

Journal of TransLogistics

Volume 8(18), number 1, 2022

samoobsługowych to tylko kilka z licznych nowości, jakie będzie miał
zaoferowania terminal przed oddaniem go do użytku odbędą s
intensywne testy zintegrowanych systemów lotniskowych tak, aby
konieczne procedury od samego początku użytkowania były w pełni
sprawne i satysfakcjonujące dla pasażerów, którzy bardzo cenią
terminal natomiast będzie gotowy w 2020 roku zostanie zbudowany na
1080 hektarach gruntu changei airport posiadające 500000m2 będzie
stanie obsługiwać ponad 25 milionów osób rocznie, w tym obsługiwana je
również poprawa infrastruktury drogowej, aby umożliwić łatwy dostęp
do terminali oczekujących na lot w holu lotniska changei znajduje się gre
wall, czyli ściana bujnej, egzotycznej roślinności, która ma 300 m szerokoś
i jest wysoka na kilka pięter wysokości na lotnisku znajduje się t
motylarnia, 100-metrowy ogród z wodospadem i ponad tysiąc
motyli różnych gatunków pasażerowie mają do dyspozycji ogród
kaktusowy, słonecznikowy, orchidei czy też ogród paproci a zmęcze
podróżą mogą też skorzystać z specjalnych sypialni, centrum i basen
Miłośnicy gier komputerowych skorzystają ze strefy, gdzie filmy i gry wideo
prezentowane w trzech wymiarach dodatkową atrakcją dla pasażerów je
wielka zjeżdżalnia wysokości zainstalowane przyrządy do obsłu
bezpiecznego lądowania samolotów w każdych warunkach pogodowych
nowocześniejsze i większe rosty również wymagania wobec ich mie

**LOGISTICS
SCIENCE CLUB**



Wrocław University
of Science and Technology

BazTech



Faculty
of Mechanical
Engineering

Journal of TransLogistics

Volume 8(18), number 1, 2022



Wrocław University of Science and Technology Publishing House
Wrocław 2022

Pawel Zajac (Editor-in-Chief, Secretary of the Editorial Board)
Wioleta Nowak (Deputy Editor-in-Chief)

Editorial Staff: Weronika Gąsior (Typesetting and text makeup)
Dominika Kaczor (Typesetting and text makeup)
Paulina Kępa (Editorial secretary)
Ewa Mardeusz (Typesetting and text makeup)
Karol Zajac (Webmaster)
Antoni Witczak (Cover design)

English proofreading: Biuro Tłumaczeń Alingua Sp. z o. o.
10/5 Szlak st. 3, 1161 Kraków

Publisher: Wrocław University of Science
and Technology Publishing House
(WUST Publishing House)
27 Wybrzeże Stanisława Wyspiańskiego st.,
50-370 Wrocław, Poland
<http://www.oficyna.pwr.edu.pl/>

Address for correspondence: Journal of TransLogistics
48 Smoluchowskiego st., room 12, building “B-8”,
50-371 Wrocław, Poland
mail: jtl@pwr.edu.pl

Free access: <https://www.dbc.wroc.pl/dlibra/?language=en>
<https://journaloftranslogistics.pwr.edu.pl/>

All rights reserved. No part of the Journal of TransLogistics (ISSN 2450-5870), either in whole or in part, may be reproduced electronically, photographically, or otherwise without permission of the publisher and the copyright holders.

ISSN 2450-5870

DOI: <https://doi.org/10.37190/JoT2022>

Copyright by WUST Publishing House, Wrocław 2022

EDITORIAL BOARD

Prof. Tomasz Nowakowski, DSc, PhD, Eng. – Wrocław University of Science and Technology
Chair of Editorial Board

Prof. Ivona Bajor, PhD – University of Zagreb, Croatia

Prof. Jose A. F.O. Correia – University of Porto, Portugal

Prof. Egidijus Dragašius, PhD, Eng. – Kaunas University of Technology, Lithuania

Prof. Oleg Gavrysh – National Technical University of Ukraine, Ukraine

Prof. Krzysztof Jamrozak, PhD, Eng. – Wrocław University of Science and Technology, Poland

Prof. Alica Kalasowa, PhD – University of Zilina, Slovakia

Prof. Artur Kierzkowski PhD, Eng. – Wrocław University of Science and Technology, Poland

Mariusz Kosobudzki, PhD, Eng. – Wrocław University of Science and Technology, Poland

Stanisław Kwasniowski, PhD, Eng. – Wrocław University of Science and Technology, Poland

Prof. Grzegorz Lesiuk, PhD, Eng. – Wrocław University of Science and Technology, Poland

Prof. Tadeusz Lewandowski, PhD, Eng. – Wrocław University of Science and Technology, Poland

Prof. Matevž Obrecht, PhD – University of Maribor, Slovenija

Prof. Viorel Paunoiu, Dr. Eng. – Universitatea Dunarea de Jos Galati, Romania

Prof. Tetiana Roik – National Technical University of Ukraine, Ukraine

Prof. Tomislav Rožić, Ph.D – University of Zagreb, Croatia

Prof. Michał Szaśiadek, PhD, Eng. – University of Zielona Góra, Poland

Prof. Vesna K Spasojević-Brkić, Eng. (Head of Department) – University of Belgrade, Serbia

Prof. Roman Stryjski, PhD, Eng. – University of Zielona Góra, Poland

Prof. David Valis PhD, Eng. – University of Defence in Brno, Czech Republic

Prof. Waldemar Wozniak, PhD, Eng. – University of Zielona Góra, Poland

Mateusz Zajac, PhD, Eng. – Wrocław University of Science and Technology, Poland

Paweł Zajac, PhD, Eng. – Wrocław University of Science and Technology, Poland

The Journal of TransLogistics (ISSN 2450-5870) is indexed in the Polish Technical Journal Contents database – BAZTECH and the database of the Digital Scientific and Professional Polish Electronic Journals (ARIANTA).

All the scientific articles have received two positive reviews from independent reviewers.

Our impact factor is not yet registered

REVIEWERS (2022)

Ivona Bajor (HR)
Anna Brdulak (PL)
Egidijus Dragašius (LT)
Krzysztof Jamroziak (PL)
Anna Janicka (PL)
Anna Jodejko-Pietruczuk (PL)
Sławomir Kciuk (PL)
Artur Kierzkowski (PL)
Tomasz Kisiel (PL)
Mariusz Kosobudzki (PL)
Stanisław Kwaśniowski (PL)
Krzysztof Lewandowski (PL)
Augustyn Lorenc (PL)
Tomasz Nowakowski (PL)
Paulina Golińska-Dawson (PL)
Tomislav Rožić (HR)
Michał Sąsiadek (PL)
Emilia Skupień (PL)
Sylvia Werbińska-Wojciechowska (PL)
Waldemar Woźniak (PL)
Mateusz Zając (PL)
Paweł Zajac (PL)

INFORMATION FOR AUTHORS

Journal of TransLogistics (ISSN 2450-5870) is published by the students of LOGISTICS Research Group, which has been active at Wroclaw University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering (since 2004). The invitation to publish a scientific article is addressed especially to those who are at the beginning of their scientific career: they have already written their engineering or master thesis, perhaps they are working on their doctorate, on their invention. The editorial staff, made up of young people, will guess your fears before writing your first article and do their best to make the submission process go smoothly.

The annual scope

- Works of Student Research Groups that are summaries of stages or entire research projects,
- Trends and determinants of development in transport logistics,
- Strategy analysis and formulation in transport logistics,
- Logistics centers for intermodal transport of integrated cargo units – aspects of organization, operational technology and applied technology,
- Automatic identification of vehicles/cargoes/persons in logistics and transportation systems,
- Electronic documents in transport and logistics – EDI (electronic document interchange), e-signature,
- Packaging and storage technologies in logistic transport chains (cold supply chains),
- Logistic issues in water transport (inland and maritime),
- Logistic issues in air transport,
- Logistic issues of pipeline transport,
- Logistically integrated vehicle recycling system,
- Logistic issues in transportation systems that operate autonomous vehicles and robots,
- Vehicle (including electric) traffic engineering and theory,
- The Journal is not closed to publications from across the field of mechanical engineering.

