

Conclusions

Incorporating ESG criteria as representative elements of a sustainability-oriented approach significantly enriches the process of evaluating warehouse locations. The proposed model supports more responsible and comprehensive investment decisions by combining economic objectives with principles of sustainable development. The results show that integrating ESG factors into the decision-making process can enhance social acceptance of investments and reduce their environmental costs.

Literature

1. Motowidlak, U., Bukowska-Piestrzyńska, A. (2024). ESG criteria as determinants of sustainable transformation of supply chains. Scientific Papers of Silesian University of Technology Organization and Management Series, 207.
2. Cui, T., Ouyang, Y., Shen, Z.-J. M. (2010). Reliable Facility Location Design Under the Risk of Disruptions. Operations Research, 58(4), 998–1011.
3. Hu, Q.-M., Hu, S., Wang, J., Li, X. (2021). Stochastic single allocation hub location problems with balanced utilization of hub capacities. Transportation Research Part B: Methodological, 153, 204–227.

Tomasz Nowakowski

Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny

e-mail: tomasz.nowakowski@pwr.edu.pl

Ciągłość działania organizacji typu uniwersytet – stan wiedzy

Słowa kluczowe: ciągłość działania, uniwersytet, zakłócenie

Wprowadzenie

Zgodnie z normą ISO 22301:2019 [1] ciągłość działania to zdolność organizacji do ciągłego dostarczania wyrobów i usług w akceptowalnych ramach czasowych przy zdefiniowanej wcześniej zdolności do działania w czasie zakłócenia. Przy czym zakłócenie jest rozumiane jako przewidywane lub niespodziewane zdarzenie, powodujące nieplanowane, negatywne odchylenie od oczekiwanego dostarczenia wyrobów i usług zgodnego z celami organizacji.

Problem badawczy

Syntetyczny model miar stosowanych w Inżynierii Niezawodności ReMaCo został zdefiniowany [2] przez 3 miary charakteryzujące uszkodzenie obiektu: zdolność obiektu do poprawnego działania nie przerwane uszkodzeniem – nieuszkodzalność; zdolność obiektu do utrzymania lub odtworzenia w danych warunkach eksploatacji stanu, w którym może on wypełniać wymagane funkcje – naprawialność; konsekwencje uszkodzenia mierzone wpływem uszkodzenia obiektu na funkcjonowanie obiektów/systemów w otoczeniu systemu eksploatacji. W tej systematyce model ciągłości działania organizacji można zdefiniować jako model trójwymiarowy obejmujący wytrzymałość – *robustness*, odnawialność – *recoverability* oraz bezpieczeństwo – *security*.

W artykule omówiono wyniki analizy publikacji dotyczących zagadnień definiowania ciągłości działania organizacji typu uniwersytet i sposobów oceny tej charakterystyki.

Wyniki

Analizę publikacji przeprowadzono z wykorzystaniem narzędzia Scopus AI. Sformułowano m. in. następujące pytania:

- ile publikacji od roku 2000 ukazało się na temat zarządzania ciągłością działania w szkołach wyższych?
- czego dotyczą publikacje na temat zarządzania ciągłością działania w szkołach wyższych od roku 2000?
- w jaki sposób wdrożenie zasad ciągłości działania i cyberbezpieczeństwa na uniwersytetach zwiększa odporność na zakłócenia cyfrowe?

Analiza uzyskanych odpowiedzi wskazuje, że istnieje niewiele bezpośrednich publikacji na temat zarządzania ciągłością działania (BCM) na uniwersytetach. Istniejące nie poruszają bezpośrednio różnic w zarządzaniu ciągłością działania pomiędzy uniwersytetami i innymi branżami. Jednakże zaobserwowano znaczny wzrost liczby publikacji związanych z zarządzaniem ciągłością działania, szczególnie w odpowiedzi na kryzysy, takie jak pandemia COVID-19. Pandemia znacząco wpłynęła na liczbę badań i publikacji w tym obszarze. Typowe problemy, dotyczące uniwersytetów wdrażających BCM, obejmują niewystarczające finansowanie, zarządzanie kryzysowe i konieczność transformacji cyfrowej w celu wspierania zdalnej nauki i pracy. Zwraca się uwagę, że uczelnie, które wdrożyły systemy ciągłości działania wykazują zazwyczaj większą odporność na zakłócenia cyfrowe, m. in.: zapewnia kompleksowe podejście do odporności poprzez połączenie działań proaktywnych i reaktywnych, sprzyjają holistycznemu podejściu do cyber-odporności przez łączenie zarządzania ze współpracą z zewnętrznymi interesariuszami i ciągłe monitorowanie, pozwala lepiej radzić sobie z zagrożeniami, odnawiać efektywne funkcjonowanie lub dostosowywać się do zmienionego otoczenia.

Podsumowanie

Analizowane badania podkreślają rosnące znaczenie zarządzania ciągłością działania (BCM) na uniwersytetach. Wdrożone strategie mają na celu zwiększenie odporności uniwersytetów i ich zdolności do utrzymania działalności w trakcie i po wystąpieniu zakłóceń. Wskazane jest opracowanie metodologii dotyczących pomiaru efektów wdrożenia BCM.

Bibliografia

1. ISO 22301:2019. Bezpieczeństwo i odporność - Systemy zarządzania ciągłością działania – Wymagania.
2. Nowakowski T. (2022). Rozwój Inżynierii Niezawodności – próba syntezy. W: Nowakowski, T., Siergiejczyk, M. (red.), Inżynieria niezawodności - teoria i praktyka. 50 lat Zimowych Szkół Niezawodności: monografia jubileuszowa. Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2022, s. 11-35.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Tomasz Nowakowski

Wrocław University of Science and Technology, Mechanical Engineering Faculty

e-mail: tomasz.nowakowski@pwr.edu.pl

Continuity of operation of university-type organizations – state of the art

Keywords: continuity of operation, university, disruption

Introduction

Business continuity of an organization is understood as its ability to continuously provide services within an acceptable time frame while maintaining the ability to operate during disruptions [1]. A disruption is understood as a predictable or unexpected event that causes an unplanned, negative deviation from the expected delivery of products and services consistent with the organization's objectives.

Research problem

The synthetic ReMaCo model of measures used in Reliability Engineering was defined [2] by three measures characterizing object failure: the object's ability to operate correctly without interruption by failure – reliability; the object's ability to maintain or restore a state in which it can perform its required functions under given operating conditions – reparability; and the consequences of failure, measured by the impact of object failure on the functioning of objects/systems in the operating system's environment. In this system, the continuity of operation model of an organization can be defined as a three-dimensional model encompassing robustness, recoverability, and security.

This article discusses the results of an analysis of publications on defining business continuity in university-type organizations and methods for assessing this characteristic.

Results

The publication analysis was conducted using Scopus AI. The following questions were addressed:

- How many publications on business continuity management in higher education institutions have appeared since 2000?
- What are the main themes of publications on business continuity management in universities since 2000?
- How does implementing business continuity and cybersecurity principles at universities increase resilience to digital disruptions?

Analysis of the responses indicates that there are few explicit publications on business continuity management (BCM) in universities. Existing publications do not directly address the differences in business continuity management between universities and other industries. However, there has been a significant increase in the number of publications related to BCM, particularly in response to crises such as the COVID-19 pandemic. The pandemic has significantly impacted the number of research and publications in this area. Common challenges facing universities implementing BCM include insufficient funding, crisis management, and the need for digital transformation to support remote learning and work. It is noted that universities that have implemented business continuity systems usually demonstrate greater resilience to digital disruptions, including: providing a comprehensive approach to resilience by combining proactive and reactive measures, fostering a holistic approach to cyber resilience by combining management with cooperation with external stakeholders and continuous monitoring, allowing for better coping with threats, restoring effective functioning or adapting to a changed environment.

Conclusions

The studies reviewed underscore the growing importance of business continuity management (BCM) in universities. Implemented strategies aim to increase universities' resilience and their ability to maintain operations during and after disruptions. It is recommended that methodologies be developed to measure the effects of BCM implementation.

Literature

1. ISO 22301:2019(E). Security and resilience — Business continuity management systems — Requirements.
2. Nowakowski T. (2022). Rozwój Inżynierii Niezawodności – próba syntezy. W: Nowakowski, T., Siergiejczyk, M. (red.), Inżynieria niezawodności - teoria i praktyka. 50 lat Zimowych Szkół Niezawodności: monografia jubileuszowa. Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2022, s. 11-35.

Marcin Nowosielski¹, Dobromir Jasiński², Marianna Jacyna¹

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, ² Rail-Mil Sp. o.o.

e-mail: marcin.nowosielski96@gmail.com

Krzywe hamowania w systemie ETCS według baseline 2, a bezpieczny ruch pociągów

Słowa kluczowe: krzywe hamowania, bezpieczeństwo, efektywność

Wprowadzenie

System ETCS kontroluje zarówno prędkość, jak i pozycję pociągu, aby zagwarantować, że porusza się on zawsze w granicach dopuszczalnej prędkości oraz w bezpiecznej odległości. W sytuacji zagrożenia przekroczeniem tych parametrów system może automatycznie uruchomić hamowanie, nakazując interwencję układu hamulcowego. Aby móc działać w ten sposób, komputer pokładowy ETCS wykorzystuje matematyczny model dynamiki hamowania pociągu oraz informacje o charakterystyce toru. Na ich podstawie przewiduje, jak prędkość będzie spadać w kolejnych odcinkach drogi. Prognoza ta, przedstawiana w formie krzywej hamowania, pokazuje zależność prędkości od odległości. Dzięki temu przewidywaniu komputer ETCS na bieżąco oblicza drogę hamowania i dostosowuje ją w czasie rzeczywistym. Pozwala to nie tylko na zapewnienie bezpieczeństwa, ale również na wsparcie maszynisty, który może prowadzić pociąg w sposób płynny i komfortowy, utrzymując prędkość w wyznaczonych granicach. Zachowanie pociągu w odniesieniu do krzywych hamowania jest w pełni przewidywalne, a niezawodność krzywej hamowania stosowanej do nadzoru ETCS odnosi się wyłącznie do układu hamulcowego, a nie samego systemu ETCS [1].

Problem badawczy i metoda badawcza

Głównym problemem badawczym jest określenie sposobu wyznaczania krzywych hamowania w systemie ETCS według baseline 2 z określeniem danych składowych, wpływu na bezpieczeństwo i zrozumienie zasady działania. Zagadnienie obejmuje opis danych z wykresami zależności poszczególnych parametrów, wymagania dotyczące implementacji, sposoby oddziaływania pociągu i warunków infrastruktury na krzywe oraz schemat modelu matematycznego. W artykule przedstawiono analizę podejść do wyznaczania krzywych hamowania w systemie ETCS według baseline 2, bazujące na literaturze, aktach normatywnych oraz przykładach praktycznych. Zastosowano ilościowo-jakościowe podejście metodyczne, umożliwiające zrozumienie i ewentualne usprawnienie procesu.

Wyniki

Z przeprowadzonej analizy wynika, że krzywe hamowania według baseline 2 cechują się dużą zmiennością wielu parametrów, określonych szczegółowo i rygorystycznie, co sprawia, że ich działanie jest bezpieczne. Cechy te oraz fakt, że niektóre wytyczne dają możliwość dowolności dostawcom pokładowych systemów ETCS powodują jednak niższą efektywność pociągu [1].

Wnioski i podsumowanie

Wnioski wskazują, że bezpieczeństwo ruchu pociągów zależy od wielu czynników. Natomiast system ECTS wg baseline 2 jest bezpieczny, jednak wraz z bezpieczeństwem potrzebna jest wysoka efektywność w transporcie. Stąd zasadne jest precyzyjniejsze oraz surowsze określenie części parametrów, co z pewnością przełoży się na poprawę tych wyznaczników.

Bibliografia

1. ERA ERTMS UNIT 12.08.2020 „INTRODUCTION TO ETCS BRAKING CURVES” version 1.5 page 6-7.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Marcin Nowosielski¹, Dobromir Jasiński², Marianna Jacyna¹

¹ Warsaw University of Technology, Faculty of Transport

² Rail-Mil Sp.o.o

e-mail: marcin.nowosielski96@gmail.com

Braking curves in the ETCS system according to baseline 2 and safe train traffic

Keywords: braking curves, safety, efficiency

Introduction

The ETCS system monitors both the speed and position of the train to ensure that it always travels within the permitted speed limits and at a safe distance. In the event of a risk of exceeding these parameters, the system can automatically activate the brakes, causing the braking system intervention. To do this, the ETCS on-board computer uses a mathematical model of train braking dynamics and information about track characteristics. Based on this, it predicts how the speed will decrease in subsequent sections of the route. This forecast, presented in the form of a braking curve, shows the relationship between speed and distance. Thanks to this prediction, the ETCS computer calculates the braking distance on an ongoing basis and adjusts it in real time. This not only ensures safety, but also supports the driver, who can drive the train smoothly and comfortably while maintaining the speed within the specified limits. The behavior of the train in relation to the braking curves is fully predictable, and the reliability of the braking curve used for ETCS supervision refers exclusively to the braking system and not to the ETCS system itself [1].

Research problem and research methodology

The main research problem is to determine the method of calculating braking curves in the ETCS system according to baseline 2, specifying the component data, the impact on safety and understanding the principle of operation. The issue includes a description of data with graphs of the relationships between individual parameters, implementation requirements, the impact of the train and infrastructure conditions on the curves, and a diagram of the mathematical model. The article presents an analysis of approaches to determining braking curves in the ETCS system according to baseline 2, based on literature, normative acts and practical examples. A quantitative and qualitative methodological approach was used to enable understanding and possible improvement of the process.

Results

The analysis shows that the braking curves according to baseline 2 are characterised by high variability of many parameters, defined in detail and strictly, which makes their operation safe. However, these features and the fact that some guidelines give freedom to suppliers of on-board ETCS systems result in lower train efficiency [1].

Conclusions

The conclusions indicate that train traffic safety depends on many factors. The ETCS system according to baseline 2 is safe, but safety must be accompanied by high transport efficiency. Therefore, it is reasonable to define some of the parameters more precisely and strictly, which will certainly translate into an improvement in these indicators.

Literature

1. ERA ERTMS UNIT 12.08.2020 „INTRODUCTION TO ETCS BRAKING CURVES” version 1.5 page 6-7.

Gloria Ogiemhen, Janusz Szpytko
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

e-mail: gogiemhen@student.agh.edu.pl, szpytko@agh.edu.pl

Zwiększanie niezawodności systemów hydroenergetycznych poprzez konserwację predykcyjną

Słowa kluczowe: systemy hydroenergetyczne, niezawodność, konserwacja

Wprowadzenie

Energia wodna pozostaje jednym z najpowszechniej wykorzystywanych odnawialnych źródeł energii, szczególnie w regionach rozwijających się, takich jak Afryka, gdzie odgrywa kluczową rolę w wytwarzaniu energii elektrycznej [3, 5]. Ze względu na integrację z innymi źródłami energii w sieciach krajowych, ich nieliniowe i dynamiczne zachowanie może przyczynić się do niestabilności sieci, trudności z kontrolą obciążenia oraz problemów z wykrywaniem awarii [2, 3]. Osiągnięcia w obszarze technologii informacyjno-komunikacyjnych (ICT) i narzędzi uczenia maszynowego oferują nowe możliwości monitorowania stanu technicznego systemu i predyktywnej konserwacji elektrowni wodnych, zapewniając wymaganą niezawodność systemu [1, 2].

Problem badawczy i metoda badawcza

W nigeryjskim systemie elektroenergetycznym często występują częściowe i całkowite zakłócenia w pracy sieci, wynikające ze zmiennych warunków hydrologicznych, takich jak niski przepływ wody w porze suchej, a także nieoczekiwane awarie generatorów, które mogą skutkować poważnymi awariami systemu [5]. W pracy zastosowano jednoklasową maszynę wektorów (OC-SVM) do wspomagania konserwacji predykcyjnej poprzez uczenie się wzorców i identyfikację odchyłań wybranych parametrów eksploatacyjnych [2]. Ciągły monitoring wybranych parametrów eksploatacyjnych umożliwia wczesne wykrywanie nieprawidłowości w systemie elektroenergetycznym i przyczynia się do zmniejszania ryzyka nieplanowanych przerw w dostawie prądu.

Wyniki

Wyniki badań pozwalają stwierdzić, że zastosowanie algorytmu uczenia maszynowego w procesie wykrywania anomalii OC-SVM (One-Class Support Vector Machine) umożliwia zmniejszyć liczbę awarii elementów w systemie elektroenergetycznym o około 40% i wydłużyć żywotność krytycznych elementów generatora o 25–30% (w zależności od warunków i miejsca aplikacji) [1, 4].

Wnioski i podsumowanie

Skuteczność uczenia maszynowego potwierdza projekt Monitor X Case C9 [4]. W rezultacie badań wykryto nieprawidłowe tarcie serwowatoru i degradację jego podzespołów. W rezultacie proaktywnego działania zwiększono niezawodność systemu elektroenergetycznego, poprawiono spójność produkcji energii oraz skrócono przestoje, obniżono koszty konserwacji. Zaproponowano rekomendacje w zakresie wdrożenia algorytmu uczenia maszynowego OC-SVM w nigeryjskich elektrowniach wodnych i innych podobnych obiektach technicznych w procesie eksploatacji.

Acknowledgements

The project has been financially supported by the UNESCO/ Poland Co-Sponsored Fellowships Programme in Engineering edition 2025A and the AGH University of Krakow/ UNESCO AGH Chair (academic year 2025/ 2026).

Bibliografia

1. Mobley R. K. (2013). An Introduction to Predictive Maintenance. Butterworth Heinemann.
2. Onoda T., Ito N., and H. Yamasaki (2007). One-Class SVM based unusual condition monitoring for risk management of hydroelectric power plants. Proc. Int. Joint Conf. Neural Networks (IJCNN), Orlando, p. 857–862.
3. Ąsnes A. (2018). Condition Monitoring of Hydroelectric Power Plants. NTNU, Department of Engineering Cybernetics, Trondheim.
4. Ąsnes A., Willersrud A. (2019). Case C9, Continuous servomotor monitoring. MonitorX, Digitalization in Hydropower, Final Report, Report No. 2019-00796, SINTEF, chapter 4, p. 28. Available: <https://energiforsk.se/media/26984/monitor-x-energiforskrapport-2019-618.pdf>
5. International Energy Agency, Nigeria: National Grid Energy Sources (2023). IEA, Paris. Available: <https://www.iea.org/reports/nigeria-energy-profile>.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Gloria Ogiemhen, Janusz Szpytko

AGH University of Krakow

e-mail: gogiemhen@student.agh.edu.pl, szpytko@agh.edu.pl

Enhancing the reliability of hydropower systems through predictive maintenance

Keywords: hydropower systems, reliability, maintenance

Introduction

Hydropower remains one of the most widely utilized renewable energy resources, particularly across developing regions such as Africa, where it plays a major role in electricity generation [3, 5]. However, with its integration with other generation sources in national grids, their nonlinear and dynamic behavior can contribute to grid instability, load-control difficulties, and challenges in fault detection [2, 3]. Recent developments in ICT and machine-learning tools offer opportunities to enhance condition monitoring and predictive maintenance in hydropower plants ensuring system reliability [1, 2].

Research Problem and Methodology

Nigeria's power system experiences frequent partial and total grid disturbances resulting from fluctuating hydrological conditions, such as dry-season low water flow, as well as unexpected generator trips that can cascade into major system outages [5]. This study applies the One-Class Support Vector Machine (OC-SVM) to support predictive maintenance by learning normal servo-force patterns and identifying deviations as potential mechanical or hydraulic anomalies [2]. Continuous sensor data enables early detection of irregular behavior and reduces the risk of unplanned outages.

Results

The results demonstrate that the OC-SVM approach can reduce unexpected component failures by approximately 40% and extend the operational lifespan of critical generator elements by 25–30%, depending on site conditions and implementation factors [1, 4]. Integrating this predictive-maintenance framework with existing sustainable design practices further reduces wear on components, simplifies repair procedures, and decreases the overall environmental impact of hydropower operations.

Conclusions

The effectiveness of this method is supported by the Monitor X Case C9 project, where OC-SVM successfully detected abnormal servomotor friction and component degradation [4]. The approach increased system reliability, improved energy-output consistency, and reduced operational downtime and maintenance costs. The study proposes an implementation framework suitable for Nigerian hydropower plants and similar facilities, offering practical guidance for improving reliability and operational sustainability.

Acknowledgements

The project has been financially supported by the UNESCO/ Poland Co-Sponsored Fellowships Programme in Engineering edition 2025A and the AGH University of Krakow/ UNESCO AGH Chair (academic year 2025/ 2026).

Literature

1. Mobley R. K. (2013). An Introduction to Predictive Maintenance. Butterworth Heinemann.
2. Onoda T., Ito N., and H. Yamasaki (2007). One-Class SVM based unusual condition monitoring for risk management of hydroelectric power plants. Proc. Int. Joint Conf. Neural Networks (IJCNN), Orlando, p. 857–862.
3. Åsnes A. (2018). Condition Monitoring of Hydroelectric Power Plants. NTNU, Department of Engineering Cybernetics, Trondheim.
4. Åsnes A., Willersrud A. (2019). Case C9, Continuous servomotor monitoring. MonitorX, Digitalization in Hydropower, Final Report, Report No. 2019:00796, SINTEF, chapter 4, p. 28. Available: <https://energiforsk.se/media/26984/monitor-x-energiforskrappport-2019-618.pdf>
5. International Energy Agency, Nigeria: National Grid Energy Sources (2023). IEA, Paris. Available: <https://www.iea.org/reports/nigeria-energy-profile>.

Ewelina Orysiak

Politechnika Morska w Szczecinie, Wydział Nawigacyjny, Katedra Nawigacji Morskiej

e-mail: e.orysiak@pm.szczecin.pl

Ocena gotowości infrastrukturalnej polskich portów śródlądowych do obsługi jednostek zasilanych LNG

Słowa kluczowe: porty śródlądowe, infrastruktura LNG, zrównoważony transport wodny

Wprowadzenie

Rozwój technologii niskoemisyjnych i rosnące wymagania środowiskowe sprzyjają wykorzystaniu paliw alternatywnych, takich jak skroplony gaz ziemny (LNG), w żegludze śródlądowej. Wdrożenie jednostek napędzanych LNG wymaga jednak odpowiedniej infrastruktury portowej, obejmującej systemy bunkrowania i zaplecze techniczno-organizacyjne. Polskie porty śródlądowe, kluczowe dla krajowego transportu, znajdują się na różnych etapach rozwoju. Ocena ich gotowości do obsługi jednostek LNG stanowi istotny krok w modernizacji żeglugi. Celem artykułu jest analiza infrastruktury portów oraz identyfikacja barier i potrzeb inwestycyjnych związanych z wdrażaniem technologii LNG.

Problem badawczy i metoda badawcza

W obliczu transformacji energetycznej i unijnej polityki redukcji emisji polska żegluga śródlądowa musi dostosować się do nowych standardów technologicznych i środowiskowych. Jednym z kluczowych kierunków jest wprowadzenie jednostek zasilanych LNG. Artykuł podejmuje problem oceny przygotowania infrastruktury polskich portów śródlądowych do obsługi takich jednostek oraz identyfikuje główne bariery techniczne, organizacyjne i regulacyjne. W badaniu zastosowano metody analizy porównawczej i diagnostycznej, obejmujące: analizę literatury i dokumentów strategicznych oraz danych instytucjonalnych (GUS, Ministerstwo Infrastruktury, Urzędy Żeglugi, zarządy portów), ocenę ekspercką przedstawicieli branży portowej i porównanie z rozwiązaniami stosowanymi w portach śródlądowych innych krajów UE. Zastosowane podejście umożliwia kompleksową ocenę stanu infrastruktury oraz określenie potrzeb inwestycyjnych i organizacyjnych warunkujących gotowość portów do obsługi jednostek LNG.

Wyniki

Analiza wykazała, że jedynie 10–15% polskich portów śródlądowych posiada podstawowe elementy infrastruktury umożliwiające bunkrowanie lub obsługę jednostek LNG, podczas gdy ponad 70% wymaga znacznych inwestycji modernizacyjnych. W większości przypadków brak dedykowanych systemów bunkrowania, zabezpieczeń technicznych oraz przeszkolonego personelu. Najlepiej przygotowane są porty zlokalizowane na Odrzańskiej Drodze Wodnej (m.in. Wrocław, Koźle), natomiast porty wiślane pozostają na etapie planowania. Porównanie z portami w Niemczech i Holandii potwierdza, że Polska znajduje się na wczesnym etapie rozwoju infrastruktury LNG. Kluczowe bariery to brak krajowych wytycznych, ograniczone finansowanie i niska świadomość branży. Wyniki wskazują na potrzebę opracowania spójnej strategii krajowej wspierającej inwestycje i szkolenia w zakresie LNG.

Wnioski i podsumowanie

Przedstawiono analizę infrastrukturalnej gotowości polskich portów śródlądowych do obsługi jednostek zasilanych LNG. Wykazano, że mimo rosnącego znaczenia paliw niskoemisyjnych, większość portów wymaga modernizacji w zakresie infrastruktury bunkrowania oraz zaplecza technicznego. Oceniono także znaczenie barier organizacyjnych i regulacyjnych ograniczających rozwój tej technologii. Zastosowane metody analizy pozwalają wskazać obszary wymagające inwestycji i planowania strategicznego. Uzyskane wyniki mogą stanowić podstawę do dalszych badań nad wdrażaniem infrastruktury LNG w żegludze śródlądowej.

Bibliografia

1. Główny Urząd Statystyczny (GUS), Transport – wyniki działalności w latach 2020–2024, Warszawa, 2020–2024.
2. Ministerstwo Infrastruktury, Krajowy Program Żeglugowy do roku 2030, KPŻ2030, Warszawa, 2023.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Ewelina Orysiak

Maritime University of Szczecin, Faculty of Navigation, Department of Maritime Navigation

e-mail: e-mail: e.orysiak@pm.szczecin.pl

Infrastructural Preparedness of Polish Inland Ports for LNG-Fueled Vessels

Keywords: inland ports, LNG infrastructure, sustainable water transport

Introduction

The development of low-emission technologies and increasing environmental requirements promote the use of alternative fuels, such as liquefied natural gas (LNG), in inland navigation. However, the introduction of LNG-powered vessels requires appropriate port infrastructure, including bunkering systems and technical–organizational facilities. Polish inland ports, which play a key role in the national transport system, are at various stages of development. Assessing their readiness to handle LNG-fueled vessels is an important step toward the modernization of inland shipping. The aim of this article is to analyze the port infrastructure and identify the main barriers and investment needs related to the implementation of LNG technology.