Terms and conditions of publication

The annual Journal of TransLogistics (ISSN 2450-5870) publishes only original papers written in English or in Polish. English translations of the title, summary and key words are done by the Author after being notified by the Editorial Office on the outcome of the review process and after making the necessary adjustments in accordance with the suggestions of the referees. Acceptance of papers for publication is based on two independent reviews commissioned by the Editor. Publication fee: free of charge.

Word (docx) file containing the content of the article should be sent to the editorialsystem: <https://www.editorialsystem.com/editor/tlog/>

Technical requirements

The manuscript should include: name of authors, title, abstract and keywords that should complement the title and abstract (in Polish and in English), the text in Polish and English with a clear division into sections).

The Editor reserves the right to abridge and adjust the manuscript. All submissions should be accompanied by a submission form.

Detailed guidelines for Authors, including evaluation criteria, can be found on the journal's website <https://journaloftranslogistics.pwr.edu.pl/>

Editor contact info

Editorial Office of "Journal of TransLogistics", 48 Smoluchowskiego st., 50371 Wrocław, Poland

No text or photograph published in the "Journal of TransLogistics" may be reproduced without the Editor's written consent.



Politechnika Wroclawska

LOGISTICS
KOŁO NAUKOWE

WYDZIAŁ
MECHANICZNY



PARTNERZY ZŁOCI



PARTNERZY SREBRNI



PATRON HONOROWY



PATRONI MERYTORYCZNI



PATRON MEDIALNY



-
- 11 Kacper KOZIOŁ**
THE ART OF ADAPTATION: HOW TO ATTRACT CUSTOMERS
AND INCREASE EFFECTIVENESS OF RETAIL STORES IN A
VUCA WORLD
- 25 Blanca María GUERRERO MORENO**
SIMULATION STUDY ON A WAREHOUSE PICKING PROCESS
TAKING INTO ACCOUNT A PREDETERMINED ORDER OF
FURTHER GOODS LOADING
- 41 Krystian GOLEŃ**
ANALYSIS AND IMPROVEMENT OF THE LOGISTIC STORAGE
SYSTEM BY MEANS OF STORING TYPICAL PALLET UNITS IN A
RACK WITH ENERGY RECOVERY
- 61 Bartłomiej LOREK, Rafał BERNAT, Mariusz KOSOBUDZKI**
ANALYSIS OF THE STRUCTURE AND OPERATION OF THE
SCORPIO X ROVER SUSPENSION SYSTEM
- 73 Mariusz KOSOBUDZKI, Piotr ŁAZIK**
ADAPTATION OF THE ROS SYSTEM TO CONTROL THE
SCORPIO AUTONOMOUS VEHICLE
- 85 Oliwia KAMIŃSKA, Małgorzata NOWAK**
RISK MANAGEMENT IN AUTOMOTIVE LOGISTICS SYSTEMS,
OLIWIA KAMIŃSKA
- 101 Julia LINDSTEDT, Katarzyna ŁANGOWSKA**
RISKS OCCURRING IN SANITARY TRANSPORT
- 113 Adrianna OCHOCKA**
ANALYSIS AND DIAGNOSIS OF THE SYSTEM OF RECYKLING
OF STAND-OUT VEHICLES (SWE) IN POLAND
- 129 Ewa MARDEUSZ**
INTERNAL COMBUSTION ENGINES IN THE AGE OF
ELECTROMOBILITY
- 139 Zofia PAPIEROWSKA**
INFORMATION TECHNOLOGY USED IN MILITARY LOGISTICS

- 11 Kacper KOZIOL**
SZTUKA ADAPTACJI: JAK PRZYCIĄGNĄĆ KLIENTÓW I
ZWIĘKSZYĆ EFEKTYWNOŚĆ DYSKONTÓW W ŚWIECIE VUCA
- 25 Blanca María GUERRERO MORENO**
BADANIE SYMULACYJNE PROCESU KOMPLETACJI
MAGAZYNOWEJ Z UWZGLĘDNIENIEM USTALONEJ
KOLEJNOŚCI DALSZEGO ZAŁADUNKU TOWARU
- 41 Krystian GOLEŃ**
ANALIZA I USPRAWNINIENIE LOGISTYCZNEGO SYSTEMU
MAGAZYNOWEGO POPRZEZ ZASTOSOWANIE SKŁADOWANIA
TYPOWYCH JEDNOSTEK PALETOWYCH W REGALE
Z ODZYSKIEM ENERGII
- 61 Bartłomiej LOREK, Rafał BERNAT, Mariusz KOSOBUDZKI**
ANALIZA BUDOWY I DZIAŁANIA UKŁADU ZAWIESZENIA
ŁAZIKA SCORPIO X
- 73 Mariusz KOSOBUDZKI, Piotr ŁAZIK**
ADAPTACJA SYSTEMU ROS DO STEROWANIA POJAZDEM
AUTONOMICZNYM SCORPIO
- 85 Oliwia KAMIŃSKA, Małgorzata NOWAK**
ZARZĄDZANIE RYZYKIEM W SYSTEMACH LOGISTYCZNYCH
BRANŻY MOTORYZACYJNEJ
- 101 Julia LINDSTEDT, Katarzyna ŁANGOWSKA**
ZAGROŻENIA WYSTĘPUJĄCE W TRANSPORCIE SANITARNYM
- 113 Adrianna OCHOCKA**
ANALIZA I DIAGNOZA SYSTEMU RECYKLINGU POJAZDÓW
WYŁĄCZONYCH Z EKSPLOATACJI (SWE) W POLSCE
- 129 Ewa MARDEUSZ**
SILNIKI SPALINOWE W DOBIE ELEKTROMOBILNOŚCI
- 139 Zofia PAPIEROWSKA**
INFORMATYCZNE TECHNOLOGIE WYKORZYSTYWANE
W LOGISTYCE WOJSKOWEJ

Kacper KOZIOŁ*

DOI: https://doi.org/10.37190/JoT2022_01

THE ART OF ADAPTATION: HOW TO ATTRACT CUSTOMERS AND INCREASE EFFECTIVENESS OF RETAIL STORES IN A VUCA WORLD

Keywords: *retail, stores, consumer, change*

In the study the author presented the adjustments implemented by various business entities operating within the retail industry and their impact on the competitiveness of reviewed discount stores. The companies analysed are considered as key players within the Polish retail market classified by the number of shops in each shop chain, number of customers attracted (also known as market penetration) and income from sales. Before the study, the author performed a literature search. In the first part of the article, the readers can find information presenting the operational background –a number of definitions, such as retailing and black swan, have been adduced to introduce the topic. Subsequently, the writer describes the scale of unexpected incidents affecting specific parts of society. Next paragraphs highlight the consumer trends of 2022 and their influence on customers. Furthermore, the author of the study presents the advantages of retail and market structure based on the size of outlets. In the last part, the readers can learn about the activities taken by several companies (Biedronka, Lidl, Netto, Aldi and Żabka) in recent years that created a difference in the results achieved by them.

1. INTRODUCTION

1.1. CHANGE A PARADIGM: A VUCA WORLD IS HERE

Each person living on Earth has their own life filled with activities, relations and values. Majority of us try to find our own rhythm and seek habits that allow us to feel calm and self-confident. Unfortunately, the world (whose pace is endlessly changing) does not allow us to do it. But has it ever been possible to control everything and follow the plans without any changes? People can prepare themselves (better or worse), but there is always a chance that something unexpected occurs. It is perfectly described by Vegetius, a writer of a Later Roman Empire, who claimed “Si Vis Pacem, Para Bellum” which means “If you want peace, prepare for war” [1].