Research problem and research methodology

In the context of the energy transition and the EU's emission reduction policy, Polish inland navigation must adapt to new technological and environmental standards. One of the key directions in this process is the introduction of LNG-powered vessels. The article addresses the issue of assessing the infrastructural preparedness of Polish inland ports to handle such vessels and identifies the main technical, organizational, and regulatory barriers. The study employs comparative and diagnostic analysis methods, including a review of literature and strategic documents, as well as institutional data (from the Central Statistical Office, the Ministry of Infrastructure, Inland Navigation Authorities, and port administrations). Expert assessments from representatives of the port industry and comparisons with inland ports in other EU countries were also used. This approach enables a comprehensive evaluation of the current state of infrastructure and the identification of investment and organizational needs determining the readiness of ports to handle LNG-fueled vessels.

Results

The analysis showed that only 10–15% of Polish inland ports have basic infrastructure elements enabling bunkering or servicing of LNG-powered vessels, while over 70% require significant modernization investments. In most cases, there is a lack of dedicated bunkering systems, adequate technical safeguards, and trained personnel. The best-prepared ports are located along the Oder Waterway (including Wrocław and Koźle), whereas ports on the Vistula River remain at the planning stage. A comparison with ports in Germany and the Netherlands confirms that Poland is still at an early stage of LNG infrastructure development. The key barriers identified include the absence of national technical guidelines, limited funding, and low industry awareness. The results highlight the need to develop a coherent national strategy supporting investments and training related to LNG implementation.

Conclusions

An analysis of the infrastructural readiness of Polish inland ports to service LNG-powered vessels has been presented. The study showed that despite the growing importance of low-emission fuels, most ports still require modernization of bunkering infrastructure and technical facilities. The significance of organizational and regulatory barriers limiting the development of this technology was also assessed. The applied analytical methods made it possible to identify areas requiring investment and strategic planning. The obtained results may serve as a basis for further research on the implementation of LNG infrastructure in inland navigation.

Literature

1. Central Statistical Office (Główny Urząd Statystyczny – GUS), Transport – Results of Operations in 2020–2024, Warsaw, 2020–2024.
2. Ministry of Infrastructure, National Inland Navigation Programme until 2030, KPŻ2030, Warsaw, 2023.

Wojciech Owczarzak

Instytut Mechaniki i Konstrukcji Maszyn, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa
oraz Centrum EkoTech, Politechnika Gdańska

e-mail: wojowcza@pg.edu.pl

Ocena niezawodności systemu pomiarowego strat energetycznych w kontakcie opona–nawierzchnia z wykorzystaniem replik 3D w zoptymalizowanych warunkach temperatury i ciśnienia

Słowa kluczowe: repliki nawierzchni 3D; metoda oscylacyjna; opór toczenia; niezawodność

Wprowadzenie

Dotychczasowe prace potwierdziły przydatność replik nawierzchni wykonywanych techniką druku 3D do laboratoryjnych badań oporu toczenia metodą oscylacyjną, wykazując zgodność wyników z replikami odlewanyymi w warunkach początkowych ISO 28580:2018 (25 °C, 210 kPa). Nowsze analizy wskazują, że prowadzenie pomiarów w warunkach zbliżonych do fazy stabilizacji termicznej opony i ciśnienia pozwala lepiej odwzorować rzeczywiste warunki eksploatacji opon. W takim ujęciu kluczowe staje się zapewnienie wysokiej niezawodności całego systemu pomiarowego, rozumianej jako powtarzalność i odtwarzalność wyników oraz trwałość replik nawierzchni. Tylko niezawodny system pomiarowy umożliwia wiarygodną ocenę prototypów nowych nawierzchni i opon pod kątem strat energetycznych, co bezpośrednio przekłada się na możliwość realnego ograniczania oporu toczenia, zużycia paliwa i emisji zanieczyszczeń.

Problem badawczy i metoda badawcza

Celem pracy jest weryfikacja, czy wydruki 3D nawierzchni mogą pełnić rolę niezawodnego zamiennika dla klasycznych replik odlewanych w badaniach współczynnika strat energetycznych CEL. Zaplanowano dwie spójne serie pomiarowe przy użyciu tych samych opon: referencyjną przy użyciu standardowych warunków pomiarowych oraz porównawczą przy użyciu zoptymalizowanych warunków ciśnienia i temperatury. Otrzymane wyniki zostaną porównane z wynikami otrzymanymi na stanowisku bębnowym. Ocena ta ma na celu potwierdzenie, że system pomiarowy oparty na replikach nawierzchni uzyskanych w technologii druku 3D zapewnia poziom niezawodności wystarczający do rutynowej, porównywalnej oceny prototypów opon i nawierzchni, stanowiącej podstawę decyzji projektowych.

Wyniki

Oczekuje się, że w nowych, zoptymalizowanych warunkach temperatury i ciśnienia wartości CEL uzyskane na wydrukach 3D będą lepiej skorelowane z wynikami CRR otrzymanymi za pomocą metody momentowej na stanowisku bębnowym, niż w warunkach „na zimno”. W praktyce potwierdzi to równoważność wydruków 3D względem odlewów i umożliwi ich zastąpienie podczas pomiarów oporu toczenia. Dodatkowo analiza rozrzutu wyników i powtarzalności pomiarów pozwoli ocenić niezawodność systemu pomiarowego opartego na replikach 3D, co jest kluczowe z punktu widzenia jego późniejszego wykorzystania do wiarygodnej oceny prototypów nowych nawierzchni i opon.

Wnioski i podsumowanie

W nowych warunkach temperatury i ciśnienia wartości CEL uzyskane na wydrukach 3D będą praktycznie równoważne względem odlewanych replik, z lepszą zbieżnością niż w warunkach „na zimno”. Wydruki 3D mogą być stosowane zamiennie z odlewami w testach metody oscylacyjnej, tworząc niezawodny system pomiarowy do oceny strat energetycznych w kontakcie opona–nawierzchnia. Taki system, zapewniający powtarzalne i porównywalne wyniki dla różnych rozwiązań konstrukcyjnych opon i nawierzchni, stanowi podstawę rzetelnej oceny prototypów ukierunkowanych na redukcję oporu toczenia, a przez to ograniczenie zużycia paliwa i oddziaływania transportu drogowego na środowisko.

Bibliografia

1. Owczarzak W.: Optimization of oscillatory method parameters for accurate estimation of rolling resistance// MEASUREMENT -,iss. 256 (2025)
2. Owczarzak W., Sommer S., Ronowski G.: Analysis of the Suitability of 3D-Printed Road Surface Replicas for Laboratory Testing of Rolling Resistance// Coatings -,iss. 766 (2025)
3. Owczarzak W., Sommer S., Ronowski G.: Method of Forming Road Surface Replicas Using 3D Printing Technology// Coatings -Vol. 14,iss. 11 (2024), s.1455-



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Wojciech Owczarzak

Institute of Mechanics and Machine Design, Faculty of Mechanical Engineering and Ship Technology
and EkoTech Center, Gdańsk University of Technology

e-mail: wojowcza@pg.edu.pl

Assessment of the reliability of an energy-loss measurement system in the tyre–road contact using 3D replicas under optimised temperature and pressure conditions

Keywords: 3D road-surface replicas; oscillatory method; rolling resistance; reliability

Introduction

Previous studies have confirmed the suitability of road-surface replicas manufactured using 3D printing for laboratory rolling-resistance tests with the oscillatory method, showing agreement with cast replicas under the initial conditions of ISO 28580:2018 (25 °C, 210 kPa). More recent analyses indicate that conducting measurements under conditions close to the thermal stabilisation phase of the tyre and stabilised inflation pressure better reflects real operating conditions. In this context, ensuring high reliability of the entire measurement system becomes crucial, understood as repeatability and reproducibility of results and the durability of the road-surface replicas. Only a reliable measurement system enables a credible assessment of prototypes of new road surfaces and tyres in terms of energy losses, which directly translates into the potential for real reductions in rolling resistance, fuel consumption and pollutant emissions.

Research problem and research methodology

The aim of this study is to verify whether 3D-printed road-surface replicas can serve as a reliable substitute for conventional cast replicas in measurements of the coefficient of energy losses (CEL). Two consistent measurement series using the same tyres are planned: a reference series under standard measurement conditions and a comparative series under optimised temperature and pressure conditions. The obtained results will be compared with those from a drum test rig using a torque-based method to determine the coefficient of rolling resistance (CRR). The purpose of this comparison is to confirm that a measurement system based on road-surface replicas manufactured using 3D printing provides a level of reliability sufficient for routine, comparative assessment of tyre and pavement prototypes, forming a sound basis for design decisions.

Results

It is expected that under the new, optimised temperature and pressure conditions, the CEL values obtained on 3D-printed replicas will show better correlation with CRR results determined by the torque-based method on the drum test rig than under “cold” conditions. In practice, this would confirm the equivalence of 3D-printed replicas relative to cast replicas and allow them to be substituted in rolling-resistance measurements. In addition, analysis of the scatter of results and measurement repeatability will make it possible to assess the reliability of the measurement system based on 3D replicas, which is crucial for its subsequent use in the credible evaluation of prototypes of new road surfaces and tyres.

Conclusions

Under the new temperature and pressure conditions, the CEL values obtained on 3D-printed replicas are expected to be practically equivalent to those from cast reference replicas, with better agreement than under “cold” conditions. 3D-printed replicas can thus be used interchangeably with cast replicas in oscillatory-method tests, forming a reliable measurement system for assessing energy losses in the tyre–road contact. Such a system, providing repeatable and comparable results for different tyre and pavement designs, constitutes the basis for a robust evaluation of prototypes aimed at reducing rolling resistance and, consequently, decreasing fuel consumption and the environmental impact of road transport.

Literature

1. Owczarzak W.: Optimization of oscillatory method parameters for accurate estimation of rolling resistance// MEASUREMENT -,iss. 256 (2025)
2. Owczarzak W., Sommer S., Ronowski G.: Analysis of the Suitability of 3D-Printed Road Surface Replicas for Laboratory Testing of Rolling Resistance// Coatings -,iss. 766 (2025)
3. Owczarzak W., Sommer S., Ronowski G.: Method of Forming Road Surface Replicas Using 3D Printing Technology// Coatings -Vol. 14,iss. 11 (2024), s.1455-

Aleksandra Panek, Marianna Jacyna, Mariusz Wasiak

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

e-mail: aleksandra.panek@pw.edu.pl

Zastosowanie metod wielokryterialnych i symulacji komputerowej do oceny niezawodności i efektywności procesów magazynowych

Słowa kluczowe: niezawodność, ocena wielokryterialna, procesy magazynowe

Wprowadzenie

Zapewnienie wysokiej niezawodności procesów magazynowych stanowi istotne wyzwanie dla współczesnych operatorów logistycznych, szczególnie w warunkach rosnącej zmienności popytu oraz presji na skracanie czasu realizacji zamówień. Skuteczność operacyjna magazynu zależy nie tylko od doboru odpowiedniej technologii realizacji prac ładunkowych, przewozu i składowania, ale również od jej odporności na zakłócenia i stabilności działania w dłuższym horyzoncie czasu. Ocenę takich rozwiązań wspierają techniki komputerowe, umożliwiające analizę dużych zbiorów danych oraz odwzorowanie rzeczywistych procesów z wykorzystaniem modeli symulacyjnych [1].

Problem badawczy i metoda badawcza

Badania koncentrują się na opracowaniu modelu wspomagającego wybór technologii realizacji operacji magazynowych z uwzględnieniem kryteriów efektywnościowych i niezawodnościowych. Zaprojektowano wielokryterialny model oceny, który umożliwia porównanie alternatywnych wariantów technologicznych i ich rangowanie zgodnie z priorytetami decydenta. W drugim etapie oceny, konfiguracje technologiczne zostały poddane analizie dynamicznej w środowisku symulacyjnym FlexSim, co pozwoliło zweryfikować wpływ niepewności procesowych, zmiennego natężenia przepływu, awaryjności urządzeń oraz obciążenia pracą na rzeczywistą wydajność systemu [3]. Integracja metody wielokryterialnej z symulacją komputerową zapewnia kompleksowy obraz funkcjonowania rozważanych wariantów.

Wyniki

Przeprowadzona analiza pozwoliła na identyfikację technologii najbardziej odpornych na zakłócenia operacyjne oraz charakteryzujących się stabilnym poziomem usług przy różnych scenariuszach obciążenia magazynu. Zastosowanie symulacji komputerowej umożliwiło wychwycenie wąskich gardeł, ocenę przepustowości oraz analizę wpływu awaryjności na kluczowe wskaźniki niezawodności, takie jak dostępność techniczna, średni czas realizacji zamówienia czy liczba przestojów [2]. Wyniki podkreślają znaczenie podejścia wielokryterialnego w procesie wyboru technologii, ponieważ priorytety decydenta (np. minimalizacja ryzyka przestoju vs. maksymalizacja wydajności) istotnie zmieniają ranking wariantów.

Wnioski i podsumowanie

Połączenie metody wielokryterialnej z symulacją komputerową stanowi skuteczne narzędzie oceny niezawodności technologii magazynowych. Uzyskane rezultaty potwierdzają, że dynamiczna analiza procesów w FlexSim znacząco wzbogaca klasyczne modele decyzyjne, umożliwiając uwzględnienie rzeczywistych zakłóceń, losowości operacji i zmienności obciążenia. Opracowany model może być stosowany jako uniwersalne narzędzie wspierające menedżerów w wyborze technologii zapewniającej wysoką niezawodność pracy magazynu, a jednocześnie może być rozwijany o kolejne kryteria i warianty w zależności od specyfiki przedsiębiorstwa.

Bibliografia

1. Panek, A., Jacyna, M., Jachimowski, R., & Szczepański, E. (2025). Reliability and efficiency in technology selection in logistics facilities—multi-criteria decision support using the AHP method. *Maintenance & Reliability/Eksplotacja i Niezawodność*, 27(2).
2. Zabielska, A., Jacyna, M., Lasota, M., i.in.: Evaluation of the efficiency of the delivery process in the technical object of transport infrastructure with the application of a simulation model. *Eksplotacja i Niezawodność*, 2023, 25(1).
3. Lasota, M., Jacyna, M., Wasiak, M., Zabielska, A.: The Use of Multi-criteria Methods in the Problem of Selecting Vehicles for Oversize Cargo Transport *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2023, 609 LNNS, pp. 22–47.

Aleksandra Panek, Marianna Jacyna, Mariusz Wasiak
Warsaw University of Technology, Faculty of Transport

e-mail: aleksandra.panek@pw.edu.pl

Application of multi-criteria methods and computer simulation to assess the reliability and efficiency of warehouse processes

Keywords: reliability, multi-criteria assessment, warehouse processes

Introduction

Ensuring high reliability of warehouse processes poses a significant challenge for modern logistics operators, particularly in the face of increasing demand volatility and pressure to shorten order fulfillment times. Warehouse operational efficiency depends not only on the selection of appropriate loading, transport, and storage technology, but also on its resilience to disruptions and long-term operational stability. The evaluation of such solutions is supported by computer techniques that enable the analysis of large data sets and the representation of real-world processes using simulation models [1].

Research problem and research methodology

The research focuses on developing a model to support the selection of warehouse operation technologies, taking into account efficiency and reliability criteria. A multi-criteria evaluation model was designed. The model enables the comparison of alternative technological options and their ranking according to the decision-maker's priorities. In the second stage of the evaluation, the technological configurations were subjected to dynamic analysis in the FlexSim simulation environment, which allowed for verification of the impact of process uncertainties, variable flow rates, equipment failure rates, and workload on actual system performance [3]. Integrating the multi-criteria method with computer simulation provides a comprehensive picture of the performance of the considered options.

Results

The analysis identified technologies most resilient to operational disruptions and characterized by stable service levels under various warehouse load scenarios. Computer simulation enabled the identification of bottlenecks, throughput assessment, and analysis of the impact of failure rates on key reliability indicators such as technical availability, average order fulfillment time, and the number of downtimes [2]. The results emphasize the importance of a multi-criteria approach in the technology selection process, as the decision-maker's priorities (e.g., minimizing downtime risk vs. maximizing efficiency) significantly alter the ranking of alternatives.

Conclusions

Combining the multi-criteria method with computer simulation provides an effective tool for assessing the reliability of warehouse technologies. The obtained results confirm that dynamic process analysis in FlexSim significantly enhances traditional decision-making models, enabling the consideration of real-world disruptions, operational randomness, and load variability. The developed model can be used as a universal tool to support managers in selecting technologies that ensure high warehouse operational reliability, and can be expanded to include additional criteria and variants depending on the specific nature of the company.

Literature

1. Panek, A., Jacyna, M., Jachimowski, R., & Szczepański, E. (2025). Reliability and efficiency in technology selection in logistics facilities—multi-criteria decision support using the AHP method. *Maintenance & Reliability/Eksploatacja i Niezawodność*, 27(2).
2. Zabielska, A., Jacyna, M., Lasota, M., i.in.: Evaluation of the efficiency of the delivery process in the technical object of transport infrastructure with the application of a simulation model. *Eksploatacja i Niezawodność*, 2023, 25(1).
3. Lasota, M., Jacyna, M., Wasiak, M., Zabielska, A.: The Use of Multi-criteria Methods in the Problem of Selecting Vehicles for Oversize Cargo Transport Lecture Notes in Networks and Systems, 2023, 609 LNNS, pp. 22–47.

Jacek Paś¹, Tomasz Klimczak²

¹ Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, ² Akademia Pożarnicza, Warszawa

e-mail: jacek.pas@wat.edu.pl

Niezawodność zasilania energetycznego w elektronicznych systemach bezpieczeństwa - wybrane aspekty techniczne

Słowa kluczowe: systemy bezpieczeństwa, zasilanie, niezawodność

Wprowadzenie

W artykule przedstawiono zagadnienia dotyczące realizacji zasilania energetycznego w elektronicznych systemach bezpieczeństwa (ESB). Zasilanie dla wszystkich ESB najczęściej jest realizowane z ogólnodostępnej przemysłowej sieci elektroenergetycznej. W ESB najczęściej zasilanie realizowane jest przez wydzielane źródła, które stanowią osobny, wydzielony moduł nadzorowany przez centralę alarmową (CA). Wszystkie zasilacze przeznaczone dla ESB projektowane są zawsze z wykorzystaniem zasady nadmiarowości – np. elementowej. Zasilacze powinny charakteryzować się odpowiednimi parametrami eksploatacyjno – niezawodnościowymi – np. wydajnością prądową, dopuszczalnymi tętnieniami, odpornością na przepięcia i zakłócenia przewodzone. Parametry eksploatacyjne i niezawodnościowe zasilaczy nie powinny ulegać zmianie dla różnych wariantów rozwiązań technicznych. W ESB można wyróżnić trzy różne sposoby rozwiązania zasilania: zintegrowane z płytą główną CA, zewnętrzne dołączane np. do modułów na pętlach dozorowych, oraz mieszane, najbardziej złożone. W tym przypadku zasilacz jest zintegrowany z płytą CA a ESB jest dodatkowo wspomagany źródłami zasilania o określonej wydajności zewnętrznymi.

Problem badawczy i metoda badawcza

Przeprowadzono badania eksploatacyjno-techniczne zasilaczy wykorzystywanych w ESB. Określono podstawowe parametry techniczne zasilaczy, które są przeznaczone do funkcjonowania w różnych strukturach ESB, tj. skupionych, rozproszonych i mieszanych. Wykorzystując opracowane modele niezawodnościowe dla różnych struktur zasilania przeprowadzono symulację komputerową i określono wskaźniki niezawodnościowe dla ciągłości dostaw energii elektrycznej dla wszystkich elementów znajdujących się na liniach i pętlach dozorowych ESB dla wymaganego czasu operacyjnego funkcjonowania tych obiektów technicznych. W przypadku symulacji komputerowej zasilaczy i ESB wykorzystano założenie stałej wartości intensywności λ uszkodzeń - elementy ESB, w tym zasilacze podlegają wstępnemu starzeniu.

Wyniki

Przeprowadzone symulacje komputerowe dla wybranych modeli zasilania ESB oraz wykonane badania laboratoryjne parametrów technicznych potwierdzają stosowanie odpowiednich rozwiązań technicznych i niezawodnościowych już na wczesnym etapie konstrukcji tych urządzeń. Zastosowanie znanej zasady nadmiarowości w konstrukcji zasilaczy (np. elementowa, wytrzymałościowa, parametryczna, itd.) powoduje znaczne zwiększenie wartości prawdopodobieństwa $R_o(t)$, tj. funkcji prawdopodobieństwa przebywania całego ESB w stanie pełnej zdatności Sp_z dla istniejącego naturalnego środowiska elektromagnetycznego. Parametry techniczne napięcia wyjściowego badanych zasilaczy ESB z układem stabilizatora charakteryzują się dużym współczynnikiem stabilizacji $S = [\Delta U_{wej}/\Delta U_{wyj}]$, rzędu 120, co umożliwia poprawne funkcjonalnie systemu zasilania nawet przy dużej zmianie napięcia wejściowego.

Wnioski i podsumowanie

Przedstawione w artykule badania oraz symulacje komputerowe różnych modeli zasilania zintegrowanego, zewnętrznego oraz mieszanego ESB potwierdzają, iż w systemach są używane zasilacze charakteryzujące się odpowiednimi parametrami technicznymi i niezawodnościowymi. Zastosowanie dodatkowych filtrów EMC, mikroprocesorowej diagnostyki najważniejszych parametrów technicznych, temperatury, napięć i prądów w odpowiednich węzłach połączeń zasilaczy przyczynia się do zmniejszenia zakłóceń funkcjonowania tego modułu przy zmianach np. napięcia wejściowego.

Bibliografia

1. Paś, J.; Klimczak, T.; Rosiński, A.; Stawowy, M. (2022) The Analysis of the Operational Process of a Complex Fire Alarm System Used in Transport Facilities. Build. Simul. 2022, 15, pp. 615–629.
2. Klimczak T., Paś J. (2018) Podstawy eksploatacji systemów sygnalizacji pożarowej w obiektach transportowych, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa.

Jacek Paś¹, Tomasz Klimczak²

¹ Military University of Technology, Faculty of Electronics, ² Fire University, Warsaw

e-mail: jacek.pas@wat.edu.pl

Power supply reliability in electronic security systems – selected technical aspects

Keywords: security systems, power supply, reliability

Introduction

The paper discusses issues related to the implementation of power supply in electronic security systems (ESS). The power supply for all ESSs is most commonly provided from the public industrial power grid. In an ESS, the power supply is usually provided by separate sources, which constitute a separate, dedicated module supervised by an alarm control panel (ACP). All power supplies designed for ESSs are always designed using the principle of redundancy, e.g. component redundancy. Power supplies should have appropriate operating and reliability parameters, e.g. current efficiency, permissible ripple, resistance to overvoltage and conducted interference. The operating and reliability parameters of power supplies should not change for various technical solutions. Three different power supply solutions can be distinguished in ESSs: those integrated with the ACP's main board, external ones connected for example to modules on detection loops, and mixed systems, which are the most complex. In the latter case, the power supply unit is integrated with the ACP, while the ESS is additionally supported by external power sources of specified capacity.

Research problem and research methodology

Operational and technical tests were carried out on power supplies used in ESSs. The basic technical parameters of power supplies designed to operate in various ESS structures, i.e. concentrated, distributed and mixed, were determined. Using the developed reliability models for different power supply structures, a computer simulation was performed and reliability indicators for the continuity of electricity supply were determined for all components located on ESS lines and surveillance loops for the required operating time of these technical facilities. In the computer simulation of power supplies and ESS, a constant failure rate λ was assumed - the components of the ESS, including power supplies, were subject to initial aging.

Results

Computer simulations carried out for selected ESS power supply models, along with laboratory tests of their technical parameters, confirm the importance of applying appropriate technical and reliability solutions already at the early design stage of these devices. The use of the well-known principle of redundancy in power supply design (e.g. component, strength, or parametric redundancy) significantly increases the probability function $RO(t)$, i.e. the probability of the entire ESS remaining in a fully operational state (SFO) under existing natural electromagnetic conditions. The technical parameters of the output voltage of the tested ESS power supplies equipped with a voltage stabilizer are characterized by a high stabilization coefficient $S = [\Delta U_{in}/\Delta U_{out}]$, of about 120, which ensures correct operation of the power system even under substantial input voltage fluctuations.

Conclusions

The presented research and computer simulations of various models of integrated, external and mixed ESS power supplies confirm that the systems use power supplies with appropriate technical and reliability parameters. The use of additional EMC filters, microprocessor diagnostics of the most important technical parameters, temperature, voltages and currents in the appropriate power supply connection nodes contributes to reducing disturbances in the functioning of this module when, for example, the input voltage changes.

Literature

1. Paś, J.; Klimczak, T.; Rosiński, A.; Stawowy, M. (2022) The Analysis of the Operational Process of a Complex Fire Alarm System Used in Transport Facilities. *Build. Simul.* 2022, 15, pp. 615–629.
2. Klimczak T., Paś J. (2018) *Podstawy eksploatacji systemów sygnalizacji pożarowej w obiektach transportowych*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa.

Piotr Pelechaty, Łukasz Konieczny

Politechnika Śląska, Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej

e-mail: piotr.pelechaty@polsl.pl

Ocena ryzyka systemu diagnostyki pokładowej (OBD) w pojeździe

Słowa kluczowe: diagnostyka, OBD, cyberbezpieczeństwo

Wprowadzenie

Systemy mechatroniczne pojazdów samochodowych nadzorowane są przez komputery pokładowe, stanowiące systemy wbudowane. Ich działanie opiera się w głównej mierze na dedykowanym oprogramowaniu. Aby zapewnić niezawodność tych systemów, implementuje się w nich złożone funkcje samodiagnostyki. System diagnostyczny, udostępniający interfejsy w postaci fizycznego złącza OBD oraz diagnostyki zdalnej (przez sieć komórkową), generuje ryzyko ataków cybernetycznych na pojazd.