* Naukowe Koło Logistyki DIALOG, Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach

Those words are universal and apply both to the Middle Ages and contemporary times. Does that mean that we should not seek stabilisation? We should definitely try but with a changed paradigm: by taking the open-minded perspective – with the application of the consciousness that we live in a VUCA world that forces us to adapt to the unstoppable changes. Surrounded by the volatility, uncertainty, complexity and ambiguity each person or business entity can adjust their point of view and evolve – putting up with the fact that changes will be constant may redirect a person’s fixed mindset into growth mindset and, as a consequence, make it react better (in private and professional life) at the moment of the next change – no matter if the change was predicted or not.

2. BLACK SWANS

2.1. DEFINITION

During the last few years, we have all been affected by the evolving circumstances of the phenomena that have had a tangible impact on the world we are living in. Referring to Nassim Taleb’s masterpiece “The Black Swan. The Impact of the Highly Improbable” we classify such improbable phenomena as black swans. Such events are described by the following features:

- “it is an outlier, as it lies outside the realm of regular expectations”
- “it carries an extreme impact”
- “human nature makes us concoct explanations for its occurrence after the fact, making it explainable and predictable” [2]

2.2. EXAMPLES OF BLACK SWANS

Everyone has been affected by the black swans that appeared in their own lives. Each person could have their private black swans (for example financial problems or unexpected diseases) that might turn one’s world upside down. Beyond personal disasters affecting an individual or a small group of people, over the last year or so millions of people suffered from black swans that impacted society on a bigger scale. The things that made a real difference in our daily lives, decisions we took during lockdown periods and the choices taken nowadays afterwards could be divided. The factor that classifies the events into three groups could be the extent of impact: worldwide, continental and national. Their examples have been highlighted in table 1.

Tab. 1. Black swans: Scale of impact and examples of incidents [3]

Scale of impact	Examples of incidents
Worldwide	COVID-19 pandemic
	Military conflict between Russia and Ukraine causing the need for adjusting the energetic mix
	Suez Canal obstruction
	Recession and economic slowdown
Continental	Increasing pace of the technology development and its implementation into the businesses
	Political changes
	European Union regulations
National	Contamination of the second biggest river in Poland – the Oder

As you can see in the table, if we are taking into consideration all of the changes that happened – starting from the global ones that affected the majority of the world's population – we have to consider coronavirus and its consequences. It reflected in isolation, closed businesses (temporarily due to the restrictions and permanently – as a result of the bankruptcies of the companies which could no longer operate). Also the war in the eastern Europe had many crucial effects. To name just a couple of this conflict's consequences, several countries have taken actions related to adjusting their energy mixes (to increase their independence from gas that has been transported from Russia in the past). Global supply chains have also been afflicted by limitations such as economic sanctions and lowered commercial exchange. The examination should also include the evaluation of food supply chains – firstly it caused disruptions of production in Ukraine (which is among the biggest agricultural producers in the world – the country is leading among exporters of sunflower (responsible for 20,1%) and its derivative products – sunflower oil (36,3%) and sunflower meal (41,5%). Additionally, it is a significant exporter of such crops as rapeseed, corn, barley and wheat [4]). Apart from that, other nations, especially in Africa – for instance Egypt, which is the world's biggest wheat importer [5] – had problems with grain supplies. Such a situation was caused by problems with sea transportation. In March 2021, the ship known as Ever Given was stuck and blocked the Suez Canal stopping the transportation of goods for one week causing plenty of delays that lasted for months. One year later the Russian invasion stopped the deliveries from ports in Odessa, Chornomorsk and Yuzhne for the next 5 months. In the aftermath, the shortages caused enormous increases in the prices of baked goods. It emphasizes the last of the examples mentioned in the table above – global financial problems. In this case Egyptian authorities passed a resolution that set a fixed price of commercially sold bread to make it affordable to common people, as it is the basic product in their essential food product.

Furthermore, we had continental happenings. The occurrences that had an international impact across Europe were political changes (for instance related to the United Kingdom – leaving the European Union or death of Queen Elizabeth II) and decisions of the European Union (ban for new fossil-fuel cars from 2035 [6]). Simultaneously, we have all experienced accelerated implementation of remote technologies: online shopping or working and schooling from home.

Last but not least, in summer 2022 we had our internal problem of water contamination as Oder’s chemical pollution affected the ecosystem by killing thousands of animals. Even though the fish that are available in the most visited shops come from different sources, the devastating rumours linked with that subject might decrease the demand on fish and seafood. [7]

All of the above cases had a contribution to the shopping preferences – they compelled people to modify their consumer behaviours. Subconsciously the society tended to verify the judgements and decision-making processes in order to optimise them. Such reflections and actions taken have played an important role in the last months – this topic is described in more detail in the next chapter.

3. CONSUMER TRENDS

3.1. TOP 10 GLOBAL CONSUMER TRENDS 2022



Fig. 1. Top 10 Global Consumer Trends 2022 [8]

According to the research performed by Euromonitor, released in January 2022, entitled “Top 10 Global Consumer Trends 2022”, the consumers changed their minds and the values compared to the previous years (for example considering the year 2021). The factors described at the beginning of the essay turned the world

upside down, causing a huge part of society to increase their inner needs related to the most basic needs described in Abraham Maslow's hierarchy of needs – physiological, safety and belongingness [9]. The willingness to fulfil them shows up in several consumer behaviours:

- **backup planners** – being prepared for product shortages encourages the consumers to seek alternatives (both internal – within the same company and external – offered by competitors). Awareness of failure in purchasing the required products or services forced a lot of people to search for the desired articles in different shops. Additional opportunities allowed them to be more flexible and, despite of initial dissatisfaction, in the long run single-use substitutes could become first choice products for the customers,
- **digital seniors** – in the past computer illiteracy was one of the biggest threats at the point of new technology implementation, and for plenty of people it is still an unsolvable problem. The older the individual is, the more habits that person has. As a lower variety of stimuli occur the more stable life seems to be. The low probability of being shocked or disappointed let baby boomers and generation X representatives feel comfortable. It is reflected in inclination towards buying in person rather than through e-commerce channels. On the one hand, trying to keep a daily or weekly routine and keeping the habits creates an impression of stabilisation in the VUCA world. On the other hand, parents who did not have a possibility of working remotely or at least in hybrid mode were forced to leave their children with their retired, already unemployed grandparents. Such catalyst and youths expertise could support elderly people in becoming a new group that takes advantages of online shopping,
- **financial aficionados** – people have experienced price hikes due to the economic situation, which deteriorates with each new month. Accelerating inflation rate (which does not seem to slow down) pushes society into more conscious decisions and puts everyone in a position where all have to choose between accepting higher prices and looking for savings through other options, such as already described backup planners. Nonetheless, it is worth paying attention to the shoe-leather cost – this phenomenon is described as “the time and effort you spend to minimize the effect inflation has on your finances.” [10] There is no doubt that lowered expenses let an individual have more money for other spendings. However shoe-leather cost refers to such situations as browsing the advertising materials for hours for savings equal to small amounts not exceeding an hourly rate which could be spent on different, more-profitable activities,
- **the great life refresh** – after more than one year spent with plenty of governmental limitations and restrictions disallowing people to keep their bonds and relationships as strong as those were before the first outbreak of the pandemic in 2020, the society could enjoy liberty which was underestimated prior to coronavirus. Fear of losing a job, family member or travel restrictions to countries

where the number of COVID-19 cases was growing showed us how valuable asset freedom is. As soon as the national and international authorities assured the public opinion that travelling (via public transport and abroad) would be allowed again the boom started. Plenty of tourists appeared in places that had not seen crowds for a long time. At the same time horeca channel could offer better services – the entities forming it tried to convince customers to eat out via guaranteeing sanitary conditions and products of the highest quality,