Problem badawczy i metoda badawcza

Artykuł przedstawia ocenę bezpieczeństwa systemu diagnostyki pokładowej (OBD) zintegrowanego z elektronicznymi jednostkami sterującymi pojazdu. W ramach badań opisano i symulowano prototypowy sterownik zarządzania akumulatorem pojazdu elektrycznego oraz jego kontekst operacyjny. Standardowe złącze OBD i bezprzewodowy interfejs diagnostyczny są połączone ze modelowanym sterownikiem BMS (Battery Management System). Celem badań jest identyfikacja i ocena luk w zabezpieczeniach wszystkich funkcjonalności OBD oraz zalecenie potencjalnych strategii ograniczania i redukcji ryzyka do wdrożenia w oprogramowaniu. Przeprowadzono proces analizy zagrożeń i oceny ryzyka (TARA) zgodnie z normą ISO 21434, dotyczącą inżynierii cyberbezpieczeństwa w pojazdach drogowych [1]. Analiza zakłada implementację standardowych protokołów diagnostyki OBD oraz UDS bazujących na systemie AUTOSAR [2][3][4].

Wyniki

Autorzy zidentyfikowali główne zasoby wymagające ochrony w sterowniku BMS (ECU) i zidentyfikowali scenariusze uszkodzeń, z których niektóre znacząco wpływają na bezpieczeństwo lub eksploatację pojazdu. W trakcie analizy obliczono wskaźniki wykonalności dla różnych ścieżek ataku. Na podstawie oceny ryzyka autorzy rekomendują ulepszenia oprogramowania w celu ograniczenia zidentyfikowanych potencjalnych ataków.

Wnioski i podsumowanie

Śród analizowanych scenariuszy ataków na systemy OBD, pięć wykazało poważny wpływ na bezpieczeństwo, po ufności danych lub funkcjonowanie sterownika. Wyniki wskazują, że ataki lokalne (z wykorzystaniem fizycznego złącza OBD) generują wyższe ryzyko niż ataki zdalne (realizowane przez sieć komórkową). W celu minimalizacji zagrożeń kluczowa jest poprawa implementacji procesu uwierzytelniania (usługa *0x27 Security Access*) w protokole UDS. Ryzyko to można skutecznie zredukować poprzez zwiększenie nakładów na poprawną implementację i weryfikację oprogramowania.

Bibliografia

1. ISO/SAE 21434:2021 Road vehicles - Cybersecurity engineering.
2. ISO 14229-1:2020 Road vehicles - Unified diagnostic services (UDS) — Part 1: Application layer.
3. ISO 15031-5:2015 Road vehicles - Communication between vehicle and external equipment for emissions-related diagnostics. Part 5: Emissions related diagnostic services.
4. AUTOSAR GbR. 2019. Specification of Diagnostic Communication Manager. AUTOSAR CP R19-11. http://www.autosar.org/fileadmin/standards/classic/1911/AUTOSAR_SWS_DiagnosticCommunicationManager.pdf



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Piotr Pelechaty, Łukasz Konieczny

Silesian University of Technology, Faculty of Transport and Aviation Engineering

e-mail: piotr.pelechaty@polsl.pl

Vehicle On-Board Diagnostic system (OBD) risk assessment

Keywords: diagnostics, OBD, cybersecurity

Introduction

Automotive mechatronic systems are supervised by on-board computers acting as embedded systems. Their operation relies primarily on dedicated software. To ensure the reliability of these systems, complex self-diagnostic functions are implemented. The diagnostic system, which provides interfaces via a physical OBD port and remote diagnostics (via cellular networks), creates a risk of cyberattacks on the vehicle.

Research problem and research methodology

The article presents a security assessment of the On-Board Diagnostics (OBD) system integrated with the vehicle's Electronic Control Units (ECUs). The study describes and simulates a prototype electric vehicle Battery Management System (BMS) controller along with its operational context. A standard OBD connector and a wireless diagnostic interface are connected to the modeled BMS controller. The aim of the research is to identify and assess vulnerabilities in all OBD functionalities and to recommend potential risk mitigation strategies for software implementation. A Threat Analysis and Risk Assessment (TARA) process was conducted in accordance with the ISO 21434 standard regarding road vehicle cybersecurity engineering [1]. The analysis assumes the implementation of standard OBD and UDS diagnostic protocols based on the AUTOSAR architecture [2][3][4].

Results

The authors identified key assets requiring protection within the BMS controller (ECU) and defined damage scenarios, some of which significantly impact vehicle safety or operation. During the analysis, attack feasibility ratings were calculated for various attack paths. Based on the risk assessment, the authors recommend software improvements to mitigate the identified potential attacks.

Conclusions

Among the analyzed cyberattack scenarios on OBD systems, five proved to have a severe impact on safety, data confidentiality, or controller functionality. The results indicate that local attacks (using the physical OBD port) pose a higher risk than remote attacks (executed via cellular networks). To minimize threats to diagnostic systems, it is crucial to improve the implementation of the authentication process (Service 0x27 Security Access) within the UDS protocol. The risk of the identified threats can be effectively reduced by increasing investment in correct software implementation and verification.

Literature

1. ISO/SAE 21434:2021 Road vehicles - Cybersecurity engineering.
2. ISO 14229-1:2020 Road vehicles - Unified diagnostic services (UDS) — Part 1: Application layer.
3. ISO 15031-5:2015 Road vehicles - Communication between vehicle and external equipment for emissions-related diagnostics. Part 5: Emissions related diagnostic services.
4. AUTOSAR GbR. 2019. Specification of Diagnostic Communication Manager. AUTOSAR CP R19-11. http://www.autosar.org/fileadmin/standards/classic/1911/AUTOSAR_SWS_DiagnosticCommunicationManager.pdf

Robert Pilch ¹, Stanisław Młynarski ², Jan Szybka ³, Grzegorz Wiązania ¹

¹ AGH w Krakowie, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, ² Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny, ³ Akademia Tarnowska w Tarnowie, Wydział Politechniczny

e-mail: pilch@agh.edu.pl

Ocena niezawodności układów z adaptacyjną dyskretyzacją kroku czasowego

Słowa kluczowe: niezawodność, adaptacyjna dyskretyzacja czasu, układy odnawialne

Wprowadzenie

Rozwój metod oceny niezawodności współczesnych złożonych systemów technicznych zmierza w kierunku poprawy wydajności oraz dokładności obliczeniowej. W artykule przedstawiono koncepcję modelu obliczeniowego do oceny niezawodności i gotowości układów z odnawialnymi elementami. Cechą charakterystyczną opracowanego modelu jest adaptacyjna dyskretyzacja długości kroku czasowego w trakcie obliczeń. Celem jej wprowadzenia jest zwiększenie dokładności obliczeniowej i skrócenie czasu trwania obliczeń. Efekty te uzyskiwane są poprzez stosowanie maksymalnej założonej wartości kroku czasowego gdy prawdopodobieństwa zmiany stanów w układzie są bardzo małe. Przy większych wartościach prawdopodobieństw zmiany stanu długość kroku czasowego w obliczeniach jest zmniejszana.

Problem badawczy i metoda badawcza

Ocena niezawodności oraz gotowości złożonych układów technicznych z wykorzystaniem metod symulacyjnych jest realizowana najczęściej jako symulacja z założonym stałym krokiem czasowym lub symulacja z dynamicznie dobieranym krokiem wynikającym z pojawiania się losowanych zdarzeń [1]. W przypadku stałego kroku czasowego występuje problem konieczności przyjęcia długości tego kroku [1, 2]. Jego wartość wpływa na dokładność uzyskiwanych oszacowań oraz czas trwania realizowanego eksperymentu [2]. Jako interesujące podejście zaproponowano metodę, w której dyskretyzacja długości kroku czasowego jest adaptacyjnie zmieniana. Wstępnie przyjęta stała wartość kroku czasowego jest zmniejszana jeśli prawdopodobieństwo zmiany stanu układu w danym etapie symulacji jest większe od przyjętej granicznej wartości prawdopodobieństwa. Zmniejszanie kroku odbywa się tak długo aż prawdopodobieństwo zmiany stanu układu w tym etapie zmniejszy się do wartości mniejszej od założonej granicznej. Dopiero wtedy realizowane są odpowiednie losowania w symulacji. Przyjęto, że zmniejszanie kroku czasowego odbywa się zawsze na zasadzie podziału na połowę ostatniej wartości kroku czasowego. W ten sposób, w zakresach gdy zmiany stanu układu są bardziej prawdopodobne, chwile występowania zdarzeń przy małych krokach czasowych będą bardziej precyzyjnie rejestrowane. Prowadzić to będzie do zwiększenia dokładności finalnych oszacowań. Natomiast zmniejszenie liczby operacji losowania i sprawdzania zajścia zdarzeń, w zakresach czasowych gdzie zmiany stanu układu są mało prawdopodobne, powinno prowadzić do zmniejszania czasu trwania eksperymentu numerycznego.

Wyniki

Uzyskane wyniki obliczeń obejmują oszacowania niezawodności i gotowości wybranych układów. Zakładane na wejściu graniczne wartości prawdopodobieństwa oraz podstawowa wartość kroku czasowego, która w trakcie eksperymentu ulega adaptacji, pozwalają użytkownikowi wpływać na dokładność obliczeń oraz czas trwania eksperymentu. Wstępne wyniki obliczeń i porównanie z innymi metodami obliczeń potwierdzają poprawność obliczeniową zaproponowanej metody oraz uzyskanie oczekiwanych pozytywnych efektów.

Wnioski i podsumowanie

Zaproponowana metoda jest rozwinięciem klasycznej metody symulacji ze stałym krokiem czasowym i stanowi przyczynek w rozwoju tych metod. Wprowadzenie adaptacyjnej zmiany kroku czasowego daje możliwość precyzyjniejszego modelowania systemów rzeczywistych a także bardziej efektywnej realizacji eksperymentu obliczeniowego godząc przeciwstawne aspekty związane z dokładnością i czasem trwania obliczeń w symulacji.

Bibliografia

1. Faulin J., Juan Perez A.A., Martorell Alsina S.S., Ramirez-Marquez J.E. [red.] (2010). Simulation Methods for Reliability and Availability of Complex Systems, Springer, London, New York.
2. Młynarski S., Pilch R., Smolnik M., Szybka J., Wiązania G. (2019). A method for rapid evaluation of k-out-of-n systems reliability. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability, 21, (1): 170–176.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Robert Pilch¹, Stanisław Młynarski², Jan Szybka³, Grzegorz Wiązania¹

¹ AGH University of Krakow, Faculty of Mechanical Engineering and Robotics, ² Cracow University of Technology, Mechanical Faculty, ³ University of Applied Sciences in Tarnow, Polytechnic Faculty

e-mail: pilch@agh.edu.pl

Reliability assessment of systems with adaptive time step discretization

Keywords: reliability, adaptive time discretization, renewable systems

Introduction

The development of reliability assessment methods for modern complex technical systems is aimed at improving efficiency and computational accuracy. This article presents the concept of a computational model for assessing the reliability and availability of systems with renewable elements. A characteristic feature of the developed model is the adaptive discretization of the time step length during calculations. The goal is to increase computational accuracy and shorten computation time. These effects are achieved by using the maximum assumed time step length when the probabilities of state changes in the system are very small. For higher values of state change probabilities, the length of the time step in the calculations is reduced.

Research problem and research methodology

The reliability and availability assessment of complex technical systems using simulation methods is most often performed as a simulation with an assumed constant time step length or a simulation with a dynamically selected time step length resulting from the occurrence of random events [1]. In the case of a constant time step length, the problem arises of the necessity to assume the length of this step [1, 2]. Its value influences the accuracy of the obtained estimates and the duration of the experiment [2]. An interesting approach has been proposed in which the discretization of the time step length is adaptively changed. The initially assumed constant time step length is reduced if the probability of a change in the system state, at a given simulation stage, is greater than the assumed probability threshold. The time step length is reduced until the probability of a change in the system state at that stage is reduced to a value less than the assumed threshold. Only then are appropriate randomizations performed in the simulation. It is assumed that the time step length reduction is always performed by dividing the last time step length by half. In this way, in time ranges where changes in the system state are more likely, the timing of events at small time steps will be recorded more precisely. This will lead to increased accuracy of the final estimates. Reducing the number of sampling and event checking operations in time ranges where changes in the system state are unlikely should lead to a reduction in the duration of the numerical experiment.

Results

The obtained calculation results include estimates of the reliability and availability of selected systems. The assumed input probability limits and the basic time step length value, which adapts during the experiment, allow the user to influence the calculation accuracy and experiment duration. Preliminary calculation results and comparison with other calculation methods confirm the computational accuracy of the proposed method and the achievement of the expected positive results.

Conclusions

The proposed method is an extension of the classical simulation method with a constant time step and is a contribution to the development of these methods. The introduction of adaptive time step change enables more precise modeling of real systems and more efficient implementation of computational experiments, reconciling the opposing aspects of accuracy and computational time in simulation.

Literature

1. Faulin J., Juan Perez A.A., Martorell Alsina S.S., Ramirez-Marquez J.E. [red.] (2010). Simulation Methods for Reliability and Availability of Complex Systems, Springer, London, New York.
2. Młynarski S., Pilch R., Smolnik M., Szybka J., Wiązania G. (2019). A method for rapid evaluation of k-out-of-n systems reliability. *Eksploracja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 21, (1): 170–176.

Piotr Pryciński, Jarosław Korzeb

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

e-mail: piotr.prycinski@pw.edu.pl

Wybrane aspekty starzenia się środków transportu w kontekście oddziaływania pojazdów na otoczenie

Słowa kluczowe: starzenie się pojazdów, emisja zanieczyszczeń powietrza, hałas, drgania

Wprowadzenie

W zależności od sposobu eksploatacji, przebiegu przeglądów okresowych i napraw głównych, żywotność pojazdów i ich niezawodność zmienia się w czasie. Eksploatacja pojazdów w dłuższym okresie czasu wpływa także na zmieniające się ich oddziaływanie na środowisko w zakresie emisji zanieczyszczeń powietrza, a także przyczynia się do oddziaływań w postaci zwiększonego poziomu drgań i hałasu generowanych przez pojazdy. Zwłaszcza hałas i drgania przedkładają się na komfort podróżowania pasażerów. Zagadnienie starzenia się układów oraz urządzeń mechanicznych jest zagadnieniem znanym, stanowi istotny etap w eksploatacji każdego urządzenia. W artykule przedstawiono zagadnienie starzenia się pojazdów drogowych w połączeniu z wpływem pojazdów na otoczenie zewnętrzne. Wpływ środków transportu na otoczenie określa się poprzez wielkość emitowanych zanieczyszczeń powietrza, a także wielkość generowanych drgań i hałasu.

Problem badawczy i metoda badawcza

W zagadnieniu oddziaływania technicznych środków transportu na otoczenie zwraca się zazwyczaj uwagę na typ materiałów pędnych, warunki zewnętrzne wykonywanej pracy przewozowej, typ środka transportu. Rzadziej weryfikacji podlega stan techniczny pojazdu, wiek eksploatacyjny pojazdów, a także sposób ich eksploatacji i konserwacji. Przedmiotem artykułu jest zbadanie zagadnienia wpływu stopnia wyeksploatowania pojazdu na poziom emisji zanieczyszczeń generowanych do otoczenia przez pojazdy transportu drogowego, a także na poziom generowanego hałasu i drgań. Metoda badawcza przyjęta w artykule bazuje na kompleksowym i panoramicznym przeglądzie literatury przedmiotu w zakresie zagadnienia starzenia się pojazdów, wpływu tego zjawiska na emisję zanieczyszczeń powietrza, generowane drgania i hałas, a także na niezawodność środków transportu. Metoda badawcza obejmuje kilka kluczowych etapów. Pierwszym etapem jest kompleksowy przegląd baz naukowych tj. Scopus oraz Web of Science. W oparciu o wyniki przeszukiwania baz naukowych, po słowach kluczowych istotnych z punktu widzenia tematyki artykułu, dokonany zostanie autorski przegląd wybranych aspektów starzenia się pojazdów w kontekście oddziaływania środków transportu na otoczenie. Artykuły naukowe wytypowane do szczegółowej analizy, po panoramicznym przeglądzie zostaną pogrupowane i scharakteryzowane pod kątem podejmowanej tematyki.

Wyniki

W skutek przeglądu literatury, zidentyfikowane zostaną obszary, w ramach których możliwe są dalsze badania w zakresie oceny wpływu wieku eksploatacyjnego pojazdów na otoczenie i niezawodność. Kompleksowy przegląd opracowań naukowych posłuży do podjęcia dalszych działań w zakresie praktycznej weryfikacji wpływu starzenia się pojazdów na niezawodność pojazdów drogowych i ich kompleksowe oddziaływanie na otoczenie.

Bibliografia

1. Pielecha, J., Pryciński, P. (2025). Deterioration of Exhaust Emissions in Ageing Gasoline Vehicles Assessed by RDE Testing. *Energies*, 18(21), 5822. <https://doi.org/10.3390/en18215822>.
2. Pryciński, P., Pielecha, J., Korzeb, J., Jachimowski, R., Pielecha, P. (2025). Impact of Vehicle Aging and Mileage on Air Pollution Emissions. *Energies*, 18, 939. <https://doi.org/10.3390/en18040939>.
3. Sancho, S., Gaja, E., Peral-Orts, R., Clemente, G., Sanz, J., Velasco-Sánchez, E. (2017). Analysis of the sound level emitted by the vehicle in relation to its age. *Applied Acoustics*, 126, 162-169.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Piotr Pryciński, Jarosław Korzeb

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

e-mail: piotr.prycinski@pw.edu.pl

Selected aspects of aging means of transport in the context of the impact of vehicles on the environment

Keywords: vehicle aging, air pollutant emissions, noise, vibrations

Introduction

Depending on the type of operation, periodic inspections, and major repairs, the service life and reliability of a vehicle change over time. Long-term vehicle operation also influences their changing environmental impact in terms of air pollutant emissions and contributes to increased vehicle noise and vibration levels. Noise and vibration, in particular, impact passenger comfort. The issue of aging in mechanical systems and devices is a well-known concern and constitutes a significant factor in the operation of any device. This article examines the environmental impact of aging road vehicles. The effect of transportation on the environment is influenced by the level of air pollutants emitted, as well as the levels of vibration and noise generated.

Research problem and research methodology

When considering the environmental impact of technical means of transport, attention is typically paid to the type of fuel used, the external conditions of the transport operation, and the type of vehicle. Less frequently, the technical condition of the vehicle, its operational age, and the manner in which it is operated and maintained are examined. The subject of this article is to explore the impact of vehicle age on the level of pollutant emissions generated by road transport vehicles into the environment, as well as on the level of generated noise and vibration. The research method employed in this article is based on a comprehensive review of the literature on vehicle aging, its impact on air pollutant emissions, generated vibrations and noise, and the reliability of transport vehicles. The research method comprises several key stages. The first stage involves a comprehensive review of scientific databases, including Scopus and Web of Science. Based on the results of the scientific database search, the authors will conduct a review of selected aspects of vehicle aging in the context of the environmental impact of transportation, using keywords relevant to the article's topic. Following a comprehensive review, the selected scientific articles will be grouped and characterized in terms of their subject matter for detailed analysis.

Results

The literature review will identify areas where further research is needed to assess the impact of vehicle operating age on environmental and reliability factors. A comprehensive review of scientific studies will be conducted to inform further practical verification of the effects of vehicle aging on road vehicle reliability and its overall environmental implications.

Literature

1. Pielecha, J., Pryciński, P. (2025). Deterioration of Exhaust Emissions in Ageing Gasoline Vehicles Assessed by RDE Testing. *Energies*, 18(21), 5822. <https://doi.org/10.3390/en18215822>.
2. Pryciński, P., Pielecha, J., Korzeb, J., Jachimowski, R., Pielecha, P. (2025). Impact of Vehicle Aging and Mileage on Air Pollution Emissions. *Energies*, 18, 939. <https://doi.org/10.3390/en18040939>.
3. Sancho, S., Gaja, E., Peral-Orts, R., Clemente, G., Sanz, J., Velasco-Sánchez, E. (2017). Analysis of the sound level emitted by the vehicle in relation to its age. *Applied Acoustics*, 126, 162-169.

Franciszek J. Restel

Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, Katedra Eksploatacji Systemów Technicznych

e-mail: franciszek.restel@pwr.edu.pl

Badania eksploatacyjne zdarzeń niepożądanych zakłócających ruch pociągów na linii szybkiej kolei miejskiej z wyczerpaną przepustowością

Słowa kluczowe: badania eksploatacyjne, system kolejowy, zdarzenia niepożądane

Wprowadzenie

Systemy kolejowe z wyczerpaną przepustowością realizują przewozy z gęstością ruchu przekraczającą wartości graniczne wskazywane przez standardy UIC mówiące o maksymalnie 80% czasu zajętości szlaku w rozpatrywanym okresie. W godzinach szczytu pociągi w takich systemach przeprawiane są w minimalnym odstępzie z minimalnymi możliwymi rezerwami. W efekcie każde zdarzenie niepożądane skutkuje długotrwałą propagacją zakłóceń. W związku z tym badanie zdarzeń niepożądanych jest uzasadnione. Celem przedstawionego badania była identyfikacja potencjalnych czynników wpływających na punktualność wybranej szybkiej kolei miejskiej w Europie zachodniej. Badany system wykorzystuje trzy punkty styku z konwencjonalną siecią kolejową, a pociągi kursujące po analizowanym odcinku mają najczęściej wydłużone relacje poza granicami miasta. Wówczas kursują w standardzie ekspresów regionalnych, częściowo o charakterze międzynarodowym.

Problem badawczy i metoda badawcza

W badaniu wykorzystano cztery bazy danych. Pierwsza baza dotyczy przebiegów pociągowych, w której uwzględniane są planowane i rzeczywiste czasy przejazdu, wartości odchyłek oraz informacja o pojazdach prowadzących dany pociąg (lokomotywa z wagonami piętrowymi albo jeden pośród trzech możliwych typów zespołów trakcyjnych). Baza przebiegów pociągowych nie zawiera jednak zdarzeń niepożądanych. Kolejna baza zawiera informacje na temat zdarzeń niepożądanych. Uwzględnia ona lokalizację zdarzenia, jego rodzaj i wynikające z niego opóźnienie. W tej bazie, dla badanego dnia, zarejestrowano 1610 zdarzeń. Wystąpiły one bezpośrednio na analizowanej linii albo dotyczyły pociągów, które wjechały na nią z opóźnieniem. Spośród 1610 zdarzeń, 747 miało miejsce na rozpatrywanym odcinku. W bazie 1056 z 1610 zdarzeń sklasyfikowano jako opóźnienia wtórne. Aby zidentyfikować rzeczywiste przyczyny źródłowe, zastosowano metodę obliczeń wstecznych w ramach narzędzi informatycznych zarządcy infrastruktury kolejowej. Wyniki tej procedury tworzą trzecią bazę danych wykorzystywaną w badaniu. Każde zdarzenie jest rozbijane na podzdarzenia, które wywołały skutki wtórne. Spośród 1056 zdarzeń wtórnych wyznaczono wstecznie 3393 zdarzeń pierwotnych. Spośród nich 1073 sklasyfikowano jako inne, niemożliwe do przypisania albo po prostu jako odchylenia bez precyzyjnego powodu. Kolejna wykorzystana baza danych dotyczy liczby pasażerów. Liczba pasażerów była dostępna dla 230 z 673 pociągów.

Wyniki

Zaobserwowano istotny wpływ dni tygodnia i miesięcy na wielkość zakłóceń w systemie. Zauważono także, że kierunek jazdy wpływa na występowanie opóźnień. W kierunku parzystym opóźnienia pozostają stabilne, natomiast w kierunku nieparzystym widoczna jest tendencja zmniejszania opóźnienia. W rozpatrywanym przypadku wynika to ze struktury wlotów i wylotów do analizowanego odcinka. Ponadto pociągi zespolone mają tendencję do zmniejszania opóźnień, podczas gdy pociągi piętrowe nie. Pociągi piętrowe zwiększają opóźnienie w kierunku parzystym, a w kierunku nieparzystym utrzymują je. Zaobserwowano również, że bufony czasowe wykorzystywane do kompensacji opóźnień są mniej efektywnie wykorzystywane wraz ze wzrostem wielkości opóźnienia. Natomiast obłożenie składu ma większy wpływ na opóźnienia wynikające z wymiany pasażerskiej niż sam strumień pasażerów. Ponadto wpływ jest większy w przypadku pociągów piętrowych niż w przypadku zespołów trakcyjnych. Obok rodzaju taboru cechy przystanków również wpływają na wielkość powstających opóźnień przy tych samych przepływach pasażerów i obłożeniu składu.

Wnioski i podsumowanie

Przedstawione zostały badania eksploatacyjne wysoko obciążonego systemu kolejowego w aspekcie czynników wpływających na występowanie i wielkość skutków zdarzeń niepożądanych. Przeprowadzone badanie miało charakter pilotażowy jako przygotowanie poszerzonych badań w obszarze odporności na zakłócenia systemu kolejowego.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Franciszek J. Restel

Wrocław University of Science and Technology, Faculty of Mechanical Engineering

e-mail: franciszek.restel@pwr.edu.pl

Operational research of undesirable events disrupting train traffic on a rapid urban rail line with exhausted capacity

Keywords: operational research, railway system, undesirable events

Introduction

A rail systems with exhausted capacity operates with traffic density exceeding the limits indicated by UIC standards, which indicate a maximum of 80% time occupancy of track during the period under consideration. During peak hours, trains in such systems run at minimal intervals with minimal possible margins. As a result, any undesirable event results in long-term disruption propagation. The aim of the presented study was to identify potential factors influencing the punctuality of a selected rapid urban rail system in Western Europe. The system under study utilizes three points of contact with the conventional rail network, and trains running on the analyzed section most often have extended connections outside the city borders. In such cases, they operate as regional express trains, some with an international character.