- **the socialisation paradox** – last but not least of the trends that could be considered as the most influential happenings in 2022. As the research says, “76% of consumers took health and safety precautions when leaving their homes in 2021”. Since the appearance of the coronavirus people had a wish to meet with their loved ones. If we sum it up with *the great life refresh*, described in the previous paragraph, people seemed to be more careful while they socialised and spend time in places filled with unknown people. In parallel, all kinds of shops – from small groceries through discount stores and supermarkets up to hypermarkets – could breathe a sigh of relief (literally and lyrically as the shoppers could enter stores without having to cover their mouth with masks). Cancellation of restrictions related to the possibility of being infected by COVID-19 had an enormous impact on customers, who were not so frightened anymore. This change has also been caused by the awareness of mental health – analyses of the data presented by the Lancet Public Health released in 2021 showed that the prevalence of depression symptoms applies to 5-10%, depending on the country. [11]

3.2. OPPORTUNITIES

Nevertheless, the existence of all of the trends that are presented above is undisputable – we have to take a look at new possibilities. In spite of all suffering and sadness brought by the black swans described earlier, the trends highlight that there is also a bright sight of the pandemic: the widely understood choice we have all been given. If we were to get into details, each of the trends mentioned could be given an example:

- backup planners allowed us to try different products and pick what we want based on most valued features – as personal priorities evolved, it resulted in focusing on private labels’ development in a few stores attracting the customers,
- digital seniors could learn how to navigate the internet or ask for help online,
- financial aficionados became noticeable at the point of purchasing and merchandising – lower prices of internal shop chains’ brands were convincing compared to more expensive external ones which were also available for their enthusiasts,

- the great life refresh is a little bit in opposite to financial aficionados, as it encouraged to invest in non-contact assets and services: rebranding and consequently change of the place of employment, providing possibility of working from home, boxed diet, allowing to save time and being tailored to the individual's needs [12], or increased willingness to travel with private transport e.g. car or zero-emission, pro-environmental electric vehicles, such as bicycles or scooters,
- the socialisation paradox allowed everyone to be in charge of their own “shopping style” – which could be done online or in person, with or without mask and hand disinfection, on their own or by pickers and couriers. It is a good justification for the cooperations started between shops and couriers.

The points mentioned repeatedly stress the importance of diversified forms used to generate the sale. The most outstanding dissonance is visible in the aspect of contact between the shopper and customer service. In the case of online businesses that aspect is more impersonal, while in real life shopping there are many variables affecting it – that is why we should take a deeper look at retailing and its strong points.

4. RETAIL

4.1. DEFINITION

All people have their own wants, needs and desires. Fulfilling them is only possible by finding the answers for the wishes of a person expressing them (loudly by sharing the information about it to others in one's surroundings, both verbally and non-verbally, or quietly in an individual's thoughts). Despite huge interest in e-commerce and its growth (reflected by constant rise of purchases done via this channel and amount of money spent there), still an enormous proportion of shopping is performed in brick and mortar retail shops. Addressing that word we should begin with describing it and specifying how broad that definition can be. According to Kotler, retailing can be described as “all the activities involved in selling goods or services directly to final consumers for their personal, non-business use.” [13] Taking this definition into consideration we are assured that business units focused on retailing are serving people by offering their service live by offering their best.

4.2. ADVANTAGES OF RETAIL

Through his explanation of retailing Kotler also wanted to show the importance of this distribution channel, which has plenty of strong sides. Advantages of choosing this option are constantly the same for ages – possibility of verifying the goods wanted not only with one sense (sight is the only one available online) but with all senses. We can touch nearly every product, no matter if it is food, piece of furniture

or clothes, in order to check its surface or material it is made of but also smell it (especially important in case of perfumes or food that must be fresh). Additionally, in the case of buying something that we can eat or drink, there is an opportunity to try a sample of the product with taste – a piece of meal or a sip of beverage can convince us to purchase more. Rarely (but sometimes it happens) hearing can also be involved in the buying process – for instance where a customer is willing to invest in musical instruments, and the tones created by the equipment are the most crucial factor. Another benefit coming from buying in a brick and mortar store is support of customer service, who are usually well-experienced and know the assortment that can be found in their business entity. Receiving the product at the point of payment is also a bright side of retail shops as there is no need for waiting until its arrival via courier or parcel locker.

4.3. THE STRUCTURE OF STORES' MARKET

The sales structure is diversified and depends on the customer's preferences related to their demographic structure, psychographic profile and behavioural preferences. Nevertheless in each society there is a leading group of facilities. In 2021 Nielsen performed a webinar during which it presented the research that precisely specifies the structure of the market share in several European countries based on store size. The results have been shown on the diagram attached below.

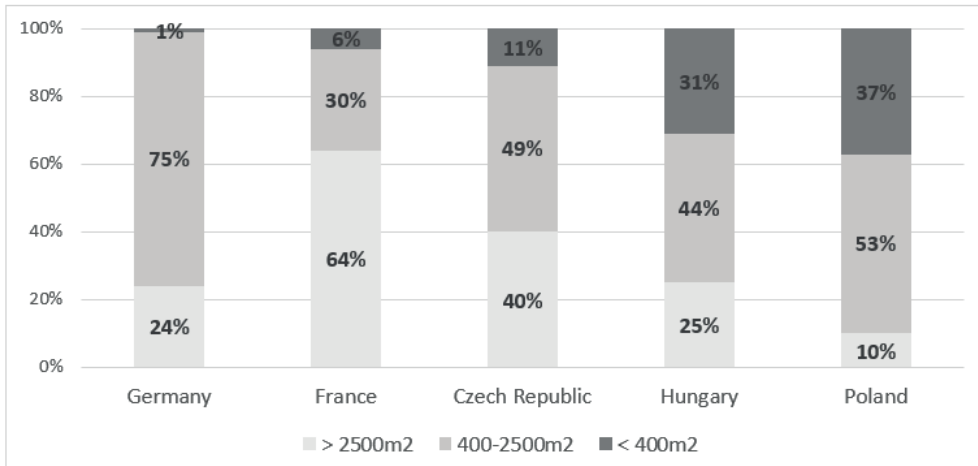


Fig. 2. Percentage of turnover in trade based on store format [14]

Based on the highlights presented on the diagram, there is a high tendency to choose shops that are middle-sized. After COVID-19 pandemic the society is less willing to visit enormous shopping centres or hypermarkets that are bigger than 2500 m². It could be caused by the fear of being infected by COVID-19 or going

shopping for a thoroughly defined purpose instead of walking and seeking bargains. The only exception in that case is France where over 60% of money were spent in malls and department stores. At the same time, the smallest shops did not have too big impact on the structure except for Hungary and Poland. That was triggered by high availability of small shops, allowing people to save time by going to the store located closer than discounts. In Poland it was mostly due to the tremendous expansion of Żabka, which has nearly 9000 shops all over the country, which are organised based on an efficient franchise model. [15] Its competitive advantage comes from the number of stores, innovative approach and technologies used. Through impersonal, autonomous nano stores, allowing the customers to meet their needs at any time, Żabka has more customers. [16] Another benefit of this chain is cashback given via application, which allows the shoppers to gain in-shop currency. The points collected there can be exchanged for products. Besides the promotions, the application also offers remote shopping with door to door deliveries thanks to the service named żappka jush. [17] Despite that, the dominant segment in middle Europe is between huge malls and tiny stores – it is filled by discount stores and convenience stores. These middle-sized shops have an area of over 400 m² but less than 2500m². According to Charles Lamb's "Essentials of Marketing" the characteristics describing these formats of shops are as follows: they are close to residential areas, offer standard or specialty merchandise, have a low-margin and try to keep a high availability and volumes of high-turnover goods. [18] These features encourage customers to visit such places focused on the most convincing factors for them. These factors are related to marketing mix tools: product, price, place and promotion. But how is it done in practice? Next paragraph will answer this question on the example of the Polish retail market presenting its key players.

5. POLISH DISCOUNT STORES

5.1. ANALYSIS OF THE NATIONAL RETAIL MARKET

Retail market in Poland is quite complex and competitive. It has its key players, runner-ups and plenty of smaller companies chasing their bigger competitors. Summing up, it is made up of over 20 enterprises. The biggest ones have been included in the report performed by Proxi.cloud in 2022. The research draws attention to market penetration, showing how a big part of the discount stores' customers visited the store of individual chains.

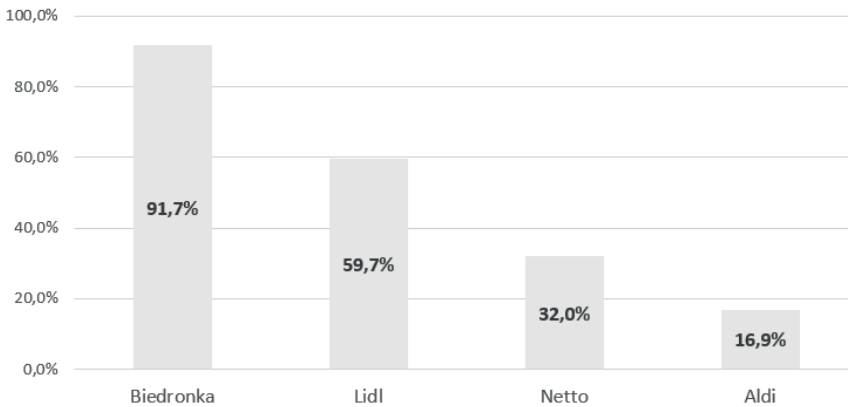


Fig. 3. Market penetration of discount stores in Poland [19]

As shown in the diagram presented above, Biedronka can boast the highest customer awareness level – nearly 92% of customers did the shopping in the leading discount store in Poland. Lidl ranks second with the score just below 60%. Netto, which has taken multiple activities in Poland during the last months, is third with a score of 32%. The last chain of stores taken into consideration at the survey is Aldi – one out of six consumers did their shopping there. What are the causes of these results?

5.2. BIEDRONKA

Jeronimo Martins is a Portugal-based international group operating in the food distribution and specialised retail sectors. [20] In Poland it is mostly known for its Biedronka chain, the leader in the local market of discount stores. What encourages customers to visit Biedronka? Definitely its accessibility caused by the number of its supermarkets (over 3200). Additionally the company supplies them with 17 distribution centres located across Poland, which is an efficient process for providing uninterrupted supply chain – in case of any problems with deliveries another logistic point may solve them. [21] In addition, Biedronka's wide offer and expertise resulting from many years of experience in the Polish market attracts the attention of many customers. As a consequence, the company may offer its products and services using higher prices than its competitors, who have fewer stores and need to convince the consumers to visit them in other ways. Despite the market advantage enjoyed by Biedronka, the company still makes an effort. Convincing promotions such as 2+1 (offering the third item of the same product for free) or new application's feature that gives a chance for a special discount attracts the society looking for savings in the tough times of economic crisis and inflation. In parallel, the company started the cooperation with Glovo that specialises in food deliveries. The concept is similar to

the one implemented by Żabka, but instead of creating a new solution the biggest chain of discount stores in Poland decided to use an already-existing, widely-known brand specialising in such services. This solution encourages people who prefer to do the shopping online to choose Biedronka among all players present in the market.

5.3. LIDL

Lidl is a part of the Schwarz Group that is seen as one of the top retailers in the world. [22] It has more than 700 stores in Poland, which gives the company the second place in terms of number of shops in the country. [23] The company stands out with high-quality products and attractive special offers that can be found in the application "Lidl Plus" – at the first glance they seem to be similar to the ones offered by Biedronka; however, they differ from them because of possibilities of mixing different tastes or types of products under the same private label (for example Pikok or Pilos). Moreover, special attention should be paid to the latest campaigns. The first one known as "Masz wybór" presented the combination of products belonging to private labels and brands. The customers can buy the well-known goods, but in case they want to save money, they are being given a choice between classic products and cheaper alternatives. Simultaneously Lidl fixed the prices for some products – for instance meat – in order to let the shoppers buy the expected products at attractive prices. In addition, the large family card allows people who have more children to receive special discounts. [24] Such activities show how the company cares about their customers. [25] Finally, the contract signed with Robert Lewandowski and advertising focused cooperation with schools entitled "Szkoły pełne talentów" was noticeable everywhere. [26] This combination of support given to the students and use of a football star as an influencer affecting plenty of people who are his fans and admire him catches publicity attention.

5.4. NETTO

In spite of the fact that Netto comes third in the ranking of discount stores in Poland, it has a bright future ahead. It has been considered an important player in the market, as it has overtaken about 300 stores from Tesco that decided to leave Poland. As for now, Netto has over 650 shops in the Polish market, but treating Poland as a priority market can cause further increase in the future. [27] Additionally, the company could become cheaper than its competitors through hard discount strategy which is realised via limitation of assortment to the required minimum (especially packed products) and reduction in store staff. This strategy is also reflected in the appearance of the store – as the objective of such shops is to have lower prices, hard discounts require reductions in the amount of equipment. As a consequence, the goods lay on pallets instead of classical shelves. [28] Another advantage of the company's recent activities has been the possibility of making online purchases – thanks

to the Everli application the customers can order online and receive their shopping to the indicated address. [29]

5.5. ALDI

The lowest position in the ranking has been occupied by Aldi. The reasons for the unpopularity of this store chain are related to the area of activity – this German-based group has about 230 shops in Poland which, compared to the three competitors named earlier, hinders market penetration. Notwithstanding the number of stores, the company has lately opened its second distribution centre in Lisi Ogon near Bydgoszcz. [30] This action may be seen as a sign of further expansion and increase in the number of shops in the upcoming years. Another benefit coming from choosing Aldi is the possibility of buying products in calm atmosphere – the campaign of quiet hours aimed at people with autism and other customers who prefer silence allows them to do the shopping without any distractions. [31]

6. SUMMARY

The world is still evolving, and the society becomes more and more aware of it. People tend to seek comfortable lives and try to stay calm despite the global and national struggles that appear regularly. In parallel to that, the retail businesses are trying to meet customer needs with a variety of activities. Discount stores are focused on answering the needs and expectations of low-income and medium-income customers. [32] Depending on the target market segment customers may be attracted thanks to appearing on the internet (which seems to be more convincing for younger generations that feel comfortable with online shopping), while lower prices and the reduction of stimulus on the verge of walking through the shop physically should attract older buyers. Everyone wishes to receive high-quality customer service but on different levels. On the one hand, self-contained buyers prefer to have a non-person possibility guaranteed via self-service checkout or remote purchases. On the other hand, there are the people who value relationships and want to be able to ask a question to the cashier or customer service worker. Unfortunately, the factor that has a negative impact on the emotions of the buyers is a mixture of the appearance and quantity of equipment the store chain uses – even though the shops offer the latest technologies, when there is only one till opened customers will be nervous and impatient due to the queue they have to wait in. At the same time, increasing the number of tills requires more space, which equals hiring more staff (in case of cashier-operated tills) or spending the money on technologically-advanced devices (if the shop launched self-service checkouts). The queues could become shorter if customers changed their values and their time became more valuable than money [33] – in

this scenario the prices could be higher, but it would result in a decrease in the number of customers too. [34] Regardless of their preferences, the companies have to remember that the trust is built over years but can be lost by one inappropriate decision taken – it may be the reason why the discount stores implement environmentally-oriented solutions such as energy supply from renewable energy sources or reusable bags.