Research problem and research methodology

The study used four databases. The first database covers train runs, which includes planned and actual travel times, deviation values, and information about the vehicles leading a given train (a locomotive with double-deck cars or one of three possible types of multiple units). However, the train runs database does not contain adverse events. The second database contains information on adverse events. It takes into account the event location, type, and resulting delay. This database recorded 1610 events for the day under study. They either occurred directly on the analyzed line or involved trains that entered it late. Of the 1610 events, 747 occurred on the section under study. In the database, 1056 of the 1610 events were classified as secondary delays. To identify the actual root causes, a reverse calculation method was used within the railway infrastructure manager's IT tools. The results of this procedure form the third database used in the study. Each event is broken down into sub-events that triggered secondary effects. Of the 1056 secondary events, 3393 primary events were retroactively determined. Of these, 1073 were classified as other, unattributable, or simply as deviations without a precise cause. Another database used concerns passenger counts. Passenger counts were available for 230 of the 673 trains.

Results

A significant effect of the week day and month on the level of disruptions in the system was observed. It was also noted that the direction of travel affects the occurrence of delays. Delays remain stable in the even-numbered direction, while a tendency towards decreasing delays is visible in the odd-numbered direction. In the case under consideration, this results from the structure of the ingress and egress of the analyzed section. Furthermore, combined trains tend to reduce delays, while double-decker trains do not. Double-decker trains increase delays in the even-numbered direction, while maintaining them in the odd-numbered direction. It was also observed that time buffers used to compensate for delays are used less efficiently as the delay increases. However, train occupancy has a greater impact on delays resulting from passenger exchange than the passenger flow itself. Furthermore, the impact is greater for double-decker trains than for multiple units. In addition to the rolling stock type, stop characteristics also influence the magnitude of delays occurring for the same passenger flows and train occupancy.

Conclusions

Operational studies of a highly loaded railway system are presented, examining factors influencing the occurrence and severity of adverse events. The study was conducted as a pilot one, preparing for expanded research into the resilience and robustness of the railway system.

Mateusz Rożnowski, Dawid Szpak, Jakub Żywiec, Barbara Tchórzewska-Cieślak
Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, Katedra Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków

e-mail: m.roznowski@prz.edu.pl

Wielokryterialna metoda wspomagania decyzji w zakresie typowania przewodów wodociągowych do renowacji

Słowa kluczowe: FSAW, wymiana przewodów wodociągowych, wspomaganie decyzji

Wprowadzenie

Celem niniejszej pracy jest wykorzystanie wielokryterialnej metody wspomagania decyzji do wytypowania przewodów wodociągowych do renowacji bądź wymiany. Analiza została oparta na metodzie sumy ważonej w ujęciu rozmytym FSAW (ang. *Fuzzy Simple Additive Weighting Method*). W pracy zostały opracowane autorskie kryteria decyzyjne oraz wartości parametrów decyzyjnych dostosowane do analizowanej problematyki. Dodatkowo nowe podejście stanowi opracowanie funkcji umożliwiających wizualizację wyników badań w środowisku GIS, która stanowi istotne narzędzie zarządzania siecią wodociągową. Wizualizacja wyników badań na cyfrowej mapie sieci wodociągowej stanowi znaczne ułatwienie podczas wyznaczania przewodów przeznaczonych do renowacji na dużym obszarze.

Problem badawczy i metoda badawcza

Podjęty w pracy problem badawczy dotyczy typowania przewodów wodociągowych do renowacji lub wymiany. W tym celu zastosowano metodę FSAW, która daje możliwość uwzględnienia niepewności oraz nieprecyzyjności informacji w procesach decyzyjnych poprzez wykorzystanie trójkątnych liczb rozmytych dla ocen wariantów lub wag kryteriów decyzyjnych [1]. Kryteria uwzględnione w procesie decyzyjnym są następujące: materiał przewodu, wiek przewodu, ciśnienie w przewodzie, stan techniczny przewodu, średnica przewodu, funkcja przewodu, położenie przewodu względem drogi. Miary doboru poszczególnych kryteriów zostały określone na podstawie badań literaturowych oraz badań własnych dotyczących awaryjności przewodów wodociągowych.

Wyniki

Opracowano studium przypadku dla 9 wariantów przewodów wodociągowych. Na podstawie wykonanej analizy została określona kolejność renowacji lub wymiany badanych przewodów wodociągowych. W pierwszej kolejności powinien zostać wymieniony przewód wykonany z żeliwa szarego, który jest eksploatowany od 35 lat, charakteryzuje się wysokim wskaźnikiem intensywności uszkodzeń i znajduje się w pasie drogowym. Odcinki niewymagające wymiany to przewody wykonane z materiałów termoplastycznych (PE oraz PVC) charakteryzujące się krótkim czasem eksploatacji. Uzyskane wyniki są zgodne z wcześniejszymi badaniami prowadzonymi w tym zakresie [2].

Wnioski i podsumowanie

W pracy została przedstawiona wielokryterialna metoda wspomagania decyzji FSAW. Metoda została wykorzystana w celu wytypowania przewodów wodociągowych, które w pierwszej kolejności powinny zostać wymienione lub poddane renowacji. Przedstawione autorskie kryteria decyzyjne oraz wartości parametrów stanowią istotne narzędzie umożliwiające podjęcie działań w analizowanej problematyce. Ze względu na ograniczone środki inwestycyjne przedsiębiorstwa wodociągowe muszą starannie wybierać przewody, których eksploatacja stanowi zagrożenie dla utrzymania dostawy wody do odbiorców i które należy poddać renowacji. Dodatkowym efektem pracy jest opracowanie formuł obliczeniowych do wykorzystania w programie QGIS oraz wizualizacja wyników badań na cyfrowej mapie sieci wodociągowej. W celu zwiększenia wiarygodności opracowanej metody konieczna jest kontynuacja badań na większej próbie, np. na obszarze całej sieci wodociągowej oraz interpretacja otrzymanych wyników.

Bibliografia

1. Kacprzak, D. Metoda SAW z przedziałowymi danymi i wagami uzyskanymi za pomocą przedziałowej entropii shannona. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach 2018, 144–155.
2. Barfuss, S.L. Water Main Break Rates in the USA and Canada: A Comprehensive Study; Utah State University: Logan, UT, USA, 2023.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Mateusz Rożnowski, Dawid Szpak, Jakub Żywiec, Barbara Tchórzewska-Cieślak
Rzeszów University of Technology, Department of Water Supply and Sewage Systems

e-mail: m.roznowski@prz.edu.pl

Multi-criteria method for supporting decisions on selecting water pipes for renovation

Keywords: FSAW, replacement of water pipes, decision support

Introduction

The aim of this study is to use a multi-criteria decision support method to select water pipes for renovation or replacement. The analysis was based on the *Fuzzy Simple Additive Weighting Method* (FSAW). The paper presents original decision criteria and decision parameter values adapted to the analyzed issue. In addition, a new approach is the development of functions enabling the visualization of research results in a GIS environment, which is an important tool for water supply network management. The visualization of research results on a digital map of the water supply network greatly facilitates the identification of pipes for renovation over a large area.

Research problem and research methodology

The research problem addressed in this paper concerns the selection of water pipes for renovation or replacement. For this purpose, the FSAW method was used, which allows for the consideration of uncertainty and imprecision of information in decision-making processes through the use of triangular fuzzy numbers for the evaluation of variants or weights of decision criteria [1]. The criteria taken into account in the decision-making process are as follows: pipe material, pipe age, pipe pressure, pipe technical condition, pipe diameter, pipe function, pipe location in relation to the road. The measures for selecting individual criteria were determined on the basis of literature studies and our own research on the failure rate of water pipes.

Results

A case study was developed for nine variants of water pipes. Based on the analysis, the order of renovation or replacement of the tested water pipes was determined. The first to be replaced should be the gray cast iron pipe, which has been in service for 35 years, has a high damage intensity index, and is located in the road right-of-way. The sections that do not require replacement are pipes made of thermoplastic materials (PE and PVC), which have a short service life. The results obtained are consistent with previous studies conducted in this area [2].

Conclusions

The paper presents a multi-criteria decision support method called FSAW. The method was used to select water pipes that should be replaced or renovated first. The presented proprietary decision criteria and parameter values are an important tool for taking action in the analyzed issue. Due to limited investment resources, water supply companies must carefully select pipes whose operation poses a threat to the maintenance of water supply to consumers and which should be renovated. An additional result of the work is the development of calculation formulas for use in the QGIS program and the visualization of the research results on a digital map of the water supply network. In order to increase the reliability of the developed method, it is necessary to continue the research on a larger sample, e.g., on the entire water supply network, and to interpret the results obtained.

Literature

1. Kacprzak, D. Metoda SAW z przedziałowymi danymi i wagami uzyskanymi za pomocą przedziałowej entropii shannona. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach 2018, 144–155
2. Barfuss, S.L. Water Main Break Rates in the USA and Canada: A Comprehensive Study; Utah State University: Logan, UT, USA, 2023.

Mikołaj Rzepliński, Adrian Piątek, Paweł Susło

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

e-mail: mikołaj.rzeplinski.stud@pw.edu.pl

Wpływ automatyzacji systemów zarządzania ruchem lotniczym na bezpieczeństwo operacji lotniczych

Słowa kluczowe: automatyzacja, zarządzanie ruchem lotniczym, bezpieczeństwo

Wprowadzenie

Dynamiczny rozwój technologii informatycznych i systemów wspomagania decyzji doprowadził do rosnącej automatyzacji procesów w zarządzaniu ruchem lotniczym (ATM – ang. Air Traffic Management). Celem niniejszego opracowania jest analiza wpływu automatyzacji na bezpieczeństwo operacji lotniczych oraz zrozumienie, w jaki sposób wprowadzenie nowych technologii zmienia rolę kontrolera ruchu lotniczego [1, 3].

Problem badawczy i metoda badawcza

Problemem badawczym jest określenie, czy wzrost poziomu automatyzacji w systemach ATM prowadzi do poprawy bezpieczeństwa operacji lotniczych, czy też generuje nowe rodzaje zagrożeń. Artykuł ma charakter teoretyczny i opiera się na analizie literatury przedmiotu z lat 2019–2025, obejmującej badania dotyczące automatyzacji pracy kontrolerów, systemów wspomagania decyzji oraz rozwoju projektów takich jak SESAR i NextGen [2, 4].

Wyniki

Analiza wskazuje, że automatyzacja znacząco zwiększa efektywność zarządzania ruchem lotniczym poprzez redukcję liczby błędów operacyjnych, wzrost przepustowości przestrzeni powietrznej i poprawę precyzji przewidywania konfliktów [1]. Jednocześnie badania potwierdzają, że zbyt wysoki poziom zaufania do technologii może prowadzić do tzw. efektu „automatyzacyjnego samozadowolenia”, skutkującego obniżeniem czujności operatora i trudnościami w interwencji w sytuacjach kryzysowych [3, 4]. Wskazano również na znaczenie czynników ludzkich, takich jak percepcja ryzyka, komunikacja w zespole oraz interakcja człowiek–automat.

Wnioski i podsumowanie

Automatyzacja systemów ATM stanowi kluczowy kierunek rozwoju współczesnego lotnictwa, jednak jej wdrażanie wymaga zachowania równowagi między wsparciem technologicznym a czynnikiem ludzkim. Wyniki analiz sugerują konieczność dalszego doskonalenia interfejsów człowiek–maszyna, szkoleń kontrolerów oraz opracowania mechanizmów nadzoru nad autonomicznymi systemami decyzyjnymi [2]. W perspektywie długofalowej właściwe zarządzanie automatyzacją może znacząco podnieść poziom bezpieczeństwa operacji lotniczych, pod warunkiem zachowania roli człowieka jako ostatecznego decydenta.

Bibliografia

1. Wang Y., Hu R., Lin S., Schultz M., Delahaye D. (2021). The Impact of Automation on Air Traffic Controller's Behaviors. *Aerospace*, 8(9), 260.
2. Pńska-Chauvin E., Helmke H., Dokic J., Hartikainen P., Ohneiser O., García Lasheras R. (2023). Ensuring Safety for Artificial-Intelligence-Based Automatic Speech Recognition in Air Traffic Control Environment. *Aerospace*, 10(11), 941.
3. Svensson Å., Forsell C., Lundberg J., Rönnberg N. (2021). Automation, teamwork, and the feared loss of safety: Air traffic controllers' experiences and expectations on current and future ATM systems. In: *Proceedings of the 32nd European Conference on Cognitive Ergonomics ECCE '21*. ACM.
4. Langford K., Kille T., Lee S.-Y., Zhang Y., Bates P. R. (2022). "In automation we trust" – Australian air traffic controller perspectives of increasing automation in air traffic management. *Transport Policy*, 125, 352-362.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Mikołaj Rzepliński, Adrian Piątek, Paweł Susło
Warsaw University of Technology, Faculty of Transport
e-mail: mikolaj.rzeplinski.stud@pw.edu.pl

The Impact of Automation in Air Traffic Management Systems on the Safety of Air Operations

Keywords: automation, air traffic management, safety

Introduction

The dynamic development of information technologies and decision-support systems has led to the increasing automation of processes in air traffic management (ATM). The aim of this paper is to analyze the impact of automation on the safety of air operations and to understand how the introduction of new technologies changes the role of the air traffic controller [1, 3].

Research problem and research methodology

The core research problem is to determine whether the rising level of automation in ATM systems enhances the safety of air operations or introduces new types of risks. The article is theoretical in nature and is based on a literature review from the years 2019–2025, encompassing studies on controller task automation, decision-support systems, and the development of major initiatives such as SESAR and NextGen [2, 4].

Results

The analysis indicates that automation significantly improves the efficiency of air traffic management by reducing operational errors, increasing airspace capacity, and improving conflict prediction accuracy [1]. At the same time, studies confirm that excessive reliance on technology may lead to the so-called “automation complacency” effect, resulting in reduced operator alertness and difficulties in responding to critical situations [3, 4]. The importance of human factors is also highlighted, including risk perception, team communication, and human–automation interaction.

Conclusions

Automation of ATM systems represents a key direction in the development of modern aviation, but its implementation requires a careful balance between technological support and the human factor. The results suggest the need for further improvement of human–machine interfaces, controller training, and oversight mechanisms for autonomous decision-making systems [2]. In the long term, properly managed automation can significantly enhance the safety of air operations, provided the human remains the final decision-maker.

Literature

1. Wang Y., Hu R., Lin S., Schultz M., Delahaye D. (2021). The Impact of Automation on Air Traffic Controller’s Behaviors. *Aerospace*, 8(9), 260.
2. Pinska-Chauvin E., Helmke H., Dokic J., Hartikainen P., Ohneiser O., García Lasheras R. (2023). Ensuring Safety for Artificial-Intelligence-Based Automatic Speech Recognition in Air Traffic Control Environment. *Aerospace*, 10(11), 941.
3. Svensson Å., Forsell C., Lundberg J., Rönnberg N. (2021). Automation, teamwork, and the feared loss of safety: Air traffic controllers’ experiences and expectations on current and future ATM systems. In: *Proceedings of the 32nd European Conference on Cognitive Ergonomics ECCE '21*. ACM.
4. Langford K., Kille T., Lee S.-Y., Zhang Y., Bates P. R. (2022). “In automation we trust” – Australian air traffic controller perspectives of increasing automation in air traffic management. *Transport Policy*, 125, 352–362.

Mirosław Siergiejczyk ¹, Tadeusz Dąbrowski ², Jarosław Łukasiak ², Adam Rosiński ¹

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

² Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki

e-mail: adam.rosinski@pw.edu.pl

Analiza niezawodnościowa systemów sygnalizacji włamania i napadu

Słowa kluczowe: niezawodność, system sygnalizacji włamania i napadu, modelowanie

Wprowadzenie

Systemy Sygnalizacji Włamania i Napadu (SSWiN) są zaliczane do elektronicznych systemów bezpieczeństwa. Występujące obecnie liczne zagrożenia obiektów infrastruktury krytycznej, w tym także w obiektach transportowych, skutkują koniecznością zwiększenia poziomu bezpieczeństwa poprzez stosowanie SSWiN [2, 3]. Obiekty transportowe są zazwyczaj rozległe terytorialnie i umożliwiają świadczenie usług zarówno pasażerom jak i przewoźnikom. Z tego też względu, zapewnienie odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa pasażerom i ładunkom, wymaga racjonalnego projektowania SSWiN poprzez m.in. zastosowanie odpowiednich struktur niezawodnościowych.

Problem badawczy i metoda badawcza

Przeprowadzając analizę niezawodnościową systemów sygnalizacji włamania i napadu można wyróżnić określone struktury niezawodnościowe [1], które wpływają na poziom bezpieczeństwa chronionego obiektu. Poprzez zastosowanie nadmiarowości możliwe jest uzyskanie w SSWiN stanów częściowej zdatności, co jest istotne zwłaszcza w zabezpieczaniu obiektów transportowej infrastruktury krytycznej [4]. W ramach prac badawczych przeprowadzono modelowanie struktur niezawodnościowych najczęściej stosowanych systemów sygnalizacji włamania i napadu.

Wyniki

Przeprowadzone modelowanie struktur niezawodnościowych najczęściej stosowanych systemów sygnalizacji włamania i napadu umożliwiło wyznaczenie zależności, które pozwalają na obliczenie oczekiwanej wartości czasu przebywania SSWiN w stanach: zdatności, częściowej zdatności i niezdatności. Umożliwia to racjonalny dobór struktury SSWiN do chronionego obiektu transportowego.

Wnioski i podsumowanie

W opracowaniu przedstawiono problematykę modelowania niezawodnościowego struktur systemów sygnalizacji włamania i napadu. Stosowanie SSWiN w obiektach transportowych infrastruktury krytycznej jest konieczne, by zapewnić odpowiedni poziom bezpieczeństwa pasażerom i ładunkom.

Przeprowadzone przez autorów modelowanie i otrzymane zależności umożliwiające obliczenie oczekiwanej wartości czasu przebywania systemów sygnalizacji włamania i napadu w stanach zdatności, częściowej zdatności i niezdatności, umożliwiają racjonalny dobór struktur SSWiN w celu zapewnienia właściwego poziomu bezpieczeństwa obiektom transportowym zaliczanym do infrastruktury krytycznej.

Bibliografia

1. Będkowski L., Dąbrowski T., Podstawy eksploatacji, cz. II Podstawy niezawodności eksploatacyjnej, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa, 2006.
2. Paś J., Rosiński A., Wiśnios M., Majda-Zdanciewicz E., Łukasiak J., Elektroniczne systemy bezpieczeństwa. Wprowadzenie do laboratorium, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa, 2018.
3. PN-EN 50131-1:2009: Systemy alarmowe – Systemy sygnalizacji włamania i napadu – Część 1: Wymagania systemowe.
4. Rosiński A., Modelowanie bezpieczeństwa inteligentnych systemów transportowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2023.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Mirosław Siergiejczyk ¹, Tadeusz Dąbrowski ², Jarosław Łukasiak ², Adam Rosiński ¹

¹ Warsaw University of Technology, Faculty of Transport

² Military University of Technology, Faculty of Electronics

e-mail: adam.rosinski@pw.edu.pl

Reliability analysis of intruder and hold-up alarm systems

Keywords: reliability, intrusion and hold-up alarm system, modeling

Introduction

Intruder and hold-up alarm systems (I&HAS) are classified as electronic security systems. The numerous threats currently posed to critical infrastructure facilities, including transportation facilities, necessitate increasing security through the use of I&HAS [2, 3]. Transportation facilities are typically extensive and provide services to both passengers and carriers. Therefore, ensuring an adequate level of security for passengers and cargo requires rational I&HAS design, including the use of appropriate reliability structures.

Research problem and research methodology

When conducting a reliability analysis of intruder and hold-up alarm systems, specific reliability structures can be distinguished [1], that influence the security level of the protected facility. By employing redundancy, it is possible to achieve partial serviceability in the intruder and hold-up alarm system, which is particularly important in securing critical transport infrastructure facilities [4]. As part of the research, the reliability structures of the most commonly used intruder and hold-up alarm systems were modeled.

Results

The modeling of the reliability structures of the most commonly used intruder and hold-up alarm systems allowed us to determine relationships that allow us to calculate the expected time value of the I&HAS states of full ability, impendency over safety, and unreliability of safety. This allows for the rational selection of the I&HAS structure for the protected transport facility.

Conclusions

This paper presents the issues of reliability modeling of intruder and hold-up alarm system structures. The use of intruder and hold-up alarms in critical transport infrastructure facilities is necessary to ensure an adequate level of security for passengers and cargo.

The modeling conducted by the authors and the resulting relationships, enabling the calculation of the expected time value of intruder and hold-up alarm systems in the states of full ability, impendency over safety, and unreliability of safety, enable the rational selection of I&HAS structures to ensure the appropriate level of security for transport facilities classified as critical infrastructure.

Literature

1. Będkowski L., Dąbrowski T., The basis of exploitation, part II: The basis of exploational reliability, Military University of Technology, Warsaw, 2006. (in Polish)
2. Paś J., Rosiński A., Wiśnios M., Majda-Zdancewicz E., Łukasiak J., Electronic security systems. Introduction to the laboratory, Military University of Technology, Warsaw, 2018. (in Polish)
3. PN-EN 50131-1:2009: Alarm systems - Intrusion and hold-up systems - Part 1: System requirements. (in Polish)
4. Rosiński A., Modeling the safety of intelligent transportation systems, Publishing House Warsaw University of Technology, Warsaw, 2023. (in Polish)

Mirosław Sergiejczyk, Zbigniew Kasprzyk, Mariusz Rychlicki
Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

e-mail: zbigniew.kasprzyk@pw.edu.pl

Ocena dostępności sieci GSM-R na podstawie prognozowanych danych eksploatacyjnych

Słowa kluczowe: dostępność, system GSM-R, transport kolejowy

Wprowadzenie

Zgodnie z polityką Unii Europejskiej w zakresie transportu kolejowego, priorytetem jest utworzenie Europejskiego Systemu Kolejowego. Konieczność wdrażania systemu ERTMS (ang. *European Rail Traffic Management System*), będącego połączeniem systemów ETCS (ang. *European Train Control System*) i GSM-R (ang. *Global System for Mobile Communications - Railway*) wynika z przesłanek zarówno technicznych (postęp technologiczny w dziedzinie telekomunikacji i bezpiecznej kontroli jazdy pociągu), jak i legislacyjnych (konieczność wdrażania interoperacyjności, warunkowane przepisami prawa wspólnotowego i polskiego). Interoperacyjność odnosi się również do telekomunikacji – system GSM-R uznany został za interoperacyjny system radiołączności kolejowej na poziomie europejskim.

Problem badawczy i metoda badawcza

System GSM-R powstał w celu ułatwienia komunikacji pomiędzy operatorem centrali, maszynistą pociągu oraz organami operacyjnymi na całej trasie przejazdu [1]. Z uwagi na rolę systemu GSM-R w zagadnieniach związanych ze sterowaniem ruchem kolejowym i bezpieczeństwem ruchu kolejowego, imperatywne jest zapewnienie odpowiedniej niezawodności systemu. Kluczowym parametrem jest tu dostępność (gotowość), czyli prawdopodobieństwo, że obiekt będzie gotowy do pełnienia swych funkcji w chwili t . Wysoka dostępność systemu jest istotna z uwagi na specyfikę rozwiązań systemu ERTMS, który w dużej mierze działa bez udziału człowieka, opierając się na stałej aktualizacji danych, pozyskiwanych między innymi z wykorzystaniem systemu GSM-R. Przestoje systemu prowadzić mogą do błędów w komunikacji pomiędzy urządzeniami bądź personelem, co przyczynić się może do wystąpienia katastrofy kolejowej.

Wyniki

W pracy przedstawiono ocenę dostępności sieci GSM-R z wykorzystaniem prognozowanych parametrów sprzętowych w diagramach blokowych niezawodności (RBD), opartych na danych z komercyjnych sieci europejskich. Szczegółowo scharakteryzowano architekturę systemu GSM-R, jego usługi oraz topologię, szczególną uwagę poświęcając warstwowi BSS (ang. *Base Substation System*) oraz NSS (ang. *Network Switching System*), które są najbardziej istotne dla pełnienia podstawowych funkcji systemu takich jak niezawodne przesyłanie danych krytycznych dla systemów kontroli pociągów oraz minimalizacja przerw w transmisji danych kontrolnych podczas jazdy pociągu. Uwzględnienie prognozowanych, wartości MTBF wynikających z wieloletniego użytkowania oraz wydłużonego średniego czasu naprawy w terenie w modelu RBD pozwoliło na realistyczne oszacowanie dostępności zarówno warstwy BSS, jak i całego systemu. Wyniki nadal spełniają wymagania normy EIRENE, jednak z wyraźnie mniejszym zapasem niż w obliczeniach projektowych.

Wnioski i podsumowanie

System GSM-R dla linii z ETCS poziomu 2 i 3 wymaga dostępności nie mniejszej niż 99,995 % [1],[2]. Analizy projektowe zazwyczaj opierają się na deklarowanych przez producenta wartościach MTBF, co prowadzi do przeszacowania rzeczywistej niezawodności, gdyż nie uwzględniają one czynników eksploatacyjnych, takich jak starzenie się sprzętu, warunki terenowe czy rzeczywiste awarie w długim okresie użytkowania. Wiarygodna ocena dostępności sieci GSM-R wymaga uwzględnienia danych z długoterminowej eksploatacji rzeczywistych wdrożeń o identycznej architekturze.

Bibliografia

1. Guozhen Z., Hongda T., Jie L., Ruibin G.: Research on Key Technologies of Packet Domain Simulation System in GSM-R Networks. *Railway Signalling & Communication Engineering*, 2023, Vol 20, Issue 9, p.42.
2. UIC, EIRENE System Requirements Specification, version 16.0.0, December 2015.
3. UNISIG, SUBSET-093: GSM-R Interfaces – Class 1 Requirements, version 3.3.0, 2020.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Mirosław Siergiejczyk, Zbigniew Kasprzyk, Mariusz Rychlicki
Warsaw University of Technology, Faculty of Transport

e-mail: zbigniew.kasprzyk@pw.edu.pl

Availability assessment of the GSM-R network based on predicted exploitation data

Keywords: availability, GSM-R system, rail transport

Introduction

In accordance with the European Union's rail transport policy, the creation of a European Railway System is a priority. The need to implement the ERTMS (European Rail Traffic Management System), a combination of the ETCS (European Train Control System) and GSM-R (Global System for Mobile Communications - Railway) systems, stems from both technical considerations (technological progress in telecommunications and safe train control) and legislative requirements (the need to implement interoperability, conditioned by Community and Polish law). Interoperability also applies to telecommunications – the GSM-R system has been recognized as an interoperable railway radio communications system at the European level.