LITERATURE

- [1] Vegetius. (4th century BC) *De re militari*
- [2] Taleb N. (2007) *The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable*
- [3] Author's independent study based on data
- [4] <https://www.fas.usda.gov/sites/default/files/2022-05/Ukraine-Factsheet.pdf> (access: 18.10.2022)
- [5] <https://www.theguardian.com/world/2022/mar/21/egypt-fixes-price-of-unsubsidised-bread-as-ukraine-war-hits-wheat-supply> (access: 18.10.2022)
- [6] <https://www.reuters.com/business/retail-consumer/eu-proposes-effective-ban-new-fossil-fuel-car-sales-2035-2021-07-14/> (access: 18.10.2022)
- [7] <https://www.dlhandlu.pl/detal-hurt/wiadomosci/skazenie-odry-a-sprzedaz-ryb-jak-zareagowalikienci,110809.html> (access: 18.10.2022)
- [8] <https://researchworld.com/articles/top-10-global-consumer-trends-2022>
- [9] Maslow A (1943), *A Theory of Human Motivation*
- [10] <https://www.businessinsider.com/personal-finance/shoe-leather-cost?IR=T#examples-of-shoe-leather-costs> (access: 18.10.2022)
- [11] Arias-de la Torre J., Vilagut G., Ronaldson A., Serrano-Blanco A., Martín V., Peters M., Valderas J., Dregan A., Alonso J. (October 2021) *Prevalence and variability of current depressive disorder in 27 European countries: a population-based study*
- [12] <https://idevon.co.uk/investments/xpml/boxed-diet-what-is-it-and-how-much-does-it-cost-pros-and-cons-of-the-boxed-diet.html> (access: 18.10.2022)
- [13] Kotler P. (1980) *Principles of Marketing*
- [14] Author's independent figure based on data from Wiadomości Handlowe: <https://www.wiadomoscihandlowe.pl/artykul/wciaz-spada-liczba-sklepow-ale-tempo-spadkow-wyhamowalo> (access: 18.10.2022)
- [15] <https://www.zabka.pl/o-zabce> (access: 18.10.2022)
- [16] https://www.petrolplaza.com/news/29037_ (access: 18.10.2022)
- [17] <https://jush.pl/> (access: 18.10.2022)
- [18] Lamb C. (2011) *Essentials of marketing*
- [19] <https://www.wiadomoscihandlowe.pl/artykul/biedronka-liderem-w-zakresie-penetracji-rynku-netto-w-mocnej-ofensywie> (access: 18.10.2022)
- [20] <https://www.jeronimomartins.com/en/> (access: 18.10.2022)
- [21] <https://www.dlhandlu.pl/detal-hurt/wiadomosci/ruszylo-centrum-dystrybucji-biedronki-w-stawigudzie-to-17-magazyn-sieci,107517.html> (access: 18.10.2022)
- [22] <https://gruppe.schwarz/en> (access: 18.10.2022)
- [23] <https://kariera.lidl.pl/poznaj-nas/historia-lidla> (access: 18.10.2022)
- [24] <https://www.lidl.pl/c/karta-duzej-rodziny/s10008478> (access: 18.10.2022)
- [25] <https://www.portalspozywczy.pl/handel/wiadomosci/lidl-zestawia-ceny-nutelli-i-lavazzy-z-mar-kami-wlasnymi-quot-masz-wybor-quot,214677.html> (access: 18.10.2022)

- [26] <https://businessinsider.com.pl/wiadomosci/robert-lewandowski-twarza-kampanii-lidla-znamy-pierwsze-szczegoly/gjn4cn2> (access: 18.10.2022)
- [27] <https://www.netto.pl/o-nas/historia/integracja/>
- [28] Górską-Warsewicz H., Pałaszewska-Reindl T. (2002). *Marka na rynku produktów żywnościowych*
- [29] <https://www.netto.pl/zakupy-online/> (access: 18.10.2022)
- [30] <https://bydgoszcz.naszemiasto.pl/14-wrzesnia-otwarto-nowe-centrum-dystrybucji-aldi-w-lisim/ar/c3-8995155> (access: 18.10.2022)
- [31] <https://www.aldi.pl/informacje-dla-klienta/ciche-godziny--w-aldi.html> (access: 18.10.2022)
- [32] Zielke S (2014), *Shopping in Discount Stores: The Role of Price-related Attributions, Emotions and Value Perception*
- [33] Gino F., Mogilner C. (2014), *Time, Money and Morality*
- [34] Zhao H., Yao X, Liu Z, Yang Q. (2021), *Impact of Pricing and Product on Consumer Buying Behaviour With Customer Satisfaction in a Mediating Role*

Corresponding author:

e-mail: kacper.koziol@edu.uekat.pl

Blanca María GUERRERO MORENO*

DOI: https://doi.org/10.37190/JoT2022_02

SIMULATION STUDY ON A WAREHOUSE PICKING PROCESS TAKING INTO ACCOUNT A PREDETERMINED ORDER OF FURTHER GOODS LOADING

Keywords: *Logistics; Order-picking; Simulation; Routing; Warehouse management*

In this article, the results of a series of selected algorithms used during the picking of goods in a warehouse, assuming the order of stacking goods in transport containers is predetermined, are analysed, simulated and evaluated. The importance of the development of this type of algorithms is the possibility of reducing the waiting time of both transport and goods in order to reduce the total cost of the picking process. Afterwards, the results will be analysed by varying the parameters and evaluating the solutions. The aim is to show the results of various picking algorithms when their subsequent stacking order is predetermined, and to use these to identify relationships and define guidelines that could be used to support the design of similar picking algorithms.

1. INTRODUCTION

The warehouses and distribution centres, as well as the quantity and variety of products handled, are growing steadily and rapidly. Logistics companies are increasingly in demand and need to improve their algorithms and solutions.

The competitive advantage of companies implementing solutions and algorithms comes with the responsibility that the strategy can be supported by the logistics operation of the distribution centre. This is where the order picking of the products on the pallets comes into play, as the profile of the products changes from time to time and the way they are placed on the pallets and in the warehouse has to be redesigned. Picking algorithms are also important for warehouses, even if the assortment does not change. Each delivery to a customer must be prepared individually because each customer wants specific goods. This is especially important for warehouses in airports or logistics centres.

* Universitat Politècnica de València, Research Centre on Production Management and Engineering (CIGIP), Valencia, Spain

Logistics and picking optimisation projects in warehouses ultimately reduce product waiting times, transport and, in short, costs. Optimisation processes involve concepts, tools and heuristics and operations research models that are coupled to improve and design operations and strategies involved in warehouse logistics management. Environmental logistics is also taken into account, which seeks sustainable policies aimed at reducing the environmental impact of this business's activities.

Finally, we know that achieving a more efficient storage facility follows the precepts of environmental logistics: reducing waste through a global improvement of processes. Therefore, reducing movements within the warehouse thanks to a combination of good storage location management and optimised picking planning is key to approaching environmental logistics.

2. ANTECEDENT WORKS

2.1. WAREHOUSE CONFIGURATION

The layout of the warehouse in terms of the general type of warehouse considered, racking levels, the number and location of the depot (end zone) and various characteristics of the aisles is a determining factor in improving picking times [1, 2]. Three types of warehouses can be distinguished in terms of their configuration: conventional (with a rectangular shape and parallel and perpendicular aisles), non-conventional (they do not have all their aisles parallel) and general (in which distance matrices are used) [2].

Within the warehouse layout, it is also necessary to define the number and location of the products and the characteristics of the aisles (narrows, that can lead to blocking situations if there are several pickers, or wides) [3].

Finally, regarding the configuration of the warehouse, it must be taken into account whether the racks have one or more levels and, in the latter case, whether the upper levels are for storage and picking or only for storage (and when they go down to the lower level, they can be picked) [4].

2.2. STORAGE ASSIGNMENT POLICY

The storage policy refers to the way in which specific points are designated where each product should be placed within the warehouse [4] to achieve high space utilisation and to facilitate efficient material handling [5]. The storage location allocation problem (SLAP) consists of allocating incoming products to storage areas. It aims at reducing material handling costs and improving space utilisation.

There are several ways to allocate products to a certain location within the warehouse [6, 7]: as dedicated storage, random storage, nearest open location storage, full-rotation (or rotational) storage or family-based storage.

The concept of class-based warehousing combines the previously mentioned methods. One way of dividing items into classes according to their popularity is the Pareto method, and the ABC classification is based on this rule [8]. The idea is to group products into classes determined by the frequency of demand for the products. The products with the highest turnover are called A items; those belonging to the next category (a lower turnover than A) are known as B, and so on [6, 7]. Even if the layout of the picking area is ideal, even if good storage and routing methods are applied, the efficiency of the process will not improve as much. Therefore, the decision on the configuration of the picking area in the warehouse must be carefully considered [1].