Research problem and research methodology

The GSM-R system was developed to facilitate communication between the central operator, the train driver, and operational authorities along the entire route [1]. Due to the role of the GSM-R system in railway traffic control and safety, ensuring adequate system reliability is imperative. A key parameter here is availability (readiness), i.e., the probability that the facility will be ready to perform its functions at time t . High system availability is important due to the specific nature of ERTMS solutions, which largely operate without human intervention, relying on constant data updates obtained, among others, using the GSM-R system. System downtime can lead to communication errors between devices or personnel, which could contribute to a railway accident.

Results

This paper presents an assessment of GSM-R network availability using predicted hardware parameters in reliability block diagrams (RBDs), based on data from commercial European networks. The architecture of the GSM-R system, its services, and topology are described in detail, with particular attention paid to the BSS (Base Substation System) and NSS (Network Switching System) layers, which are crucial for fulfilling basic system functions, such as the reliable transmission of critical data for train control systems and minimizing interruptions in the transmission of control data while the train is running. Taking into account the predicted MTBF values resulting from long-term use and the extended mean time to repair in the field in the RBD model allowed for a realistic estimate of the availability of both the BSS layer and the entire system. The results still meet the EIRENE standard requirements, but with a significantly smaller margin than in the design calculations.

Conclusions

The GSM-R system for lines with ETCS Levels 2 and 3 requires availability of no less than 99.995% [1], [2]. Design analyses are typically based on manufacturer-declared MTBF values, which leads to an overestimation of actual reliability because they do not account for operational factors such as equipment aging, field conditions, or actual failures over long periods of use. A reliable assessment of GSM-R network availability requires incorporating data from long-term operation of real-world deployments with identical architecture.

Literature

1. Guozhen Z., Hongda T., Jie L., Ruibin G.: Research on Key Technologies of Packet Domain Simulation System in GSM-R Networks. *Railway Signalling & Communication Engineering*, 2023, Vol 20, Issue 9, p.42.
2. UIC, EIRENE System Requirements Specification, version 16.0.0, December 2015.
3. UNISIG, SUBSET-093: GSM-R Interfaces – Class 1 Requirements, version 3.3.0, 2020.

Mirosław Siegiejczyk ¹, Przemysław Orlowski ², Adam Rosiński ¹

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

² Uczelnia Techniczno-Handlowa im. Heleny Chodkowskiej

e-mail: mirosław.siegiejczyk@pw.edu.pl

Analiza systemu ETCS w aspekcie bezpieczeństwa ruchu kolejowego

Słowa kluczowe: ETCS, transport kolejowy, bezpieczeństwo, FMEA

Wprowadzenie

Jednym z podstawowych zadań transportu kolejowego jest zapewnienie bezpieczeństwa. Chociaż wypadki zdarzają się rzadko, to jednak mają one groźne skutki. Wpływ na zapewnienie bezpieczeństwa ma wiele czynników. W dużym stopniu jest jednak ono zależne od obsługi tego rodzaju transportu. Na bezpieczeństwo wpływa nie tylko infrastruktura techniczna, ale także błędy ludzkie czy też słaba zdolność do oceny sytuacji kryzysowych. Systemu ERTMS/ETCS stanowi jeden z najważniejszych aspektów w zakresie bezpieczeństwa w transporcie kolejowym.

Problem badawczy i metoda badawcza

W referacie dokonano analizy bezpieczeństwa ruchu kolejowego z wykorzystaniem systemu ETCS. Przedstawiono wybrane statystyki wypadkowości na sieci kolejowej z wyróżnieniem linii kolejowych i bocznic, mierniki wypadkowości oraz procentowy udział danej kategorii wypadku w całej strukturze wypadkowości w transporcie kolejowym w Polsce. Opisano rolę wdrożenia systemu ETCS i wykorzystania łączności GSM-R w zakresie bezpiecznego prowadzenia ruchu pociągów. System ETCS oceniono także z wykorzystaniem metody FMEA. Zidentyfikowano i scharakteryzowano zakres przeprowadzonej oceny.

Wyniki

Dokonano analizy jakościowej określając niekorzystny stan ocenianego podsystemu, przyczyny oraz uszkodzenia, które zostały wyszczególnione na podstawie dostępnej dokumentacji technicznej, raportów z usterek, danych z raportów systemów kolejowych. Przedstawiono też analizę ilościową, w której zaproponowano wartości dla określonych kryteriów oraz obliczono ogólny wynik ocenianego systemu w aspekcie bezpieczeństwa ruchu kolejowego.

Wnioski i podsumowanie

W opracowaniu przedstawiono problematykę wdrożenia systemu ETCS, co jest kluczowym krokiem w kierunku zwiększenia bezpieczeństwa, efektywności i interoperacyjności transportu kolejowego. Pomimo wyzwań związanych z kosztami i integracją, korzyści płynące z tego systemu są znaczące i długofalowe. ETCS nie tylko poprawia bezpieczeństwo, ale także przyczynia się do modernizacji i unowocześnienia transportu kolejowego, co jest niezbędne w obliczu rosnących wymagań dotyczących zrównoważonego rozwoju.

Bibliografia

1. Jabłoński A., Jabłoński M (red.): Automatyka sterowania ruchem kolejowym i prowadzenie ruchu kolejowego. Poradnik dla inspektorów. Tom 1, Akademia Bezpieczeństwa Kolejowego, Warszawa 2023.
2. Kochan A.: Teoretyczne podstawy cyfrowego bliźniaka aplikacji ETCS. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2023.
3. Massel A.: ERTMS jako warunek osiągnięcia interoperacyjności kolei na poziomie europejskim – dziś i w 2030, Instytut Kolejnictwa, Warszawa 2021.
4. <https://utk.gov.pl/pl/aktualnosci/17141,ETCS-Limited-Supervision-sposobem-na-poprawe-bezpieczenstwa-sys-temu-kolejowego.html>.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Mirosław Siegiejczyk ¹, Przemysław Orłowski ², Adam Rosiński ¹

¹ Warsaw University of Technology, Faculty of Transport

² Helena Chodkowska University of Technology and Economics

e-mail: mirosław.siegiejczyk@pw.edu.pl

Analysis of the ETCS system in terms of railway traffic safety

Keywords: ETCS, railway transport, safety, FMEA

Introduction

One of the fundamental tasks of rail transport is to ensure safety. Although accidents are rare, they have serious consequences. Many factors influence safety. However, it depends to a large extent on the operation of this type of transport. Safety is affected not only by technical infrastructure, but also by human error and poor ability to assess emergency situations. The ERTMS/ETCS system is one of the most important aspects of railway transport safety.

Research problem and research methodology

This paper analyzes rail traffic safety using the ETCS system. Selected accident statistics on the rail network are presented, highlighting railway lines and sidings, along with accident metrics and the percentage share of each accident category in the overall accident structure in rail transport in Poland. The role of ETCS implementation and the use of GSM-R communication in the safe operation of trains is described. The ETCS system was also assessed using the FMEA method. The scope of the assessment was identified and characterized.

Results

A qualitative analysis was conducted, identifying the unfavorable condition of the assessed subsystem, its causes, and damage, which were detailed based on available technical documentation, fault reports, and data from railway system reports. A quantitative analysis was also presented, proposing values for specific criteria and calculating the overall safety score of the assessed system.

Conclusions

This study addresses the implementation of the ETCS system, which is a key step towards increasing the safety, efficiency, and interoperability of rail transport. Despite the challenges associated with cost and integration, the benefits of this system are significant and long-term. ETCS not only improves safety but also contributes to the modernization and modernization of rail transport, which is essential in the face of growing sustainability requirements.

Literature

1. Jabłoński A., Jabłoński M (eds.): Railway traffic control automation and management. Guide for inspectors. Volume 1, Railway Safety Academy, Warsaw 2023. (in Polish).
2. Kochan A.: Theoretical foundations of the ETCS digital twin application. Warsaw University of Technology Publishing House, Warsaw 2023. (in Polish).
3. Massel A.: ERTMS as a condition for achieving railway interoperability at the European level – today and in 2030, Railway Institute, Warsaw 2021. (in Polish).
4. <https://utk.gov.pl/aktualnosci/17141,ETCS-Limited-Supervision-sposobem-na-poprawe-bezpieczenstwa-sys-temu-kolejowego.html>. (in Polish).

Jacek Skorupski ¹, Piotr Uchroński ²

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Transportu,

² Akademia WSB, Katedra Transportu i Informatyki

e-mail: jacek.skorupski@pw.edu.pl

Model oceny skuteczności systemu ochrony lotniska przed bezzałogowymi statkami powietrznymi

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo lotnictwa, systemy antydronowe, sztuczna inteligencja

Wprowadzenie

Dynamiczny rozwój technologii bezzałogowych statków powietrznych (BSP) znacząco wpływa na funkcjonowanie współczesnego lotnictwa cywilnego, generując zarówno korzyści, jak i zagrożenia. W artykule podjęto zagadnienie ochrony lotnisk, a szczególnie startujących i lądujących statków powietrznych, przed zagrożeniami wynikającymi z nieuprawnionego wlotu BSP-intruza (BSPi). W chwili obecnej najczęściej stosuje się obserwację przez pracowników ochrony i ewentualną interwencję fizyczną. Jednak badania percepcji i możliwości pracowników ochrony wskazują na konieczność automatyzacji detekcji i neutralizacji BSPi.

Problem badawczy i metoda badawcza

Głównym problemem badawczym jest określenie parametrów infrastruktury oraz sposobu organizacji systemu ochrony lotniska przed ingerencją ze strony BSPi. Obecnie brak jest efektywnego sposobu ochrony lotnisk przed BSPi zdolnego do automatycznej detekcji i neutralizacji zagrożeń w czasie rzeczywistym. Autorzy przeanalizowali aktualne regulacje prawne (m.in. rozporządzenia UE 2019/945 i 947/2019), technologie detekcji oraz metody neutralizacji. Na podstawie tej analizy zaproponowano koncepcję systemu ochrony lotniska wykorzystującego rój dronów wspomagany sztuczną inteligencją. W celu oceny skuteczności istniejących i proponowanego systemu wykorzystano oryginalny model symulacyjny w postaci kolorowanej sieci Petriego (CPN), zbudowany zgodnie z podejściem agentowym, zaimplementowany w środowisku CPN Tools.

Wyniki

Stworzony model pozwala na analizę dynamiczną ruchu BSPi wlatującego w rejon lotniska oraz roju BSP-obronców (BSPo) zmierzających do jego neutralizacji, w kontekście m. in. liczby i lokalizacji punktów detekcji, możliwości stacji detekcyjnych, parametrów technicznych zarówno intruza jak i obrońców, a także algorytmów pracy roju BSPo. Określono strefę zastrzeżoną, do której wlot BSPi jest bezwzględnie zabroniony, która jest dopasowana do strefy startu i lądowania statków powietrznych i ma kształt wąskiego prostokąta o określonych parametrach wysokościowych. Badając model symulacyjnie wstępnie określono parametry infrastruktury oraz sposobu organizacji systemu ochrony, który zwiększa niezawodność systemu rozumianą jako zdolność do zapobieżenia naruszeniu strefy zastrzeżonej.

Wnioski i podsumowanie

Analiza technologii i symulacyjne badania z wykorzystaniem stworzonego modelu agentowego w technice CPN, wskazały, że integracja wielosensorowych systemów detekcji z autonomicznymi rojami BSPo istotnie podnosi skuteczność wykrywania i neutralizacji zagrożeń w porównaniu z tradycyjnie stosowanymi metodami. W przyszłości, planuje się dalsze badania nad możliwością ulepszenia proponowanego rozwiązania, w szczególności poprzez wspomaganie sterowania rojami BSPo przez sztuczną inteligencję. Konieczne jest jednak wprowadzenie certyfikacji i standaryzacji systemów antydronowych oraz rozwój prawnych ram ich stosowania.

Bibliografia

1. Lykou G., Moustakas D., Gritzalis D. (2020) Defending Airports from UAS: A Survey on Cyber-Attacks and Counter-Drone Sensing Technologies, *Sensors* 2020, 20, 3537.
2. De Cubber G., Doroftei D., Petsioti P., Koniaris A., Brewczyński K., Życzkowski M., Roman R., Sima S., Mohamoud A., van de Pol J., et al. Standardized Evaluation of Counter-Drone Systems: Methods, Technologies, and Performance Metrics. *Drones* 2025, 9, 354.

Jacek Skorupski ¹, Piotr Uchroński ²

¹ Warsaw University of Technology, Faculty of Transport,

² WSB University, Department of Transport and Informatics

e-mail: jacek.skorupski@pw.edu.pl

Model for assessing the effectiveness of airport protection systems against unmanned aerial vehicles

Keywords: aviation safety, anti-drone systems, artificial intelligence

Introduction

The dynamic development of unmanned aerial vehicle (UAV) technology has a significant impact on the functioning of modern civil aviation, generating both benefits and threats. This article addresses the issue of protecting airports, particularly aircraft takeoff and landing, from threats posed by unauthorized intrusion by UAV-intruders (UAVi). Currently, the most common approach is observation by security personnel, with the possibility of physical intervention. However, studies of the perception and capabilities of security personnel indicate the need to automate the detection and neutralization of UAVi.

Research problem and research methodology

The primary research problem is to determine the parameters of the infrastructure and the organization of the airport's protection system against UAVi interference. Currently, there is no practical way to protect airports against UAVi that is capable of automatically detecting and neutralizing threats in real-time. The authors analyzed current legal regulations (including EU Regulations 2019/945 and 947/2019), detection technologies, and neutralization methods. Based on this analysis, a concept for an airport protection system using a swarm of drones supported by artificial intelligence was proposed. To evaluate the effectiveness of the existing and proposed systems, an original simulation model in the form of a colored Petri net (CPN) was developed, built according to the agent-based approach, and implemented in the CPN Tools environment.

Results

The model created allows for dynamic analysis of the movement of a UAVi entering the airport area and a swarm of UAV-defenders (UAVd) aiming to neutralize it, in the context of, among other things, the number and location of detection points, the capabilities of detection stations, the technical parameters of both the intruder and the defenders, as well as the algorithms governing the operation of the UAVd swarm. A restricted zone has been defined, to which the entry of UAVi is strictly prohibited, which is adjusted to the takeoff and landing zone of aircraft and has the shape of a narrow rectangle with specific height parameters. By examining the simulation model, the parameters of the infrastructure and the organization of the protection system were preliminarily determined, which enhances the system's reliability, understood as its ability to prevent violations of the restricted zone.

Conclusions

Technology analysis and simulation studies using an agent-based model created in the CPN technique have demonstrated that integrating multi-sensor detection systems with autonomous UAVd swarms significantly increases the effectiveness of threat detection and neutralization compared to traditionally used methods. In the future, further research is planned to explore the possibility of enhancing the proposed solution, particularly by utilizing artificial intelligence to support the control of UAVd swarms. However, it is necessary to introduce certification and standardization of anti-drone systems as well as to develop a legal framework for their use.

Literature

1. Lykou G., Moustakas D., Gritzalis D. (2020) Defending Airports from UAS: A Survey on Cyber-Attacks and Counter-Drone Sensing Technologies, *Sensors* 2020, 20, 3537.
2. De Cubber G., Doroftei D., Petsioti P., Koniaris A., Brewczyński K., Życzkowski M., Roman R., Sima S., Mohamoud A., van de Pol J., et al. Standardized Evaluation of Counter-Drone Systems: Methods, Technologies, and Performance Metrics. *Drones* 2025, 9, 354.

Sławomir Sommer, Wojciech Owczarzak, Grzegorz Ronowski

Politechnika Gdańska, Wydział, Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa, Zakład Pojazdów
Mechanicznych i Technik Militarnych

e-mail: slasomme@pg.edu.pl

Wpływ rodzaju nawierzchni badawczej na opór toczenia opon samochodowych w warunkach laboratoryjnych

Słowa kluczowe: opór toczenia, tekstura nawierzchni, termowizja, niezawodność

Wprowadzenie

W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczących wpływu rodzaju nawierzchni badawczej na współczynnik oporu toczenia (Crr) opon samochodowych w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych. Opór toczenia stanowi kluczowy parametr efektywności energetycznej pojazdów oraz stabilności eksploatacyjnej układu pojazd–opona–nawierzchnia, a jego wartość zależy od deformacji opony i warunków kontaktu z nawierzchnią. Celem pracy jest ilościowa ocena wpływu trzech typów nawierzchni o zróżnicowanej teksturze na wartość współczynnika Crr, co stanowi podstawę do analiz niezawodnościowych i prognozowania zachowania opon w systemach transportowych.

Problem badawczy i metoda badawcza

Współczesne opony projektowane są z myślą o ograniczeniu strat energii, jednak ich zachowanie w kontakcie z różnymi typami nawierzchni wymaga dalszej analizy, szczególnie w kontekście obciążeń eksploatacyjnych i procesów degradacji. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem maszyny bieżnej z bębnem stalowym, umożliwiającej kontrolę obciążenia pionowego, prędkości toczenia i temperatury otoczenia. Bęben stalowy stanowił jedną z nawierzchni badawczych, a na jego powierzchni zamocowano: Safety Walk (SW) – materiał antypoślizgowy o droбноziarnistej strukturze oraz replikę nawierzchni SMA8 (Stone Mastic Asphalt) wykonaną z żywicy epoksydowej [1,2,3]. Podczas pomiarów określono współczynnik Crr oraz zarejestrowano rozkład temperatury na powierzchni opony za pomocą kamery termowizyjnej, co pozwala na identyfikację lokalnych stref zwiększonych strat histerezy istotnych z punktu widzenia niezawodności.

Wyniki

Oczekuje się, że wyniki badań wykażą zróżnicowanie wartości współczynnika oporu toczenia (Crr) w zależności od rodzaju nawierzchni. Najniższe wartości zostaną uzyskane dla nawierzchni stalowej, a najwyższe dla repliki SMA8, reprezentującej typową nawierzchnię mineralno-asfaltową. Nawierzchnia Safety Walk (SW) powinna charakteryzować się wynikami pośrednimi, potwierdzając wpływ mikrostruktury na poziom strat energetycznych. Rejestracje termowizyjne umożliwią obserwację rozkładu temperatury w strefie kontaktu oraz jego korelację z wartościami Crr, wskazując zwiększone straty histerezy dla nawierzchni o bardziej agresywnej teksturze, co może odzwierciedlać wyższe obciążenie eksploatacyjne i przyspieszone procesy zmęczenia.

Wnioski i podsumowanie

Przeprowadzone badania pozwolą na ocenę wpływu tekstury nawierzchni na poziom strat energetycznych w procesie toczenia opon. Otrzymane wyniki umożliwią porównanie zachowania opon na różnych typach nawierzchni oraz lepsze zrozumienie mechanizmów odpowiedzialnych za zmiany współczynnika Crr. Uzyskane dane mogą znaleźć zastosowanie w analizach niezawodnościowych, modelowaniu procesów degradacji opon oraz ocenie efektywności i bezpieczeństwa eksploatacji pojazdów w zróżnicowanych warunkach drogowych i klimatycznych.

Bibliografia

1. Ejsmont J., Sommer S., Selected Aspects of Pavement Texture Influence on Tire Rolling Resistance, Coatings 11 (2021) 776.
2. Sandberg U., Bergiers A., Ejsmont J., Goubert L., Karlsson R., Road Surface Influence on Tyre/Road Rolling Resistance, MIRIAM SPI Report, VTI Sweden, 2011.
3. Ejsmont J., Ronowski G., Świeczko-Zurek B., Sommer S., Temperature Influence on Tire Rolling Resistance Measurements Quality, International Journal of Automotive Technology 23 (2022) 109–123.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Slawomir Sommer, Wojciech Owczarzak, Grzegorz Ronowski

Gdansk University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering and Ship Technology,
Department of Mechanical Vehicles and Military Technology

e-mail: slasomme@pg.edu.pl

Effect of test surface type on rolling resistance of car tyres under laboratory conditions

Keywords: rolling resistance, surface texture, thermography, reliability

Introduction

The article presents research results concerning the effect of test surface type on the rolling resistance coefficient (Crr) of car tyres under controlled laboratory conditions. Rolling resistance is a key parameter of vehicle energy efficiency and operational stability of the vehicle–tyre–surface system, and its value depends on tyre deformation and contact conditions with the pavement. The aim of the study is to quantitatively assess the influence of three types of surfaces with different textures on the Crr value under consistent measurement conditions, which is an important element in reliability assessment within transport systems.

Research problem and research methodology

Modern tyres are designed to minimise energy losses; however, their behaviour in contact with different surface types requires further investigation, particularly in the context of operational loads and tyre degradation processes. The experiments will be carried out using a drum test stand that allows control of vertical load, rolling speed and ambient temperature. The steel drum will serve as one of the test surfaces, and two additional surfaces will be mounted on its circumference: Safety Walk (SW), an anti-slip material with a fine-grained structure, and an SMA8 (Stone Mastic Asphalt) surface replica made of epoxy resin [1,2,3]. During the tests, the rolling resistance coefficient (Crr) will be determined, and the temperature distribution on the tyre surface will be recorded using a thermal imaging camera, allowing the identification of local zones of increased hysteresis losses relevant to operational reliability.

Results

The expected results indicate that the rolling resistance coefficient (Crr) will vary depending on the surface type. The lowest values are anticipated for the steel surface, while the highest values are expected for the SMA8 replica, representing a typical mineral–asphalt pavement. The Safety Walk (SW) surface should yield intermediate results, confirming the influence of microtexture on energy loss levels. Thermal imaging will allow observation of the temperature distribution in the contact zone and its correlation with Crr values, indicating increased hysteresis losses for more aggressive textures, which may translate into higher operational loading and accelerated tyre fatigue processes.

Conclusions

The study will enable assessment of how pavement texture affects energy losses during tyre rolling. The obtained results will make it possible to compare tyre behaviour on different surface types and improve the understanding of mechanisms responsible for changes in the rolling resistance coefficient. The data may be used in reliability analyses and modelling of tyre degradation processes, as well as in evaluating the efficiency and operational safety of vehicles under varied road and climatic conditions.

Literature

1. Ejsmont J., Sommer S., Selected Aspects of Pavement Texture Influence on Tire Rolling Resistance, *Coatings* 11 (2021) 776.
2. Sandberg U., Bergiers A., Ejsmont J., Goubert L., Karlsson R., Road Surface Influence on Tyre/Road Rolling Resistance, MIRIAM SP1 Report, VTI Sweden, 2011.
3. Ejsmont J., Ronowski G., Świczko-Żurek B., Sommer S., Temperature Influence on Tire Rolling Resistance Measurements Quality, *International Journal of Automotive Technology* 23 (2022) 109–123.

Sławomir Sommer

Politechnika Gdańska, Wydział, Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa, Zakład Pojazdów
Mechanicznych i Technik Militarnych

e-mail: slasomme@pg.edu.pl

Wpływ regulacji ciśnienia pompowania opon na opór toczenia w różnych warunkach eksploatacyjnych

Słowa kluczowe: opór toczenia, ciśnienie pompowania, temperatura otoczenia, niezawodność

Wprowadzenie

Utrzymanie prawidłowego ciśnienia w oponach stanowi jeden z podstawowych warunków bezpiecznej i energooszczędnej eksploatacji pojazdów. Niewłaściwa regulacja ciśnienia prowadzi do wzrostu oporu toczenia, szybszego zużycia bieżnika oraz zwiększonego obciążenia termicznego, co może wpływać na niezawodność układu jezdnego oraz trwałość ogumienia. W praktyce użytkownicy często utrzymują stałe ciśnienie niezależnie od obciążenia pojazdu i warunków klimatycznych, co zaburza stabilność parametrów eksploatacyjnych. Celem badań jest ocena wpływu różnych strategii regulacji ciśnienia pompowania na współczynnik oporu toczenia (C_{rr}) w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych, w kontekście ich znaczenia dla analiz niezawodnościowych oraz efektywności systemów transportowych.

Problem badawczy i metoda badawcza

Problem badawczy obejmuje określenie, w jakim stopniu sposób regulacji ciśnienia w oponach wpływa na poziom strat energetycznych oraz stabilność parametrów eksploatacyjnych w zmiennych warunkach obciążenia i temperatury [1–4]. Badania zrealizowano z wykorzystaniem stanowiska z bębnem stalowym, umożliwiającym kontrolę obciążenia pionowego, prędkości toczenia oraz temperatury otoczenia. Testy obejmują dwa warianty regulacji ciśnienia: dynamiczny – zgodny z zaleceniami producenta, uwzględniający zmiany obciążenia i temperatury oraz stały – utrzymywany bez sezonowych i temperaturowych korekt, charakterystyczny dla typowej praktyki użytkowników. Podczas badań określono współczynnik C_{rr} oraz zarejestrowano rozkład temperatury na powierzchni opony przy użyciu kamery termowizyjnej, co pozwala analizować lokalne przeciążenia termiczne związane z procesami degradacji materiału.

Wyniki

Oczekuje się, że utrzymywanie stałego ciśnienia niezależnie od warunków zewnętrznych spowoduje wzrost wartości współczynnika C_{rr} , niestabilność oporu toczenia oraz nierównomierny rozkład temperatury w strefie kontaktu opony z nawierzchnią. Strategia regulacji ciśnienia zgodnie z zaleceniami producenta powinna prowadzić do obniżenia strat energetycznych, bardziej równomiernego nagrzewania bieżnika oraz stabilniejszej pracy opony w zakresie zmian obciążenia i temperatury otoczenia. Wyniki badań pozwolą określić zależności między ciśnieniem, temperaturą a oporem toczenia, co ma znaczenie dla modelowania trwałości opon i niezawodności układów transportowych.