2.3. PICKING LIST

In the case of order picking systems, orders are received to form a picking list. This list indicates the products for the order picker to move down the aisles and pick the products from their locations in the warehouse [9]. There are two main types of heuristics that attempt to minimise the total picking effort for a list and are based on the VRP heuristic. The VRP is the vehicle routing problem, where "stops" are assigned to routes and the objective is to minimise the total route distance or time. The two types of heuristics are defined as follows [5].

A seed algorithm initially selects a single seed order in the list. More orders are then added to the list based on a route proximity criterion until no more orders can be added due to a capacity constraint. A savings heuristic starts by assigning each order to a separate list. The algorithm then selects a pair of orders to combine and adds to the list iteratively based on the savings from combining them until no more orders can be combined due to a constraint.

In addition, the order list algorithms can be static or dynamic, i.e. with preparation orders that are triggered continuously or discretely. Information about this can be found in [1], [2], [5] or in [7].

2.4. PICKER; ORDER-PICKING SYSTEMS

Order picking systems can be classified as can be found in Fig. 1. Among the systems that employ humans, the first to be found are the picker-to-parts systems. In these, it is the order picker who walks or drives different maintenance equipment through the aisles in order to pick the materials. This is the most common order picking system [6, 7]. It can be distinguished into two types: low-level picking and high-level picking, depending on whether vertical movements are necessary to reach the products on the racks [2, 6].

Parts-to-picker systems include automated storage and retrieval systems. It is also referred to as unit load or end-of-aisle order picking. In this case, it is the goods that are moved to the location of the personnel using automated storage systems [6, 7].

Put systems are based on a process of first picking and then distributing. First, the items have to be retrieved, which is done in such a way that the parts are retrieved with a picker-to-parts system or a parts-to-picker system. Secondly, the carrier with these previously collected units is offered to an order picker who distributes them between the different customers' boxes [6].

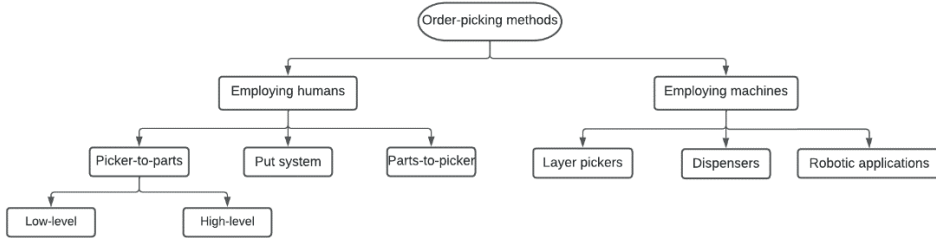


Fig. 1. Method programming flowchart. Source: own elaboration on the basis of [6].

In these order picking systems, the human being is the most important element, as the picking of products of different sizes and shapes works best. An issue to consider when picking is done by humans is that employees cannot learn the new routes that exact algorithms set for each change in order lists. Therefore, heuristic algorithms will, in this case, be preferable to exact results [4].

Finally, the main characteristic of automated and robotic systems is the absence of personnel involvement in picking [10].

2.5. PICKING POLICY

Picking policies focus on the division of labour among the workers, so that the picking time, according to the order picking list, is as short as possible [11]. There are various approaches to picking policy. Strict order picking is used when orders are quite large and each order can be picked individually, i.e. a single order is picked directly by one worker. Batch picking is used when orders are small. Several orders can be combined in a batch to reduce travel distances by picking a set of orders during a single picking route [6, 11]. Thus, a worker is assigned a picking list with more than one number of orders to pick simultaneously in a single trip [2, 12].

In zone picking, the storage area is divided into logical zones so that each picker is assigned to pick only the part of the products on the picking list in that sub-zone. Depending on the picking strategy, zone picking can be further classified into three types. The first are sequential progressive zoning and parallel synchronised zoning, depending on whether orders picked in one zone are passed on to other zones for completion or picked in parallel. And the last is wave picking, where an employee picks large batches of goods continuously, not according to the products on the order

list but according to the items ordered in his zones. Then the orders are prepared according to the goods that have been picked [6, 11].

2.6. ORDER PICKING ROUTES

The objective of order picking in the warehouse is to sequence the items on the pick list to ensure the best sequence of locations to pick a given set of items [5, 6]. The aim is to minimise the total material moving cost. As the distance to the picked items is proportional to the travel time to pick them, minimising the time means minimising the distances [9] and therefore the total cost. Reducing this length of picking routes will therefore reduce the time it takes a worker to prepare the order.

The characteristics of three general types of algorithms used to solve the order picker routing problem are presented next. Exact algorithms always find an optimal solution (i.e., the shortest route) to an order picker routing problem [2]. This optimal routing procedure minimises the total travel distance and is based on the algorithm presented by Ratliff and Rosenthal in [13]. Heuristics are problem-dependent algorithms that are constructed according to their specifications, with a solution that in most cases is not optimal but similar to algorithms with exact results [2, 4]. That is, heuristic strategies can provide near-optimal routes and are easier to understand [7]. Finally, meta-heuristics are algorithms that provide a set of guidelines or strategies for solving a problem [2].

To prepare an order, a picker may travel through the aisles of a warehouse following different routes. In practice, the problem of assigning routes to order pickers in a warehouse is mainly solved by using simple heuristics [6, 7]. Below we describe the five main heuristic methods for defining picking routes.

The S-shaped tactic is one of the simplest strategies. The employee moves between the shelves in a defined manner, starts at the beginning of an aisle and does not move to the next aisle until he has picked all the goods in that aisle, leaving the aisle at the other end [4, 7]. It only enters those aisles where there are references to be picked during the route and travels along them completely. From the last aisle visited, the order picker returns to the depot [6, 7].

The next strategy is the return tactic. The picker enters and exits an aisle from the same transverse front aisle, moves to the last item on the pick list in that aisle, and only enters aisles that contain references to be picked [4, 7]. Once the order picker has picked the last item, he returns to the front end of the aisle and continues to the next aisle with the same rule [2].

The third tactic is the mid-point strategy. The warehouse is divided into two zones and the operator moves along the front cross aisle to the centre of the warehouse (the midpoint) to pick the picks from the front half, which is the margin of zone 1. Products from zone 2 are picked from the back cross aisle. The order picker goes to the back half through the last aisle he visits [4, 6]. The picker enters and exits each aisle

from the same cross aisle [2]. Therefore, the order picker takes a return route from the front cross aisle to the middle point and a return route from the back aisle [7].

The largest gap strategy is similar to the mid-point strategy, except that the preparer travels down each aisle to the largest gap within an aisle, which is the part of the aisle that the order picker does not pass through. As in the case of the mid-point strategy, the order picker first completes the front part of the warehouse and then moves to the back part to pick the requested items there [2].

The composite routing strategy combines the best features of the S-shaped and return strategies but is more complex to implement [7]. Aisles with picks are either fully traversed or entered and exited at the same end. However, for each corridor visited, the choice depends on the heuristic that gives the shortest travel distance to retrieve the furthest requested items from two adjacent aisles [2].

2.7. MAIN CONTRIBUTION

With all the information gathered, a series of algorithms that meet different design requirements are designed and, with them, the effectiveness of using or not using a predetermined order of subsequent loads to build our picking list is simulated, analysed and evaluated. In this way, the designed algorithms will order the picking lists according to standard return and S-shaped tactics (as detailed in the previous section). In addition, the same algorithms will also be modified to pick the products according to their location but prioritising the picking in the order of the layers of the subsequent palletisation. In other words, in the methods called in the paper “layered methods”, first the heaviest items from layer 1 will be picked, then those from layer 2 and finally the lightest ones from layer 3. In other words, knowledge is presented that helps to discern in which cases it is more convenient to consider the order of subsequent loads to pick our products and in which cases it would be inconvenient or unnecessary to take it into account.