Wnioski i podsumowanie

Przeprowadzone badania umożliwią ocenę wpływu regulacji ciśnienia pompowania na opór toczenia w różnych warunkach obciążenia i temperatury. Uzyskane wyniki mogą zostać wykorzystane w analizach niezawodnościowych, w modelowaniu procesów degradacji ogumienia oraz przy opracowywaniu zaleceń eksploatacyjnych dotyczących ciśnienia w oponach w aspekcie energochłonności, trwałości oraz bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Bibliografia

1. Ejsmont J., Ronowski G., Sommer S., Owczarzak W., Berge T., Replica Road Pavements for Rolling Resistance Measurements, Road Materials and Pavement Design (2025).
2. Sandberg U., Bergiers A., Ejsmont J., Goubert L., Karlsson R., Road Surface Influence on Tyre/Road Rolling Resistance, MIRIAM SPI Report, VTI Sweden, 2011.
3. Ejsmont J., Ronowski G., Świeczko-Żurek B., Sommer S., Temperature Influence on Tire Rolling Resistance Measurements Quality, International Journal of Automotive Technology 23 (2022) 109–123.
4. Ejsmont J., Ronowski G., Świeczko-Żurek B., Sommer S., Owczarzak W., Szerszyńska A., At what temperature should the tire rolling resistance be measured?, Measurement 223 (2024) 115943.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Slawomir Sommer

Gdansk University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering and Ship Technology, Department of Mechanical Vehicles and Military Technology

e-mail: slasomme@pg.edu.pl

Effect of tyre inflation pressure regulation on rolling resistance under various operating conditions

Keywords: rolling resistance, inflation pressure, ambient temperature, reliability

Introduction

Maintaining proper tyre inflation pressure is one of the fundamental conditions for safe and energy-efficient vehicle operation. Incorrect pressure leads to increased rolling resistance, faster tread wear and higher thermal loading, which may affect the reliability of the running system and the durability of tyres. In practice, users often maintain constant pressure regardless of vehicle load or climatic conditions, which destabilises operating parameters. The aim of the study is to evaluate the influence of different tyre inflation pressure regulation strategies on the rolling resistance coefficient (Crr) under controlled laboratory conditions, with particular emphasis on their relevance to reliability assessment and the efficiency of transport systems.

Research problem and research methodology

The research problem concerns determining the extent to which tyre pressure regulation affects energy losses and the stability of operating parameters under varying load and temperature conditions [1–4]. The experiments were carried out using a drum-type test rig that allows control of vertical load, rolling speed and ambient temperature. Two pressure-regulation strategies were tested: dynamic regulation, consistent with the manufacturer's recommendations, adjusted to vehicle load and temperature and constant pressure, maintained without seasonal or temperature-related corrections, reflecting typical user behaviour. During the experiments, the rolling resistance coefficient (Crr) was determined, and the temperature distribution on the tyre surface was recorded using a thermal imaging camera, enabling the analysis of local thermal overloads associated with material degradation processes.

Results

It is expected that maintaining constant pressure regardless of environmental conditions will increase the Crr value, reduce rolling-resistance stability and produce a non-uniform temperature distribution in the tyre–surface contact zone. In contrast, pressure regulation according to the manufacturer's recommendations should reduce energy losses, ensure more uniform tyre heating and provide more stable tyre behaviour under varying load and ambient temperature. The results will enable identification of relationships between pressure, temperature and rolling resistance, which is essential for modelling tyre durability and the reliability of transport systems.

Conclusions

The study will make it possible to assess the effect of tyre inflation pressure regulation on rolling resistance under different load and temperature conditions. The findings can be used in reliability analyses, in modelling tyre degradation processes and in developing operational recommendations for tyre pressure management with respect to energy efficiency, durability and road safety.

Literature

1. Ejsmont J., Ronowski G., Sommer S., Owczarzak W., Berge T., Replica Road Pavements for Rolling Resistance Measurements, Road Materials and Pavement Design (2025).
2. Sandberg U., Bergiers A., Ejsmont J., Goubert L., Karlsson R., Road Surface Influence on Tyre/Road Rolling Resistance, MIRIAM SPI Report, VTI Sweden, 2011.
3. Ejsmont J., Ronowski G., Świczko-Żurek B., Sommer S., Temperature Influence on Tire Rolling Resistance Measurements Quality, International Journal of Automotive Technology 23 (2022) 109–123.
4. Ejsmont J., Ronowski G., Świczko-Żurek B., Sommer S., Owczarzak W., Szerszyńska A., At what temperature should the tire rolling resistance be measured?, Measurement 223 (2024) 115943.

Marek Stawowy¹, Meer Mahmood Abdella²

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, ² Fastlink Telecommunications Company, Irak - kandydat do Szkoły Doktorskiej PW

e-mail: marek.stawowy@pw.edu.pl

Ocena jakości usługi ładowania samochodów elektrycznych z wykorzystaniem modelowania niepewności

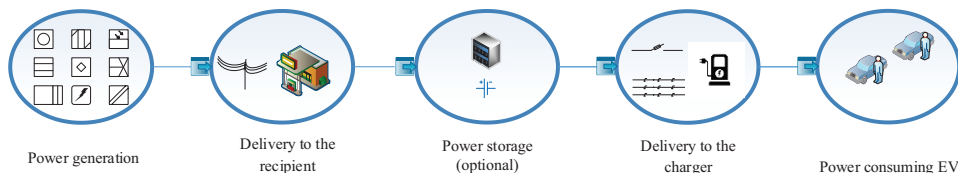
Słowa kluczowe: ocena jakości usługi, auta elektryczne, modelowanie niepewności

Wprowadzenie

Jednym z powodów ograniczających zakup aut elektrycznych EV (ang. electric vehicle) jest nieznaną jakość usług związanych z ich ładowaniem. Wiąże się to z takimi problemami jak ograniczony zasięg, długi czas ładowania czy też niewystarczająca infrastruktura. W celu propagowania poziomu jakości tych usług potrzebna jest rzetelna ich ocena. W artykule przedstawiona została metoda, która umożliwi ocenę jakości systemu ładowania pojazdów opartą na modelowaniu niepewności. Dzięki zastosowaniu tego modelowania wynikiem tej oceny może być jeden wskaźnik. W ocenie uwzględnia się zarówno obserwacje obiektywne jak subiektywne. W ocenie brane są do szacowania wszystkie możliwe czynniki wpływające na jakość usługi ładowania pojazdów elektrycznych.

Problem badawczy i metoda badawcza

Zastosowanie modelowania niepewności do oceny jakości usługi ładowania pojazdów elektrycznych umożliwia użycie dowolnej liczby wymiarów oceny tej jakości. Wymiary te są traktowane jako niezależne a zależność między tymi wymiarami jest wykazywana na niższej warstwie modelu zawierającej cechy wymiarów. Każdy ze stanów usługi ładowania pojazdów posiada swój niezależny model oceny jakości a końcowa wartość wyznaczana jest jako zależna między tymi stanami usługi (rys.1). W celu kalkulacji współczynników jakości wykorzystano autorskie metody opracowane w tym celu i oparte na rozmytej metodzie zbiorów przybliżonych i współczynniku pewności hipotezy [1].



Rys. 1. Etapy stanów procesu dostarczania energii do pojazdów poprzez stację ładowania.

Wyniki

Wynik oceny jakości jest zmienny w zależności od wkładu w jej poprawę i dąży asymptotycznie do pewnego poziomu, który w nomenklaturze jakościowej nazywa się doskonałością. Na podstawie symulacji komputerowej stwierdzono, że wyniki są zbliżone do oczekiwanych zmienności dla wskaźników jakości.

Wnioski i podsumowanie

Dysponując zaawansowaną metodą oceny jakości, taką jak przedstawiono w tym opracowaniu, umożliwiającą uwzględnienie dowolnej liczby czynników, można utworzyć specyficzny ranking, w który poziom jakości może być porównywany dla różnych stacji ładowania. Uzupełniając, metodę oceny jakości, o odpowiednie kalibracje (np. z pomocą ekspertów) można te porównania rozszerzyć o ocenę uzupełniania paliwa dla innych metod zasilania pojazdów. Oznacza to, że poprzez odpowiednią kalibrację uzyskuje się eksploatacyjne porównanie systemów napędzania pojazdów np.: spalinowych i elektrycznych.

Bibliografia

1. Stawowy, M., Paś, J., Perlicki, K., Duer, S., Siergiejczyk, M., & Harničárová, M. (2024). Continuity Quality of Power Supply in Detectors Powered by Renewable Energy Sources. *Energies*, 17, Article 24. <https://doi.org/10.3390/en17246423>.

Marek Stawowy ¹, Meer Mahmood Abdella ²

¹ Warsaw University of Technology, Faculty of Transport, ² Fastlink Telecommunications Company, Iraq - WUT Doctoral School candidate

e-mail: marek.stawowy@pw.edu.pl

Evaluation of the quality of electric car charging services using uncertainty modeling

Keywords: service quality assessment, electric cars, uncertainty modeling

Introduction

One of the factors limiting the purchase of electric vehicles (EVs) is the uncertainty surrounding the quality of charging services. This is related to issues such as limited range, long charging times, and insufficient infrastructure. To promote the quality of these services, a reliable assessment is necessary. This article presents a method for assessing the quality of vehicle charging systems based on uncertainty modeling. This modeling allows for the assessment to be derived from a single indicator. The assessment takes into account both objective and subjective observations. All possible factors influencing the quality of electric vehicle charging services are considered for estimation.

Research problem and research methodology

The use of uncertainty modeling to assess the quality of electric vehicle charging services enables the consideration of various quality assessment dimensions. These dimensions are treated as independent, and the relationship between them is demonstrated in a lower model layer that contains dimensional features. Each charging service state has its own independent quality assessment model, and the final value is determined as the relationship between these service states (Fig. 1). Proprietary methods based on the fuzzy rough set method and the hypothesis certainty coefficient [1] were used to calculate quality indicators.

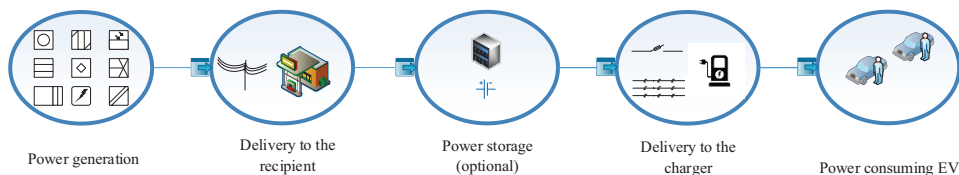


Fig. 1. Stages of the process of supplying energy to vehicles via the charging station.

Results

The quality assessment result varies depending on the contribution to its improvement and approaches a certain level, which in quality nomenclature is referred to as excellence. Based on computer simulation, the results were found to be consistent with the expected values in quality indicators.

Conclusions

With the presented advanced quality assessment method, which takes into account various factors, a specific ranking can be created to compare the quality levels of different charging stations. By supplementing the quality assessment method with appropriate calibrations (e.g., with the assistance of experts), these comparisons can be expanded to include fueling assessments for other vehicle power sources. This means that through appropriate calibration, an exploitation comparison can be made between vehicle propulsion systems, such as combustion and electric vehicles.

Literature

1. Stawowy, M., Paś, J., Perlicki, K., Duer, S., Siergiejczyk, M., & Hamičárová, M. (2024). Continuity Quality of Power Supply in Detectors Powered by Renewable Energy Sources. *Energies*, 17, Article 24. <https://doi.org/10.3390/en17246423>.

Janusz Szpytko

Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie

e-mail: szpytko@agh.edu.pl

Odporność systemów cyberfizycznych w transporcie

Słowa kluczowe: systemy cyberfizyczne, odporność systemów, maszynowa inteligencja

Wprowadzenie

Systemy cyberfizyczne, w szczególności z udziałem człowieka (CPHS), odgrywają istotne znaczenie w zautomatyzowanych i ukierunkowanych na autonomiczność środkach i systemach transportowych. Łączą różne elementy struktury CPHS w złożony interdyscyplinarny system, w których wyróżnia się podsystemy: cybernetyczne, fizyczne i z udziałem człowieka. Obserwowane są między innymi: cyfryzacja systemów transportowych, rozwój technologii autonomicznych i półautonomicznych, zwiększona podatność infrastruktury krytycznych na oddziaływania zewnętrzne. Obserwujemy również nowe wyzwania w zakresie niezawodności i bezpieczeństwa systemów transportowych oraz ich odporności eksploatacyjnej. Fizyczna interakcja w układzie człowiek – zautomatyzowany środek transportu – środowisko wymaga nowego ujęcia procesu kształtowania bezpieczeństwa i odporności w fazach życia systemu.

Problem badawczy i metoda badawcza

Maszynowa/ sztuczna inteligencja (AI) jest narzędziem w istotny sposób oddziałującym na zmiany w automatyzacji, procesach decyzyjnych i odporności krytycznych środków i systemów transportowych. Umożliwia zwiększenie ich efektywności eksploatacyjnej, odporności oraz bezpieczeństwa i niezawodności eksploatacyjnej. W inżynierii transportu i w procesach podejmowania decyzji, maszynowa inteligencja przekształca praktyki procesów powiązanych z fazami życia systemu oraz kształcenia operatorów w zakresie wymaganych umiejętności i wiedzy, dostosowuje interfejsy typu człowiek – maszyna, z ukierunkowaniem na nowe zróżnicowane wyzwania. W rezultacie możliwe są procesy kształtowania odporności systemu w powiązaniu z bezpieczeństwem i niezawodnością w określonej rzeczywistości w powiązaniu z wymaganiami jakościowymi i ilościowymi w procesie eksploatacji.

Wyniki

Z cyfryzacją procesów eksploatacji systemów i środków transportu powiązana jest integracja oprogramowania na wszystkich poziomach procesów decyzyjnych, co skutkuje ich: złożonymi architekturami mającymi przełożenie na nowe wymagania, zwiększeniem złożoności procesów decyzyjnych zwłaszcza w przypadku możliwych zakłóceń i krytyczności, nowymi technikami i narzędziami zapewnienia bezpieczeństwa poprzez odporność i odpowiedzialną automatyzację w procesach podejmowania decyzji eksploatacyjnych.

Wnioski i podsumowanie

Odporność systemów transportowych (w szczególności w warunkach krytyczności) wymaga zapewnienia zdolności systemu do użytkowania podczas zróżnicowanych oddziaływań zewnętrznych (zakłóceń) przed/ w trakcie/ po ich wystąpieniu, a następnie utrzymania wymaganych funkcji w warunkach znanych i nieoczekiwanych (w określonym przewidywalnym przedziale czasu). Inżynieria odporności jest ukierunkowana na projektowanie i wdrażanie interdyscyplinarnych narzędzi zwiększających odporność we wszystkich fazach życia środków i systemów transportu.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Janusz Szpytko

AGH University of Krakow

e-mail: szpytko@agh.edu.pl

Resilience of cyber-physical systems in transportation

Keywords: cyber-physical systems, system resilience, machine intelligence

Introduction

Cyber-physical systems, particularly those involving human interaction (CPHS), play a crucial role in automated and autonomous transportation systems and devices. They combine various elements of the CPHS structure into a complex interdisciplinary system, in which cybernetic, physical, and human subsystems can be distinguished. Observed trends include the digitalization of transportation systems, the development of autonomous and semi-autonomous technologies, and increased vulnerability of critical infrastructure to external influences. We also observe new challenges in the reliability and safety of transportation systems and their operational resilience. The physical interaction in the human-automated transport system-environment system requires a new approach to shaping safety and resilience throughout the system's lifecycle.

Research problem and methodology

Machine/ artificial intelligence (AI) is a tool that significantly impacts changes in automation, decision-making processes, and the resilience of critical transport infrastructure and systems. It enables increased operational efficiency, resilience, safety, and reliability. In transport engineering and decision-making processes, artificial intelligence transforms practices related to system lifecycle phases and the training of operators in required skills and knowledge, adapting human-machine interfaces to address new and diverse challenges. As a result, it is possible to shape system resilience in conjunction with safety and reliability in a specific real-world context, taking into account qualitative and quantitative requirements during operation.

Results

The digitalization of system and transport operation processes is linked to the integration of software at all levels of decision-making processes, resulting in: complex architectures that translate into new requirements, increased complexity of decision-making processes, especially in the case of possible disruptions and critical situations, and new techniques and tools for ensuring safety through resilience and responsible automation in operational decision-making processes.

Conclusions

The resilience of transport systems (particularly in critical situations) requires ensuring the system's ability to function during diverse external impacts (disruptions) before, during, and after their occurrence, and then maintaining the required functions under known and unexpected conditions (within a specified predictable timeframe). Resilience engineering focuses on designing and implementing interdisciplinary tools that increase resilience in all phases of the life cycle of transport devices and systems.

Wojciech Szura, Anna Kwasiborska
Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

e-mail: w.j.szura@gmail.com

Dobór urządzeń obsługi naziemnej statków powietrznych w warunkach złożonych kryteriów decyzyjnych

Słowa kluczowe: urządzenia GSE, modelowanie, analiza wielokryterialna

Wprowadzenie

Zbiór urządzeń do obsługi naziemnej statków powietrznych jest właściwie określony dla portów lotniczych, lecz na rynku istnieje jednak wiele przedsiębiorstw oferujących takie urządzenia. Produkty oferowane przez przedsiębiorstwa zajmujące się produkcją urządzeń GSE znacząco różnią się od siebie w zakresie możliwości ładunkowych urządzenia, rodzaju napędu, wymiarów, budowy czy też przeznaczenia. Różni się też cena rynkowa tych urządzeń, a także koszty ich użytkowania. Zróżnicowanie ofert na rynku urządzeń GSE sprawia, że trudno jest dokonać jednoznacznego wyboru wyłączenie na podstawie katalogów produktów oferowanych przez poszczególnych producentów. Wybór cech tych urządzeń jest relatywnie łatwe ale trudnością może okazać się hierarchia kryteriów.

Problem badawczy i metoda badawcza

Problem doboru odpowiedniego dostawcy sprzętu do obsługi naziemnej statku powietrznego można rozwiązać stosując wielokryterialne metody wspomagania decyzji. Na podstawie literatury i charakterystyki zagadnienia, określono kryteria, według których oceniony został każdy z rozpatrywanych wariantów. W dalszej części pracy badawczej przeprowadzono wzajemne porównanie kryteriów w celu ustalenia ich hierarchii. Ostatecznie, rozpoznano właściwości urządzeń oferowanych przez każdego z dostawców i na ich podstawie otrzymano wyniki.

Wyniki

Wielokryterialne metody wspomagania decyzji umożliwiają dokonanie wyboru w przypadkach, w których intuicyjne wyłonienie najlepszego wariantu jest trudne ze względu na liczbę dostępnych wariantów i ich zróżnicowanych cech. Poruszany temat doboru dostawców urządzeń obsługi naziemnej zaliczał się do tego rodzaju sytuacji. W celu wyłonienia potencjalnego rozwiązania, w pierwszej kolejności przeprowadzono dokładne rozpoznanie dostępnych wariantów dla każdego z urządzeń GSE. Następnie, ustalono kryteria oceny przydatności urządzeń i ustalono ich hierarchię. Po porównaniu ze sobą wszystkich wariantów dla każdego z rozpatrywanych urządzeń, możliwe stało się wyłonienie rozwiązań preferowanych.

Wnioski i podsumowanie

Przedstawiony proces analizy rynku, wariantów i kryteriów oraz opis metodologii podjętych działań zapewniają miarodajne i wiarygodne wyniki. Ze względu na brak dostępnych informacji w zakresie kryteriów dotyczących kosztów zakupu, użytkowania oraz czasu dostawy, obliczenia zostały wykonane dla przyjętych założeń. Koszt zakupu i czas dostawy zostały założone jako poszczególne wartości liczbowe, a koszt użytkowania został oszacowany na podstawie dostępnych informacji, takich jak oferowane przez przedsiębiorcę rodzaje napędu urządzenia, czy aktualne ceny paliw. Inne wartości, jak przewidywane roczne zużycie paliwa zostały założone. Zastosowane założenia będą podstawą do zbudowania modelu wielokryterialnego.

Bibliografia

1. Airmarrel (2025). Our vehicles. Access (2nd December 2025): <https://www.airmarrel.com/products/>.
2. Oshkosh Aerotech. (2025). Comprehensive Ground Support Equipment (GSE). Access (2nd December 2025): <https://oshkosh-aerotech.com/products-and-services/ground-support-equipment>.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Wojciech Szura, Anna Kwasiborska

Warsaw University of Technology, Faculty of Transport

e-mail: w.j.szura@gmail.com

Selection of aircraft ground support equipment under complex decision-making criteria

Keywords: GSE equipment, modeling, multi-criteria analysis

Introduction

The set of aircraft ground support equipment is well-defined for airports; however, numerous companies offer such equipment on the market. Products offered by companies producing GSE equipment vary significantly in terms of payload capacity, drive type, dimensions, construction, and intended use. The market price of these devices also varies, as do their operating costs. The diversity of offerings on the GSE equipment market makes it challenging to make a clear choice based solely on the product catalogs offered by individual manufacturers. Selecting the features of these devices is relatively easy, but the hierarchy of criteria can prove challenging.

Research problem and research methodology

The problem of selecting the appropriate supplier of aircraft ground support equipment can be addressed using multi-criteria decision-making methods. Based on the literature and the characteristics of the problem, criteria were established for evaluating each of the considered variants. Subsequently, the research work involved a cross-comparison of criteria to establish their hierarchy. Finally, the characteristics of the equipment offered by each supplier were identified, and based on these criteria, the results were obtained.

Results

Multi-criteria decision support methods facilitate selection in cases where intuitively choosing the best option is challenging due to the large number of available options and their varying characteristics. The topic of selecting ground support equipment suppliers was one such situation. To identify a potential solution, a thorough analysis of the available options for each ground support equipment was first conducted. Next, criteria for assessing the suitability of the equipment were established, along with their hierarchy. After comparing all the options for each of the considered equipment, it was possible to identify the preferred solutions.

Conclusions

The presented process of market analysis, including variants and criteria, as well as the description of the methodology for the undertaken actions, ensures reliable and conclusive results. Due to the lack of available information regarding the criteria for purchase costs, operating costs, and delivery time, calculations were performed based on the adopted assumptions. The purchase cost and delivery time were assumed as individual numerical values, and the operating cost was estimated based on available information, such as the types of drive offered by the company and current fuel prices. Other values, such as the expected annual fuel consumption, were assumed. The assumptions used will be the basis for building a multi-criteria model.

Literature

1. Airmarrel (2025). Our vehicles. Access (2nd December 2025): <https://www.airmarrel.com/products/>.
2. Oshkosh Aerotech. (2025). Comprehensive Ground Support Equipment (GSE). Access (2nd December 2025): <https://oshkosh-aerotech.com/products-and-services/ground-support-equipment>.

Wasihun Keno, Janusz Szpytko
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
e-mail: wasihun@agh.edu.pl, szpytko@agh.edu.pl

Predykcyjny proces obsługi zorientowany na niezawodność nowoczesnej infrastruktury transportu publicznego

Słowa kluczowe: konserwacja predykcyjna, konserwacja zorientowana na niezawodność, miejskie systemy transportowe

Wprowadzenie

Nowoczesne systemy miejskiego transportu coraz częściej wykorzystują procesy obsługiwanego typu predykcyjnego i są zorientowane na niezawodność (RCM, Reliability-Centered Maintenance) z ukierunkowaniem na zwiększenie bezpieczeństwa, obniżenia kosztów cyklu życia i poprawę usług. Rosnące wymagania stawiane infrastrukturze transportu publicznego wymagają odejścia od tradycyjnych strategii konserwacji na rzecz bardziej inteligentnych [1, 2]. Modele konserwacji predykcyjnej (PdM, Predictive Maintenance) są ukierunkowane na suboptymalną alokację zasobów i badanie wpływu awarii podsystemów na niezawodność systemu. Celem pracy jest wypracowanie modelu integrującego podejście RCM z metodą predykcyjną. Przykładem zastosowania jest system szybkiego transportu masowego (MRT) w Singapurze [3].

Problem badawczy i metoda badawcza

Systemy konserwacji predykcyjnej (PdM) dostarczają prognoz na poziomie elementów/ zespołów, ale często pomijają zależności między/ elementami/ zespołami w powiązaniu z ich korelacjami niezawodnościowymi na poziomie systemu. W pracy zaproponowano hybrydową metodę, która łączy konserwację zorientowaną na niezawodność (RCM) z algorytmami Copula. Algorytmy Copula umożliwiają modelowanie wielowymiarowych zależności między zdarzeniami awaryjnymi, umożliwiając sprzężenie jednowymiarowych prawdopodobieństw awarii w jedną funkcję niezawodności systemu.

Wyniki

Zintegrowanie metod RCM z PdM skutkuje uwzględnieniem zależności między elementami systemu, co przyczynia się do zwiększenia skuteczności procesu predykcyjnego i szacowania niezawodności systemu. Możliwa jest też redukcja nieplanowanych przestojów w porównaniu z innymi procedurami. Analizy kosztów i korzyści wskazują na możliwość poprawy efektywności alokacji zasobów konserwacyjnych. Funkcje matematyczne lub rozkłady prawdopodobieństwa typu Copulas umożliwiają opis i modelowanie struktury korelacji między różnymi zmiennymi losowymi opisującymi system w procesie eksploatacji (wielowymiarowe rozkłady przetrwania). Przykładem zastosowania jest kolej MRT w Singapurze. W rezultacie integracji metod RCM z PdM uzyskano poprawę niezawodności silników trakcyjnych, stabilności podsystemów zasilania oraz efektywne monitorowanie torów.

Wnioski i podsumowanie

Wdrożenie predyktywnej konserwacji zorientowanej na niezawodność w infrastrukturze transportu publicznego rozwiązuje problem rosnących zakresów prac ukierunkowanych na obsługiwane. Integracja analizy krytyczności elementu systemów transportowego z oceną przyczynowo - skutkową awarii, doбором technologii obsług predykcyjnych oraz integracją prac konserwacyjnych umożliwią wypracowanie kompleksowego podejścia do praktyk w zakresie obsługiwanego.

Bibliografia

1. Benhanifia, A., Ben Cheikh, Z., Oliveira, P. M., Valente, A., & Lima, J. (2025). Systematic review of predictive maintenance practices in the manufacturing sector. *Journal of Advanced Manufacturing Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.jmatec.2025.100027>.
2. Ersöz, O. Ö., İnal, A. F., Aktepe, A., Türker, A. K., & Ersöz, S. (2021). A Systematic Literature Review of the Predictive Maintenance from Transportation Systems Aspect. *Sustainability*, 14(21), 14536. <https://doi.org/10.3390/su142114536>.
3. Meitz, L., Senge, J., Wagenhals, T., Schöler, T., Hähner, J., Edinger, J., & Krupitzer, C. (2025). A Literature Review Framework and Open Research Challenges for Predictive Maintenance in industry 4.0. *Computers & Industrial Engineering*, 206, 111193. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2025.111193>.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Wasihun Keno, Janusz Szpytko
AGH University of Krakow

e-mail: wasihun@agh.edu.pl, szpytko@agh.edu.pl

A systematic framework for reliability-centered predictive maintenance in modern public transport infrastructure

Keywords: predictive maintenance, reliability-centered maintenance, urban transport systems

Introduction

Modern urban mass transit systems are increasingly utilizing predictive and reliability-centered maintenance (RCM) frameworks to enhance safety, reduce lifecycle costs, and improve service reliability. The rising demands on public transport infrastructure, such as railways and electric bus fleets, require a shift from traditional maintenance strategies to more intelligent, data-driven approaches [1, 2]. While predictive maintenance (PdM) models show promise, their inconsistent application often leads to suboptimal resource allocation and insufficient attention to the impact of component failures on overall system reliability. This research presents a systematic framework that integrates RCM principles with advanced predictive analytics. The framework has been tested on the Singapore Mass Rapid Transit (MRT) system to validate its practical effectiveness [3].

Research problem and research methodology

The central research problem involves integrating predictive analytics with reliability-centered principles to enhance maintenance decisions in complex transport infrastructures. Current predictive maintenance (PdM) systems provide component-level forecasts but often neglect inter-component dependencies and system-level reliability correlations. To address this, the study introduces a hybrid methodology that combines reliability-centered maintenance (RCM) with Copulas to model these dependencies. Copulas enable the modeling of multivariate dependencies between failure events, even when only marginal distributions are known, allowing for the coupling of univariate failure probabilities into a joint system reliability function. This captures the interactions of critical assets such as braking systems, power supply circuits, and track signaling modules.

Results

The integrated RCM-PdM framework shows that accounting for inter-component dependencies significantly enhances predictive accuracy and reliability estimations. Simulations indicate a reduction in unplanned downtime by 20–25% compared to traditional models, while cost-benefit analyses point to improved efficiency in maintenance resource allocation. The survival copula connects joint survival functions to univariate margins, allowing for the creation of multivariate survival distributions that reflect operational interdependencies. For the Singapore MRT, the findings indicate improved reliability in traction motors, stability in power subsystems, and effective track integrity monitoring, confirming that dependency-aware predictive maintenance frameworks outperform conventional independent failure models, especially for mission-critical assets.

Conclusions

Implementing reliability-centered predictive maintenance within contemporary public transport infrastructure tackles the pressing issue of escalating maintenance backlogs. By integrating the four-phase structure of a strategic framework, comprising asset criticality analysis, failure mode assessment, predictive technology selection, and maintenance integration, this approach offers a thorough methodology for transforming conventional maintenance practices.

Literature

1. Benhanifia, A., Ben Cheikh, Z., Oliveira, P. M., Valente, A., & Lima, J. (2025). Systematic review of predictive maintenance practices in the manufacturing sector. *Journal of Advanced Manufacturing Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.jmatec.2025.100027>.
2. Ersöz, O. Ö., İnal, A. F., Aktepe, A., Türker, A. K., & Ersöz, S. (2021). A Systematic Literature Review of the Predictive Maintenance from Transportation Systems Aspect. *Sustainability*, 14(21), 14536. <https://doi.org/10.3390/su142114536>.
3. Meitz, L., Senge, J., Wagenhals, T., Schöler, T., Hähner, J., Edinger, J., & Krupitzer, C. (2025). A Literature Review Framework and Open Research Challenges for Predictive Maintenance in industry 4.0. *Computers & Industrial Engineering*, 206, 111193. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2025.111193>.

Michał Wiśnios, Rafał Białek

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki

e-mail: michal.wisnios@wat.edu.pl

Czynniki wpływające na niezawodność bezkontaktowego pomiaru przemieszczenia bazującego na sensorach PSD oraz diodach LED

Słowa kluczowe: niezawodność bezkontaktowego pomiaru przemieszczenia, sensory PSD, diody LED

Wprowadzenie

Pomiary ruchu i przemieszczenia towarzyszyły człowiekowi od zarania dziejów[1,2], jednak wraz z rozwojem cywilizacji i pojawianiem się nowych technologii precyzja tego typu pomiarów stale wzrasta. Jedną z poszukiwanych metod pomiarowych jest ta dotycząca precyzyjnego pomiaru ruchu i przemieszczenia. W artykule przedstawiono analizę czynników wpływających na niezawodność autorskiej metody pomiaru ruchu i przemieszczenia bazującej na sensorach PSD lokalizujących położenie niekonwencjonalnych markerów zbudowanych w oparciu o szerokokątne diody LED poruszające się w przestrzeni. Sensory PSD są, z założenia, dedykowane do lokalizowania przemieszczenia punktu świetlnego emitowanego przez źródło światła, najlepiej laserowe, na powierzchnię sensora. Natomiast przedmiotem opracowania autorów było zagadnienie skoncentrowane na analizie przemieszczenia bryły sztywnej o sześciu stopniach swobody i umożliwienia śledzenia jej przemieszczenia w przestrzeni, względem ustalonego odniesienia, co wykluczało zastosowanie do tego celu typowych źródeł laserowych. Zagadnienie to w znaczącym stopniu zwiększyło ryzyko wystąpienia negatywnych czynników wpływających na niezawodność tak realizowanego pomiaru. W artykule zaprezentowano problem badawczy jakim było oszacowanie ww. czynników oraz prezentacja pozycji rozwiązania tego problemu.

Problem badawczy i metoda badawcza

Detektory PSD służą z założenia do precyzyjnego określania położenia na ich powierzchni plamki promieniowania. Działają one na zasadzie wyznaczania środka ciężkości rozkładu promieniowania padającego na powierzchnię aktywną sensora[2]. Urządzenia te charakteryzują się wieloma zaletami, takimi jak wysoka dokładność pozycjonowania, krótki czas odpowiedzi, szeroki zakres spektralny i inne. Niemniej jednak, ich zastosowanie wiąże się z pewnymi ograniczeniami wynikającymi z nierównomierności i nieliniowości, które mogą negatywnie wpływać na dokładność pomiarów i niezawodność systemów bazujących na tej technologii [1,2].

Detektory PSD można podzielić na dwa podstawowe typy: segmentowane detektory, takie jak fotodetektory kwadrantowe, oraz detektory oparte na efekcie bocznym (lateral effect PSD). Detektory z efektem bocznym charakteryzują się szerokim i liniowym zakresem detekcji położenia, niezależnym od rozmiaru kształtu plamki promieniowania, co stanowi przewagę nad segmentowanymi detektorami [2].

Bazując na autorskim stanowisku sterowanym numerycznie wykonano szereg badań z użyciem optycznego mikroskopu pomiarowego, gdzie w głównej mierze skupiono uwagę na badaniu stabilności lokalizacji pojedynczego punktu świetlnego w postaci szerokokątnej diody LED.

Wyniki

Wyniki potwierdziły możliwości aplikacyjne zaproponowanego rozwiązania, jednak wykazały również obszary pracy nieliniowej sensora, występujące w szczególności w skrajnych zakresach przestrzeni pomiarowej. W ramach przeprowadzonych prac zbadano również wpływ temperatury na wynik pomiaru.

Wnioski i podsumowanie

Opracowana metoda pomiarowa oraz wyeliminowanie czynników wpływających na niezawodność takiego pomiaru umożliwiły realizację układu charakteryzującego się możliwością bezkontaktowego, precyzyjnego i stabilnego lokalizowania obiektów w przestrzeni.

Bibliografia

1. Małachowski J., Kuchta M., Sybilski K., Wiśnios M., Białek R., Białek K., Pietroń K., Walerzak S.: "Sposób akwizycji trajektorii ruchu zuchwy względem podstawy czaszki", Pat.246936, Polska, 16.01.2025.
2. Wiśnios M., Białek R., Białek K., Kuchta M.: "Bezkontaktowy pomiar przemieszczenia bazujący na sensorach PSD oraz diodach LED", Krajowa Konferencja Metrologii KKM 2025.

Michał Wiśnios, Rafał Bialek

Military University of Technology, Faculty of Electronics,

e-mail: michal.wisnios@wat.edu.pl

Factors affecting the reliability of non-contact displacement measurement based on PSD sensors and LEDs

Keywords: reliability of non-contact displacement measurement, PSD sensors, LEDs

Introduction

Measurements of motion and displacement have accompanied humans since the dawn of time[1,2], but with the development of civilisation and the emergence of new technologies, the precision of such measurements has steadily increased. One of the sought-after measurement methods is that of precise motion and displacement measurement. This article presents an analysis of factors affecting the reliability of a proprietary method of measuring motion and displacement based on PSD sensors that locate the position of unconventional markers built on the basis of wide-angle LEDs moving in space. PSD sensors are, by design, dedicated to locating the displacement of a light point emitted by a light source, preferably a laser, onto the sensor surface. However, the authors' study focused on the analysis of the displacement of a rigid body with six degrees of freedom and the possibility of tracking its displacement in space relative to a fixed reference, which ruled out the use of typical laser sources for this purpose. This issue significantly increased the risk of negative factors affecting the reliability of such measurements. The article presents the research problem of estimating the above-mentioned factors and presents a solution to this problem.

Research problem and research methodology

PSD detectors are designed to precisely determine the position of radiation spots on their surface. They operate on the principle of determining the centre of gravity of the radiation distribution falling on the active surface of the sensor[2]. These devices offer many advantages, such as high positioning accuracy, short response time, wide spectral range and others. However, their use is associated with certain limitations resulting from unevenness and non-linearity, which can negatively affect the accuracy of measurements and the reliability of systems based on this technology [1,2].

PSD detectors can be divided into two basic types: segmented detectors, such as quadrant photodetectors, and detectors based on the lateral effect (lateral effect PSD). Lateral effect detectors are characterised by a wide and linear position detection range, independent of the size of the radiation spot, which is an advantage over segmented detectors [2].

Based on a proprietary numerically controlled stand, a series of tests were performed using an optical measuring microscope, focusing mainly on testing the stability of the location of a single light point in the form of a wide-angle LED.

Results

The results confirmed the application possibilities of the proposed solution, but also revealed areas of non-linear operation of the sensor, occurring in particular at the extreme ranges of the measurement space. The tests also examined the influence of temperature on the measurement result.

Conclusions

The developed measurement method and the elimination of factors affecting the reliability of such measurements have enabled the implementation of a system characterised by the ability to locate objects in space in a non-contact, precise and stable manner.

Literature

1. Małachowski J., Kuchta M., Sybilski K., Wiśnios M., Bialek R., Bialek K., Pietroń K., Walerzak S.: "Sposób akwizycji trajektorii ruchu żuchwy względem podstawy czaszki", Pat.246936, Polska, 16.01.2025.
2. Wiśnios M., Bialek R., Bialek K., Kuchta M.: "Bezkontaktowy pomiar przemieszczenia bazujący na sensorach PSD oraz diodach LED", Krajowa Konferencja Metrologii KKM 2025.

Mateusz Woźniak, Artur Kierzkowski, Paweł Bury

Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, Katedra Eksploatacji Systemów Technicznych

e-mail: mateusz.wozniak@pwr.edu.pl

Badania wstępne ultralekkich dwu- i czterowirnikowców z punktu widzenia niezawodności stabilizacji lotu, wydajności energetycznej oraz opłacalności produkcji

Słowa kluczowe: niezawodność, stabilność lotu, bezzałogowe statki powietrzne

Wprowadzenie

W artykule przedstawiono analizę i porównanie dwóch koncepcji konstrukcyjnych Bezzałogowych Statków Powietrznych (BSP), ze szczególnym uwzględnieniem klasy ultralekkiej, której masa całkowita nie przekracza 250 gramów. Próg ten jest kluczowy z uwagi na regulacje EASA [1], umożliwiające eksploatację w najmniej restrykcyjnej kategorii A1. Dynamiczny rozwój tego segmentu jest możliwy dzięki miniaturyzacji komponentów oraz powszechnemu zastosowaniu technologii druku 3D. Podjęta została próba zestawienia klasycznego quadcoptera (czterowirnikowca) z mniej typowym bicopterem (dwuwirnikowcem) [2] w celu oceny ich efektywności w ultralekkiej klasie wagowej.

Problem badawczy i metoda badawcza

Problem badawczy koncentrował się na zidentyfikowaniu kluczowych różnic między platformami bicoptera i quadcoptera, sprowadzających się do masy poniżej 250 g, w kontekście wydajności, stabilności lotu oraz efektywności energetycznej. Metoda badawcza objęła projektowanie obu konstrukcji w środowisku CAD oraz ich wykonanie z wykorzystaniem technologii druku 3D (FDM). Obydwa drony, o masie poniżej 250 g, zostały następnie poddane wnikliwym testom:

- Badania laboratoryjne (charakterystyka silników i serwomechanizmów w przypadku bicoptera).
- Badania w locie, analizujące precyzję utrzymania pozycji i stabilność, korygowane przy użyciu algorytmów sterowania PID [3]. Dane analityczne, w tym pomiary prądowo-napięciowe, pozwoliły na ocenę rzeczywistego zapotrzebowania na moc i określenie efektywności energetycznej obu konstrukcji.

Wyniki

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że utrzymanie stabilnego lotu bicoptera wymaga bardziej złożonego systemu sterowania, w tym użycia cyfrowych serwomechanizmów o wysokiej precyzji, podczas gdy quadcopter bazuje wyłącznie na zmianie prędkości obrotowej czterech silników. Z analizy efektywności energetycznej wynika, że do utrzymania zawisu quadcopter wymagał mocy rzędu 40 W, natomiast bicopter około 48 W, co czyni quadcoptera bardziej optymalnym energetycznie rozwiązaniem dla większości standardowych misji w klasie ultralekkiej. Bicopter zachowuje jednak przewagę w zakresie kompaktowości i braku wirników w polu widzenia kamery, co może być atutem w specjalistycznych zastosowaniach.

Bibliografia

1. "Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems (Regulations (EU) 2019/947 and 2019/945) - Revision from July 2024.". Available: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/easy-access-rules/easy-access-rules-unmanned-aircraft-systems-regulations-eu>.
2. Y. Qin, W. Xu, A. Lee, and F. Zhang, "Gemini: A Compact Yet Efficient Bi-Copter UAV for Indoor Applications," IEEE Robot Autom Lett, vol. 5, no. 2, pp. 3213–3220, Apr. 2020, doi: 10.1109/LRA.2020.2974718.
3. M. Okasha, J. Krale, and M. Islam, "Design and Experimental Comparison of PID, LQR and MPC Stabilizing Controllers for Parrot Mambo Mini-Drone" Aerospace, no. 6, Jun. 2022, doi: 10.3390/aerospace9060298.

Mateusz Woźniak, Artur Kierzkowski, Paweł Bury

Wrocław University of Science and Technology, Faculty of Mechanical Engineering,
Department of Technical Systems Operation

e-mail: mateusz.wozniak@pwr.edu.pl

Preliminary studies of ultralight twin- and quad-rotor aircraft from the perspective of flight stability reliability, energy efficiency and production profitability

Keywords: reliability, flight stability, unmanned aerial vehicles

Introduction

This article presents an analysis and comparison of two structural concepts for Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), with a particular focus on the ultralight class, where the total mass does not exceed 250 grams. This threshold is crucial due to EASA regulations [1], which allow operation in the least restrictive Category A1. The dynamic development of this segment is possible thanks to the miniaturization of components and the widespread application of 3D printing technology. An attempt was made to juxtapose the classical quadcopter (four-rotor) with the less typical bi-copter (two-rotor) [2] to evaluate their efficiency in the ultralight weight class.

Research problem and research methodology

The Research Problem focused on identifying key differences between bi-copter and quadcopter platforms, both constrained to a mass below 250 g, in the context of performance, flight stability, and energy efficiency. The Methodology involved designing both structures in a CAD environment and their subsequent fabrication using FDM 3D printing technology. Both drones, weighing under 250 g, were then subjected to rigorous testing:

- Laboratory tests (characterization of motors and servomechanisms in the case of the bi-copter).
- Flight tests, analyzing position-holding precision and stability, corrected using PID control algorithms [3]. Analytical data, including current-voltage measurements, allowed for the assessment of real power demand and the determination of the energy efficiency of both designs.

Results

The conducted research found that maintaining stable flight in the bi-copter requires a more complex control system, including the use of high-precision digital servomechanisms, whereas the quadcopter relies solely on changing the rotational speed of its four motors. The energy efficiency analysis showed that the quadcopter required approximately 40 W of power to maintain hover, while the bi-copter required around 48 W.

Conclusions

The research confirms that the quadcopter is a more energy-optimal solution for most standard missions in the ultralight class due to its simpler control mechanisms and lower power consumption during hover. However, the bi-copter retains an advantage in terms of compactness and the absence of rotors in the camera's field of view, which can be an asset in specialized applications. The complexity of the bi-copter's control system, despite its potential structural benefits, results in higher power demand, making the classic quadcopter the more optimal choice for standard ultralight operations.

Literature

1. "Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems (Regulations (EU) 2019/947 and 2019/945) - Revision from July 2024.". Available: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/easy-access-rules/easy-access-rules-unmanned-aircraft-systems-regulations-eu>.
2. Y. Qin, W. Xu, A. Lee, and F. Zhang, "Gemini: A Compact Yet Efficient Bi-Copter UAV for Indoor Applications," *IEEE Robot Autom Lett*, vol. 5, no. 2, pp. 3213–3220, Apr. 2020, doi: 10.1109/LRA.2020.2974718.
3. M. Okasha, J. Kravev, and M. Islam, "Design and Experimental Comparison of PID, LQR and MPC Stabilizing Controllers for Parrot Mambo Mini-Drone" *Aerospace*, no. 6, Jun. 2022, doi: 10.3390/aerospace9060298.

Tadeusz Zaworski, Michał Wachlaczenco, Barbara Kaczmarek

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych

e-mail: tadeusz.zaworski@itwl.pl

Opracowanie i badanie hybrydowych zasobników pirotechnicznych

Słowa kluczowe: lotnictwo, pirotechnika, zasobnik

Wprowadzenie

Artykuł poświęcony jest tematyce lotniczej i przedstawia wieloletnie doświadczenia uzyskane podczas opracowania i badania hybrydowych zasobników pirotechnicznych używanych podczas pokazów lotniczych z pirotechniką na cywilnych samolotach TS-11 Iskra formacji „Polish Sparks Fundacja Białe-Czerwone Skrzydła” z Mielca.

Problem badawczy i metoda badawcza

Zakres pracy dokumentuje czynności, oraz wybrane wyniki związane z przekształceniem pomysłu autorów w bezpieczny i w pełni funkcjonalny wytwór materialny, w tym:

- potrzeby i wymagania Sponsora: Fundacji Białe-Czerwone Skrzydła;
- cywilne przepisy lotnicze i uzgodnienia z Urzędem Lotnictwa Cywilnego;
- krajowe i europejskie przepisy dotyczące wyrobów pirotechnicznych i zasad ich eksploatacji;
- opracowanie koncepcji hybrydowych zasobników pirotechnicznych i zdefiniowanie założeń konstrukcyjnych;
- prace konstrukcyjne z wykorzystaniem nowoczesnych narzędzi informatycznych FEM, CAD/CAM i CFD, opracowanie dokumentacji technicznej i danych sterujących do wykonania elementów wyrobu na maszynach sterowanych numerycznie;
- niezbędne prace badawcze (naziemne i w locie) hybrydowych zasobników pirotechnicznych, systemów odpalania pirotechniki i testowanej pirotechniki;
- prace wdrożeniowe realizowane na dziennych i nocnych pokazach lotniczych; oraz wdrożenie hybrydowych zasobników pirotechnicznych w formacji Polish Sparks Fundacji Białe-Czerwone Skrzydła i wstępne doświadczenia z nadzorowanej ich eksploatacji.

Wyniki

Ww. czynności zostały zilustrowane licznymi przykładami obejmującymi podstawy teoretyczne oraz zobrazowanie wybranych wyników analiz numerycznych, badań laboratoryjnych i pomiarów z wykorzystaniem analogowych i cyfrowych czujników, odbiorników GNSS i autonomicznych rejestratorów cyfrowych mocowanych na pokładzie samolotu jak również analizy materiałów video zarejestrowanych przez komercyjnych operatorów i fotografów z poziomu Ziemi.

Wnioski i podsumowanie

Opracowano i wykonano badania hybrydowych zasobników pirotechnicznych umożliwiających bezpieczną ich eksploatację podczas dziennych i nocnych pokazów lotniczych wykonywanych na samolotach odrzutowych TS-11 Iskra FBCS, jednocześnie uzyskując znaczącą poprawę atrakcyjności pokazów i przewagę technologiczną.

Bibliografia

1. Abłamowicz A, Nowakowski W. Podstawy aerodynamiki i mechaniki lotu. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa, 1980.
2. Milkiewicz A. Praktyczna Aerodynamika i Mechanika Lotu Samolotu Odrzutowego, w tym wysokomanewrowego. Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych. Warszawa, Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych: 2011.
3. Ośrodek Badawczo Rozwojowy w Mielcu. Charakterystyki lotne samolotu TS-11 Iskra. Mielec, Ośrodek Badawczo Rozwojowy Sprzętu Komunikacyjnego: 1979.
4. PN-EN 16263-4:2015-09 - wersja angielska: Wyroby pirotechniczne -- Inne wyroby pirotechniczne -- Część 4: Metody badań. <https://sklep.pkn.pl/pn-en-16263-4-2015-09e.html>.
5. Ustawa z dnia 3 lipca 2002 r. Prawo lotnicze. <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=wdm20021301112>.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Tadeusz Zaworski, Michał Wachlaczenco, Barbara Kaczmarek

Air Force Institute of Technology

e-mail: tadeusz.zaworski@itwl.pl

Development and testing of hybrid pyrotechnic trays

Keywords: aviation, pyrotechnics, tray

Introduction

The article is devoted to aviation topics and presents the long-term experience obtained during the development and testing of hybrid pyrotechnic trays used during air shows with pyrotechnics on civilian TS-11 Iskra aircraft of the "Polish Sparks Foundation White Red Wings" formation from Mielec.

Research problem and research methodology

The activities, research methods and some results involved in transforming the authors' idea into a safe and fully functional material product have been presented and takes into account:

- needs and requirements of the Sponsor: White and Red Wings Foundation;
- civil aviation regulations and arrangements with the Civil Aviation Authority;
- national and European regulations on pyrotechnic products and rules of their operation;
- development of the concept of hybrid pyrotechnic trays and definition of design assumptions;
- construction work with the use of modern FEM, CAD/CAM and CFD computer tools, development of technical documentation and control data for the manufacture of product elements on numerically controlled machines;
- necessary research work (ground and flight) of hybrid pyrotechnic trays, pyrotechnic firing systems and tested pyrotechnics;
- implementation work carried out at day and night air shows; and the implementation of hybrid pyrotechnic trays in the Polish Sparks formation of the White and Red Wings Foundation and preliminary experience of their supervised operation.

Results

The aforementioned activities are illustrated with numerous examples covering theoretical foundations and illustrating selected results of numerical analyses, laboratory tests and measurements using analogue and digital sensors, GNSS receivers and autonomous digital recorders mounted on board aircraft as well as analysis of video footage recorded by commercial operators and photographers from ground level as well as analysis of video footage recorded by commercial operators and photographers from ground level.

Conclusions

Hybrid pyrotechnic trays were developed and tested to enable their safe use during daytime and nighttime air shows performed by TS-11 Iskra FBCS jet aircraft, at the same time significantly improving the attractiveness of the shows and gaining a technological advantage.

Literature

1. Ablamowicz A, Nowakowski W. Podstawy aerodynamiki i mechaniki lotu. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa, 1980.
2. Milkiewicz A. Praktyczna Aerodynamika i Mechanika Lotu Samolotu Odrzutowego, w tym wysokomanewrowego. Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych. Warszawa, Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych: 2011.
3. Ośrodek Badawczo Rozwojowy w Mielcu. Charakterystyki lotne samolotu TS-11 Iskra. Mielec, Ośrodek Badawczo Rozwojowy Sprzętu Komunikacyjnego: 1979.
4. PN-EN 16263-4:2015-09 - wersja angielska: Wyroby pirotechniczne -- Inne wyroby pirotechniczne -- Część 4: Metody badań. <https://sklep.pkn.pl/pn-en-16263-4-2015-09e.html>.
5. Ustawa z dnia 3 lipca 2002 r. Prawo lotnicze. <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=wdu20021301112>.

Piotr Zdanowicz¹, Sławomir Tkaczyk¹, Juraj Jagelcak², Jarosław Korzeb¹, Andrzej Gągorowski¹

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

² Zilinska Univezita v Zilinie

e-mail: piotr.zdanowicz@pw.edu.pl

Ocena narażenia ładunku na drgania pionowe w przestrzeni transportowej dwuosowego samochodu ciężarowego

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo ładunku, uszkodzenia ładunku, badania eksperymentalne

Wprowadzenie

W transporcie drogowym przewożone ładunki podlegają zagrożeniom transportowym (akceleracje, siła odśrodkowa i drgania), wskutek czego może dochodzić do ich uszkodzenia. Najbardziej destrukcyjne zjawiska występują oczywiście podczas wypadków drogowych. Jeśli jednak pominie się tego typu sytuacje, to największe przeciążenia działają na towar w kierunku pionowym. Należy się w tym przypadku spodziewać przyspieszeń nawet rzędu kilku „g”. W kierunku wzdłużnym i poprzecznym takie wartości są nieosiągalne, chyba że samochód uczestniczy w kolizji. Drgania pionowe ładunku, nawet te o umiarkowanej intensywności, mogą powodować destrukcję zarówno opakowań II-rzędowych (deformacja), jak i III-rzędowych (przesunięcie, odchylenie, rozformowanie) spowodowane poluzowaniem niewłaściwie zabezpieczonego ładunku. Wówczas nawet te z pozoru niegroźne oddziaływania w kierunku wzdłużnym i poprzecznym mogą doprowadzić do utraty stabilności paletowej jednostki ładunkowej.

Problem badawczy i metoda badawcza

Z dokonanego przeglądu literatury wynika, że nieliczne prace poświęcone tej tematyce bazują zwykle na testach symulacyjnych i mocno uproszczonych modelach. W celu prawidłowego odwzorowania dynamiki pionowej pojazdu przewożącego ładunek potrzebna jest rzetelna identyfikacja parametrów takiego obiektu, a ponadto weryfikacja eksperymentalna modelu i wyników obliczeń numerycznych. Z tego między innymi względu autorzy niniejszej pracy postanowili wykorzystać w badaniach metodę eksperymentalną. Przeprowadzono liczne pomiary drgań pionowych nadwozia dwuosowego samochodu ciężarowego, poruszającego się po drogach różnej klasy w okolicach miasta Żyliny w Słowacji. Eksperyment zaplanowano tak, aby można było porównywać przyspieszenia pionowe w przedniej i tylnej części przestrzeni ładunkowej pojazdu.

Wyniki

Podczas wstępnej oceny wyników badań eksperymentalnych wykorzystywano czasowe przebiegi przyspieszeń pionowych przedniej i tylnej części platformy ładunkowej pojazdu. Stosując szybką transformatę Fouriera wyznaczono charakterystyki widmowe. W ten sposób określono dominujące częstotliwości drgań. Określono również wartości wybranych parametrów statystycznych, przewidzianych do oceny rozrzutu wyników pomiarów. W tym przypadku posługiwano się wariancją, odchyleniem standardowym, średnią kwadratową, a także kurtozą.

Wnioski i podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań eksperymentalnych stwierdzono przyspieszenia pionowe w przestrzeni ładunkowej pojazdu o amplitudzie nawet przekraczającej 4g. Wykazano jednocześnie, że intensywność tych drgań może być inna w przedniej oraz tylnej części nadwozia samochodu ciężarowego, co zależy między innymi od profilu nierówności drogi, zastosowanego w pojeździe zawieszenia, obciążenia samochodu oraz jego prędkości ruchu. Potwierdzono w ten sposób przypuszczenia autorów, że stopień uszkodzenia przewożonego ładunku może zależeć od jego umiejscowienia w przestrzeni ładunkowej samochodu ciężarowego. W dalszych pracach badawczych powinno się uwzględnić również inne pojazdy użytkowe, w tym samochody dostawcze oraz ciągniki siodłowe z naczepą, dla których należy poddać szczegółowej analizie przyspieszenia wzdłużne i poprzeczne pojawiające się w różnych miejscach przestrzeni ładunkowej oraz te występujące w paletowej jednostce ładunkowej.

Bibliografia

1. Kaminov I.P., Li T., Willner A.E. (2008). Optical Fiber Telecommunications V B, Elsevier, Amsterdam.
2. Embrechts P., Lindskog F., McNeil, A. (2003). Modelling Dependence with Copulas and Applications to Risk Management. W: Handbook of Heavy Tailed Distributions in Finance, ed. S. Rachev, Elsevier, Chapter 8, pp. 329–384.
3. Matyja T.: Assessment of the Pallet Unit Load Stability by Simulation Methods. COMMUNICATIONS. Scientific Letters of the University of Zilina. VOL. 22. No 3/2020. <https://doi.org/10.26552/com.C.2020.3.19-28>.

Piotr Zdanowicz ¹, Sławomir Tkaczyk ¹, Juraj Jagelcak ², Jarosław Korzeb ¹, Andrzej Gagorowski ¹

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

² Žilinská Univerzita v Žiline

e-mail: piotr.zdanowicz@pw.edu.pl

Assessment of cargo exposure to vertical vibrations in the cargo space of a two-axle truck

Keywords: cargo safety, cargo damage, experimental research

Introduction

In road transport, transported cargo is exposed to transport-related hazards (accelerations, centrifugal force, and vibrations), which can lead to damage. The most destructive phenomena, of course, occur during road accidents. However, if such situations are disregarded, the greatest overloads act on the goods in the vertical direction. In this case, accelerations of several “g” should be expected. In the longitudinal and transverse directions, such values are unattainable unless the vehicle is involved in a collision. Vertical vibrations of the cargo, even those of moderate intensity, can cause destruction both of secondary packaging (deformation) and tertiary packaging (displacement, deviation, deformation) due to the loosening of improperly secured cargo. Then even seemingly harmless impacts in the longitudinal and transverse directions can lead to the loss of stability of the pallet unit load.

Research problem and research methodology

From the conducted literature review, it appears that the few studies devoted to this topic usually rely on simulation tests and rather simplified models. In order to accurately reflect the vertical dynamics of a vehicle carrying a load, a reliable identification of such an object's parameters is required, as well as experimental verification of the model and numerical calculation results. For this and other reasons, the authors of this paper decided to use an experimental method in their research. Numerous measurements of vertical vibrations of the body of a two-axle truck, moving on roads of different classes around the city of Žilina in Slovakia, were carried out. The experiment was planned in such a way that vertical accelerations in the front and rear parts of the vehicle's cargo space could be compared.

Results

During the preliminary evaluation of experimental research results, time courses of vertical accelerations of the front and rear parts of the vehicle's cargo platform were used. By applying a fast Fourier transform, spectral characteristics were determined. In this way, the dominant vibration frequencies were identified. The values of selected statistical parameters, intended for assessing the dispersion of measurement results, were also determined. In this case, variance, standard deviation, root mean square, as well as kurtosis were used.

Conclusions

Based on the experimental studies conducted, vertical accelerations in the cargo area of the vehicle were observed, with amplitudes even exceeding 4g. It was also shown that the intensity of these vibrations can vary between the front and rear parts of the truck body, depending, among other things, on the road surface profile, the suspension used in the vehicle, the vehicle load, and its speed. This confirmed the authors' assumption that the extent of damage to the transported cargo may depend on its location in the cargo area of the truck. Further research should also consider other commercial vehicles, including delivery vans and tractor-trailers, for which longitudinal and lateral accelerations occurring in various parts of the cargo area, as well as those appearing in a palletized cargo unit, should be analyzed in detail.

Literature

1. Kaminov I.P., Li T., Willner A.E. (2008). Optical Fiber Telecommunications V B, Elsevier, Amsterdam.
2. Embrechts P., Lindskog F., McNeil, A. (2003). Modelling Dependence with Copulas and Applications to Risk Management. W: Handbook of Heavy Tailed Distributions in Finance, ed. S. Rachev, Elsevier, Chapter 8, pp. 329–384.
3. Matyja T.: Assessment of the Pallet Unit Load Stability by Simulation Methods. COMMUNICATIONS. Scientific Letters of the University of Žilina. VOL. 22. No 3/2020. <https://doi.org/10.26552/com.C.2020.3.19-28>.

Mariusz Zieja ¹, Paweł Gołda ², Justyna Tomaszewska ²

¹ Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, ² Lotnicza Akademia Wojskowa

e-mail: mariusz.zieja@itwl.pl

Integracja metod obliczeń kwantowych w systemach zarządzania ruchem lotniczym

Słowa kluczowe: system zarządzania ruchem lotniczym, metody kwantowe, metody klasyczne

Wprowadzenie

Przedstawiono nowoczesne podejście, oparte na technologiach kwantowych, mające na celu usprawnienie optymalizacji w czasie rzeczywistym w systemach zarządzania ruchem lotniczym (ATM). Tym, co czyni metody kwantowe wartościowym kierunkiem rozwoju dla dużych modeli optymalizacyjnych w ATM, jest ich zdolność do jednoczesnego eksplorowania przestrzeni rozwiązań wysokiego wymiaru oraz reagowania na dynamiczne zmiany w przestrzeni powietrznej. Algorytmy kwantowe mogą zatem wspierać opracowywanie wariantowo-optymalnych planów i harmonogramów przy zachowaniu rygorystycznych ograniczeń operacyjnych. Metody kwantowe znajdują zastosowanie zwłaszcza tam, gdzie klasyczne narzędzia optymalizacyjne napotykają ograniczenia strukturalne lub wysoką złożoność obliczeniową, co obniża ich responsywność w warunkach dynamicznych.

Problem badawczy i metodologia

Jako interesujące podejście do przezwyciężenia słabości klasycznej optymalizacji w ATM, niniejsza praca proponuje analizę algorytmów kwantowych jako alternatywnych mechanizmów wspomagania decyzji. Metody klasyczne często opierają się na sekwencyjnym przeszukiwaniu przestrzeni rozwiązań i mają trudności z obsługą szybko zmieniających się danych operacyjnych. Dlatego przedstawione badanie koncentruje się na identyfikacji konkretnych ograniczeń ustalonych technik optymalizacyjnych oraz na przyporządkowaniu ich możliwościom algorytmów kwantowych. W szczególności analizowano algorytmy kwantowe — takie jak metody wyżarzania kwantowego i metody wariacyjne — w celu oceny, w jakim stopniu ich właściwości obliczeniowe mogą usprawniać proces optymalizacji w dynamicznych środowiskach przestrzeni powietrznej. W ramach projektu opracowano również scenariusz testowy umożliwiający ocenę praktycznej skuteczności metod wspieranych kwantowo oraz ich porównanie z klasycznymi rozwiązaniami odniesienia.

Wyniki

Analiza klasycznych algorytmów pozwala zidentyfikować ich strukturalne słabości w zakresie obsługi dużych, wzajemnie zależnych przestrzeni rozwiązań. Gdy optymalizacja klasyczna musi sprostać złożonym ograniczeniom wysokiego wymiaru oraz konieczności częstej rekonfiguracji wyników, widoczne jest pogorszenie efektywności. Metody kwantowe umożliwiają jednak równoczesną ocenę wielu potencjalnych rozwiązań, co sugeruje, że dla wybranych zadań ATM algorytmy kwantowe mogą oferować większą efektywność.

Znając ograniczenia metod klasycznych oraz teoretyczne zalety podejść kwantowych, możliwe było opracowanie ram porównawczych dla testowania ulepszeń kwantowych. Opracowany scenariusz testowy pokazuje, że procedury kwantowe mogą przynieść korzyści w takich zadaniach, jak bezkolizyjne planowanie, optymalizacja trajektorii czy dynamiczne replanowanie — choć na obecnym etapie rozwój sprzętu kwantowego (szum, liczba kubitów) ogranicza możliwość pełnoskalowej implementacji.

Wnioski

Przedstawiono nowoczesną metodę, opartą na technologiach kwantowych, służącą poprawie procesów optymalizacyjnych w zarządzaniu ruchem lotniczym. Wartość metod kwantowych w złożonych środowiskach ATM wynika z ich zdolności do oddzielenia obciążenia obliczeniowego związanego z eksploracją wielu wariantów rozwiązań od wymagań operacyjnych czasu rzeczywistego. Dlatego narzędzia kwantowe mogą wspierać istniejące algorytmy, dostarczając szybkie i wielowariantowe analizy. Metody kwantowe można stosować zwłaszcza tam, gdzie klasyczna optymalizacja napotyka problemy skalowalności lub ograniczoną responsywność.

Bibliografia

1. Zieja M., Smoliński H., Gołda P. Information systems as a tool for supporting the management of aircraft flight safety. Archives of Transport, Vol. 36, Issue 4, 2015, p. 67-76.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Mariusz Zieja ¹, Pawel Gołda ², Justyna Tomaszewska ²

¹ Air Force Institute of Technology, ² Polish Air Force University

e-mail: mariusz.zieja@itwl.pl

Integration of Quantum Computing Techniques into Air Traffic Management Systems

Keywords: Air Traffic Management System, quantum, classic methods ATM

Introduction

A modern approach, based on quantum technologies, for enhancing real-time optimisation in Air Traffic Management (ATM) systems is presented. What makes quantum methods a valuable direction for large-scale ATM optimisation is their potential to explore high-dimensional solution spaces simultaneously and to react to dynamic changes in the air-space. Therefore, quantum algorithms may support the development of variant-optimal plans and schedules under strict operational constraints. Quantum-based methods can be applied in cases where classical optimisation tools face structural limitations or high computational complexity that reduce their responsiveness in dynamic conditions.

Research problem and research methodology

As an interesting approach to overcoming the weaknesses of classical ATM optimisation, this paper proposes analysing quantum algorithms as alternative decision-support mechanisms. Classical methods often rely on sequential exploration of solutions and struggle with rapidly changing operational inputs. The presented study therefore focuses on identifying the specific limitations of established optimisation techniques and mapping them to quantum capabilities. In particular, quantum algorithms—such as annealing-based and variational methods—are examined with the purpose of assessing how their computational properties may improve optimisation in dynamic airspace environments. As part of the study, a test scenario was formulated to evaluate the practical effectiveness of quantum-enhanced methods and to compare them with classical baselines.

Results

The analysis of classical algorithms enables us to identify structural weaknesses in their handling of large, interdependent solution spaces. When classical optimisation faces high-dimensional constraints and requires frequent re-optimisation, performance degradation becomes evident. Quantum methods, however, allow simultaneous evaluation of multiple candidate solutions, which implies that for selected ATM tasks quantum algorithms may offer improved efficiency. Knowing the limitations of classical and the theoretical strengths of quantum approaches, we are able to generate a comparative framework for testing quantum enhancements. The developed test scenario demonstrates how quantum routines might provide benefits in tasks such as conflict-free scheduling, trajectory optimisation, and dynamic re-planning—although hardware constraints (noise, qubit count) currently limit full-scale applicability.

Conclusions

A modern method, based on quantum technologies, for improving optimisation processes in Air Traffic Management has been presented. What makes quantum approaches valuable for complex ATM environments is their ability to separate the computational burden of exploring variant solutions from real-time operational constraints. Therefore, quantum tools may support existing algorithms by providing rapid, multi-variant analyses. Quantum methods can be applied in such cases where classical optimisation is known to struggle with scalability or responsiveness. The study indicates several promising application areas and provides a test scenario for future validation as quantum hardware matures.

Literature

1. Zieja M., Smoliński H., Gołda P. Information systems as a tool for supporting the management of aircraft flight safety. Archives of Transport, Vol. 36, Issue 4, 2015, p. 67-76.

Patryk Żuchowicz, Konrad Lewczuk
Politechnika Warszawska, Wydział Transportu
e-mail: patryk.zuchowicz.dokt@pw.edu.pl

Metodyczne aspekty oceny bezpieczeństwa pracy wózków widłowych z wykorzystaniem wirtualnej rzeczywistości

Słowa kluczowe: VR, wózki widłowe, bezpieczeństwo, modelowanie symulacyjne

Wprowadzenie

Współczesne przedsiębiorstwa poszukują nowych rozwiązań w celu zwiększenia efektywności operacyjnej, redukcji kosztów oraz poprawy bezpieczeństwa pracy, szczególnie w kontekście Przemysłu 4.0 i 5.0, które kładą nacisk na rozwój zaawansowanych systemów intralogistycznych. Pomimo wielu inicjatyw, wypadki z udziałem wózków widłowych nadal stanowią poważny problem, zwłaszcza wśród niedoświadczonych pracowników zatrudnionych w małych przedsiębiorstwach. Wózki widłowe, choć są nieodzownym elementem infrastruktury magazynowej i umożliwiają efektywny transport, mogą również prowadzić do zdarzeń skutkujących poważnymi urazami, a nawet śmiercią. Rosnące zainteresowanie budzą technologie immersyjne, takie jak wirtualna rzeczywistość (VR), które umożliwiają symulację niebezpiecznych sytuacji w procesie projektowania systemów intralogistycznych i szkolenie operatorów w kontrolowanych warunkach.

Problem badawczy i metoda badawcza

Celem artykułu jest analiza metodycznych aspektów wykorzystania technologii VR do oceny bezpieczeństwa pracy oraz szkolenia operatorów w środowisku magazynowym. Opracowano zintegrowany model symulacyjny z warstwą VR, umożliwiający testowanie różnych scenariuszy operacyjnych, identyfikację obszarów ryzyka oraz analizę zachowań użytkowników w kontrolowanych warunkach wirtualnych. Badania koncentrują się na ocenie potencjału i ograniczeń VR w projektowaniu bezpiecznych systemów logistycznych i redukcji liczby wypadków. Przeprowadzono eksperymenty z udziałem użytkowników obsługujących wózki widłowe w środowisku VR w trybie wieloosobowym. Monitorowano ich położenie w czasie rzeczywistym oraz rejestrowano dane dotyczące potencjalnych kolizji i sytuacji niebezpiecznych, co pozwoliło na identyfikację stref podwyższonego ryzyka i analizę zdarzeń niebezpiecznych w systemie opartym o pracę wózków widłowych.

Wyniki i wnioski

Wyniki badania pokazują, że połączenie symulacji dyskretniej z immersyjnym środowiskiem VR znacznie zwiększa możliwości analizy bezpieczeństwa na etapie projektowania systemu. VR umożliwia realistyczne szkolenie oraz testowanie środków bezpieczeństwa bez narażania pracowników na rzeczywiste zagrożenia. Technologia ta oferuje istotne korzyści takie jak niskokosztowe eksperymenty czy lepsze przygotowanie operatorów. Jednakże wymaga także przezwyciężenia ograniczeń sprzętowych oraz adaptacyjnych. Pomimo tych wyzwań, VR stanowi perspektywiczne narzędzie do oceny ryzyka oraz iteracyjnego doskonalenia systemów intralogistycznych.

Bibliografia

1. Michael, Judd, and Serap Gorucu. "Analysis of Forklift and Pallet Jack Injuries in Wood-Related Industries." *Forest Products Journal* 70.4 (2020): 403-408.
2. Saric, Stephen, et al. "Analysis of forklift accident trends within Victorian industry (Australia)." *Safety science* 60 (2013): 176-184.
3. Kim, Kwan Woo. "Characteristics of forklift accidents in Korean industrial sites." *Work* 68.3 (2021): 679-687.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Patryk Żuchowicz, Konrad Lewczuk

Warsaw University of Technology, Faculty of Transport

e-mail: patryk.zuchowicz.dokt@pw.edu.pl

Methodological aspects of forklift safety assessment using virtual reality

Keywords: VR, forklifts, safety, simulation modelling

Introduction

Modern companies are seeking new solutions to enhance operational efficiency, reduce costs, and improve occupational safety, particularly in the context of Industry 4.0 and 5.0, which emphasise the development of advanced intralogistics systems. Despite numerous initiatives, forklift accidents remain a serious problem, especially among inexperienced employees in small enterprises. Although forklifts are an essential component of warehouse infrastructure and enable efficient material handling, they can also cause incidents leading to severe injuries or even fatalities. Immersive technologies, such as virtual reality (VR), are gaining increasing attention, as they allow for the simulation of hazardous situations during the design of intralogistics systems and provide operators with training opportunities in controlled environments.

Research problem and research methodology

The aim of this article is to analyse the methodological aspects of using VR technology to assess occupational safety and to train operators in warehouse environments. An integrated simulation model with a VR layer was developed, enabling the testing of various operational scenarios, the identification of risk areas, and the examination of user behaviour in controlled virtual settings. The research focuses on evaluating the potential and limitations of VR in designing safe logistics systems and reducing accident risks. Experiments were carried out with forklift operators in a multi-user VR environment. Their locations were monitored in real time, and data on potential collisions and hazardous situations were recorded, allowing for the identification of high-risk areas and the analysis of hazardous events in a forklift-based system.

Results and conclusions

The findings indicate that combining discrete-event simulation with an immersive VR environment substantially enhances the possibilities for safety analysis during the system design phase. VR enables realistic training and the testing of safety measures without exposing employees to actual hazards. This technology offers considerable benefits, including low-cost experimentation and improved operator preparedness. However, it also entails certain challenges, particularly related to hardware requirements and user adaptation. Despite these limitations, VR remains a promising tool for risk assessment and the iterative improvement of intralogistics systems.

Literature

1. Michael, Judd, and Serap Gorucu. "Analysis of Forklift and Pallet Jack Injuries in Wood-Related Industries." *Forest Products Journal* 70.4 (2020): 403-408.
2. Saric, Stephen, et al. "Analysis of forklift accident trends within Victorian industry (Australia)." *Safety science* 60 (2013): 176-184.
3. Kim, Kwan Woo. "Characteristics of forklift accidents in Korean industrial sites." *Work* 68.3 (2021): 679-687.

Jakub Żywiec, Mateusz Rożnowski, Dawid Szpak, Barbara Tchórzewska-Cieślak
Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury,
Katedra Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków

e-mail: j.zywiec@prz.edu.pl

Metoda szacowania czasu naprawy sieci wodociągowej

Słowa kluczowe: czas naprawy, sieć Bayesa, zaopatrzenie w wodę

Wprowadzenie

System wodociągowy jest zaliczany do infrastruktury krytycznej i musi cechować się wysokim poziomem niezawodności. Jego zadaniem jest zaopatrzenie konsumentów w odpowiednią ilość wody o właściwej jakości, zapewniając wymagane ciśnienie wody w dowolnej chwili czasu [1]. Zadanie to w miarę możliwości powinno być realizowane również w czasie trwania sytuacji kryzysowej związanej np. z wystąpieniem awarii rurociągów. W czasie awarii przedsiębiorstwo wodociągowe powinno zapewnić zaopatrzenie w wodę z innych źródeł np. beczkowszy. Problematyczne jest oszacowanie czasu trwania naprawy awarii sieci wodociągowej, na który wpływa wiele czynników np. rodzaj sieci, średnica rury czy materiał rury.

Problem badawczy i metoda badawcza

Celem pracy było opracowanie metody szacowania czasu naprawy sieci wodociągowej. Wykorzystano sieć Bayesa [2] do modelowania zależności między czasem naprawy sieci wodociągowej a zidentyfikowanymi czynnikami tj. rodzajem sieci wodociągowej, średnicą rury oraz materiałem rury. Do modelowania bayesowskiego wykorzystano wartości prawdopodobieństwa naprawy sieci wodociągowej w trzech kategoriach czasowych: <1 doba, od 1 do 3 dób oraz >3 doby, z uwzględnieniem wymienionych czynników, które wyznaczono na podstawie danych eksploatacyjnych z sieci wodociągowej miasta A z okresu 2019-2023.

Wyniki

Przeprowadzono estymację czasu naprawy dla 3 przypadków awarii sieci wodociągowej. Analizowane awarie dotyczą: przyłącza wodociągowego z PVC o średnicy 40mm; sieci rozdzielczej z PE o średnicy 150mm oraz sieci magistralnej z żeliwa o średnicy 400mm. Najkrótszy czas naprawy wyznaczono dla przyłącza wodociągowego - 17,54 h, dla sieci rozdzielczej czas naprawy wynosił 18,31 h, z kolei najdłuższy czas naprawy wyznaczono dla sieci magistralnej - 32,35 h.

Wnioski i podsumowanie

Naprawy przyłączy wodociągowych o niewielkich średnicach wymagają mniejszego nakładu pracy, w porównaniu do rury o dużych średnicach, tworzących sieć magistralną, wymagających podczas naprawy bardziej skomplikowanych działań oraz wykorzystania specjalistycznego sprzętu. Materiał rur również ma wpływ na czas naprawy, co związane jest z jego właściwościami technicznymi np. rury wykonane z tworzyw sztucznych mają mniejszy ciężar, co przekłada się na szybkość transportu i prowadzenia prac budowlanych, w stosunku do ciężkich rur żeliwnych czy stalowych. W pracy przedstawiono metodę szacowania czasu trwania naprawy awarii sieci wodociągowej. Znajomość czasu trwania awarii sieci wodociągowej pozwala na zabezpieczenie odpowiednich środków kryzysowego zaopatrzenia w wodę. Informując odbiorców o czasie braku dostaw wody, pozwala się im na odpowiednie przygotowanie, co ma wpływ na ograniczenie stresu związanego z utratą dostępu do wody wodociągowej.

Bibliografia

1. Kwietniewski, M.; Rak, J. (2010). Niezawodność Infrastruktury Wodociągowej i Kanalizacyjnej w Polsce; Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN, Warszawa.
2. Jensen, F.V. (1996). An Introduction to Bayesian Networks. UCL Press Ltd., Londyn.



54th WINTER SCHOOL ON RELIABILITY

January 2026

Jakub Żywiec, Mateusz Rożnowski, Dawid Szpak, Barbara Tchórzewska-Cieślak
Rzeszów University of Technology, Faculty of Civil and Environmental Engineering and Architecture,
Department of Water Supply and Sewage Systems

e-mail: j.zywiec@prz.edu.pl

Method of estimating the repair time of a water supply network

Keywords: bayesian network, repair time, water supply

Introduction

The water supply system is considered critical infrastructure and must be characterized by a high level of reliability. Its task is to supply consumers with the appropriate quantity of water of the appropriate quality, ensuring the required water pressure at all times [1]. This task should be carried out, also during a crisis situation, such as a pipeline failure. During a failure, the water company should ensure water supply from other sources, such as mobile water tankers. Estimating the repair time for a water supply failure is problematic, as it is influenced by many factors, such as the type of network, pipe diameter and pipe material.

Research problem and research methodology

The aim of this study was to develop a method for estimating water supply network repair time. A Bayesian network [2] was used to model the relationship between water supply network repair time and identified factors, i.e., water supply network type, pipe diameter and pipe material. Bayesian modeling utilized probabilities of water supply network repair in three time categories: <1 day, 1 to 3 days, and >3 days, taking into account the above-mentioned factors. The probabilities were determined based on operational data from the water supply network of city A from the 2019-2023 period.

Results

Repair time estimates were conducted for three water supply network failures case studies. The failures analyzed included a 40mm diameter PVC water supply connection; a 150mm diameter PE distribution network; and a 400mm diameter cast iron main network. The shortest repair time was determined for the water supply connection: 17.54 hours; for the distribution network the time was 18.31 hours; and the longest repair time was determined for the main network: 32.35 hours.

Conclusions

Repairs to small-diameter water connections require less labor compared to large-diameter pipes that form the main network, which require more complex repairs and the use of specialized equipment. Pipe material also influences repair time, which is related to its technical properties. For example, plastic pipes are lighter, which translates into faster transportation and construction compared to heavy cast iron or steel pipes. This paper presents a method for estimating the repair time for water supply failures. Knowing the duration of a water supply failure allows for the provision of appropriate crisis water supply resources. Informing customers about the duration of the water supply interruption allows them to prepare appropriately, which reduces the stress associated with losing access to tap water.

Literature

1. Kwietniewski, M.; Rak, J. (2010). *Niezawodność Infrastruktury Wodociągowej i Kanalizacyjnej w Polsce*; Komitet Inżynierii Łądowej i Wodnej PAN, Warszawa.
2. Jensen, F.V. (1996). *An Introduction to Bayesian Networks*. UCL Press Ltd., Londyn.