3. DESCRIPTION OF THE PROBLEM AND ASSUMPTIONS

3.1. DESCRIPTION OF THE WAREHOUSE

In the simulated warehouse are stored the goods that will be sent to the company's intermediaries or final customers. This warehouse is rectangular and has parallel aisles of equal length. It is therefore a block-type warehouse [9] with narrow aisles (lateral movement within an aisle is not taken into account, as this is minimal).

The warehouse has an assortment of 120 different items (material indices) which are stored in 120 different locations. The boxes are placed in rows, side by side, connected by longer sides [1]. The racks have several levels, but we only take into

account the lower level, at floor level, from which picking takes place. The replenishment of the lower level is considered to be automatic and instantaneous, and there is never an out-of-stock situation. We can also collect on the same order list, and even consecutively, the same goods twice [4, 11].

The main aisles have a width of 2 metres and a length of 15 m. The width of the cross aisles, which separate the rows where goods can be picked, is 1.2 m. As it has been said in the previous section, long side aisles do not work well because they do not allow for quick aisle changes, so the length of these aisles may not exceed 5 m.

3.2. ALLOCATION AND PICKING POLICY

A strategy for storage policy is followed. As discussed and explained in [1], each good has its own location in the warehouse, a specific and unique place assigned to it within a single aisle. For this, the most important thing is that the products with the fastest turnover times have the shortest distances to the finishing area, so that the total route distance and picking times will decrease [4]. It has also been seen in [1] that ABC classification gives the best results with in-aisle storage, for this it is used the ABC classification and also store the goods according to dimensions.

As seen in [9], when the order arrival rate increases, it is better to work with a static order scenario (SOP). It developed strict discrete order picking [11] from the order picking policy approaches seen in section 2.6, in which a single employee is assigned to pick an order. As only one operator is working, there will be no blocking situation [4].

3.3. MEANS OF TRANSPORT AND END ZONE

All movements are carried out by one employee with a single handling device to place the products while picking them up. This vehicle has limited space available for transporting goods and that limits the weight capacity. Therefore, with a single picking route, it can pick and transport more than one item from the shelves to a finishing area. But also, if an order requires more goods than the vehicle can handle, picking will be done in several trips, adding up the total distances to and from the route [11].

As mentioned, there will be a weight limitation on the total weight of boxes picked up on each route. However, with regard to the boxes, boxes weighing more than 25 kg are not taken into account, as it would not make sense to manually pick and organise the pallets.

The employee, as mentioned above, carries the goods from the warehouse to the end zone. This finishing area is adjacent to the place where the pallets are loaded and the goods are temporarily stored, waiting to leave the warehouse or go beyond the limits of our warehouse.

The goods are transported from the finishing area to their next destination on pallets. The layout of the pallets takes into account the weight of the goods placed on a pallet and its dimensions. Thus, the arrangement involves the sequence in which the goods are stacked (i.e. the first layer is dedicated to heavier goods, the second to lighter ones, etc.).

Due to the subsequent palletisation of the goods, three different ranges of weight are considered, in kg, of our goods: 20-25 kg boxes (layer 1), 10-19 kg boxes (layer 2) and 5-9 kg boxes (layer 3).

3.4. SCIENTIFIC PROBLEM

The transport of the goods to the finishing area, their loading onto a pallet, as well as the process of relocation of the goods waiting to be placed on a higher layer on the pallet, generates costs (proportional to the mass of the goods transported and loaded as well as proportional to the length of the transport and of the goods' movements during loading/relocation) expressed by $\text{€}/(\text{tonne} \cdot \text{km})$. Also, the waiting cost is taken into account, each specific item on the collection lists has one ($\text{€}/\text{min}$).

The total waiting cost of a picking list is calculated by considering the waiting time for each item from the time an item is collected until the end of the collection list. This time is multiplied by the waiting cost of that particular item, and summed up to get the total waiting cost of the list. Waiting costs for items increase as the item's weight decreases. Thus, the later the lighter items (those in layer 3, which will go on top of everything in the palletisation) are picked up and transported to the end point, the lower the waiting cost will be. The objective is to determine whether picking in the same order in which the pallet is prepared will result in greater cost savings.

The scientific problem is: how to organise the picking process in the warehouse in order to obtain the best (cheapest) solutions, i.e. the cheapest transport and the goods correctly arranged on a pallet.

4. PROGRAMME MODELLING

The following is a flowchart (Fig. 2) of how the model will be programmed from data to result collection.

It starts by generating the data of all the products in the warehouse (the location, the weight of the goods, the layer in which they will be placed on the subsequent pallet, etc.) and the picking time data. Then this product data is passed to picking lists of different lengths or numbers of products. The following table (Tab. 1) shows the most important values for the configuration of the warehouse and the goods.

One of the generated lists is taken and sorted to calculate the route according to the corresponding algorithm. Once the route has been calculated, the route distances,

route times and waiting times of the products are obtained. Finally, all the results are collected and analysed.

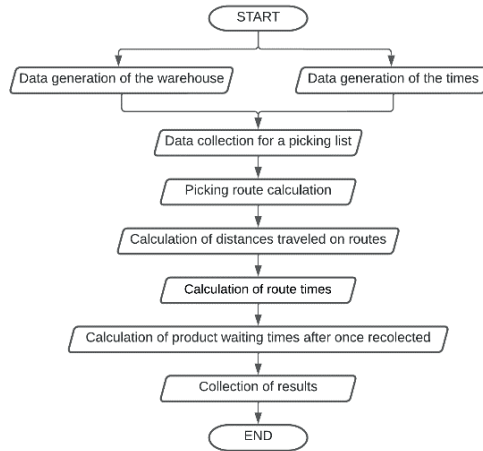


Fig. 2. Method programming flowchart. Source: own elaboration.

Tab. 1. Warehouse data values. Source: own elaboration

N° of aisles		6
No. of items in each aisle		20
Distance between aisles [m]		2,5
Distance between items (same aisle) [m]		0,5
Distance from aisle to rack (1st item) [m]		1
Maximum aisle coordinate (j) [m]		6,5
Pallet layer	Max. Weight	Min weight
1	20	25
2	10	19
3	5	9

5. RESULTS AND DISCUSSION

For the simulations, 3 variables were taken into account: the limitation of the weight that can be picked on each picking route, the ABC distribution of the picking list and the number of items in the picking list. In each set of simulations (except the first one), one of these variables is fixed. Below (Tab. 2) is a summary table of the variations carried out in each set of simulations. The cells marked are the values that remain fixed in each set of simulations. Also, the ABC classification data shown in the subsequent Figures are represented on the X-axis of their graphs as follows (Tab. 2) i.e. ABC = 50/30/20 is 50% of the products in the picking list are A products, 30% are B items and 20% are C items.

The results obtained for each routing method are: Distance (m), Distance with mass (m·kg), Time (min), Transport costs (Euros) and Waiting cost (Euros). For all figures, the legend is as follows (Fig. 3):

S Shape
 Return tactic
 S shape with layers
 Return tactic with layers

Fig. 3. Warehouse data values. Source: own elaboration.

Tab. 2. Summary table restrictions in the sets of simulations and the representation of the ABC classification values on the X-axis. Source: own elaboration

SET	Nº of items	A	B	C	Max weight	ABC classification	X-axis representation
						50/30/20	1
						55/25/20	2
						55/30/15	3
						60/25/15	4
						60/30/10	5
						65/20/15	6
						65/25/10	7
						70/20/10	8
						75/15/10	9
						80/10/10	10
						80/15/5	11

In the following Fig. 4, it can be seen the results concerning the first set of simulations. In the first set (Fig. 4, first column), it is noticed how the travelled distance decreases as the maximum weight that can be carried on each route increases, which is normal considering that the more weight on each route, the fewer routes are necessary to collect a complete list. The same happens with the time and cost of waiting.

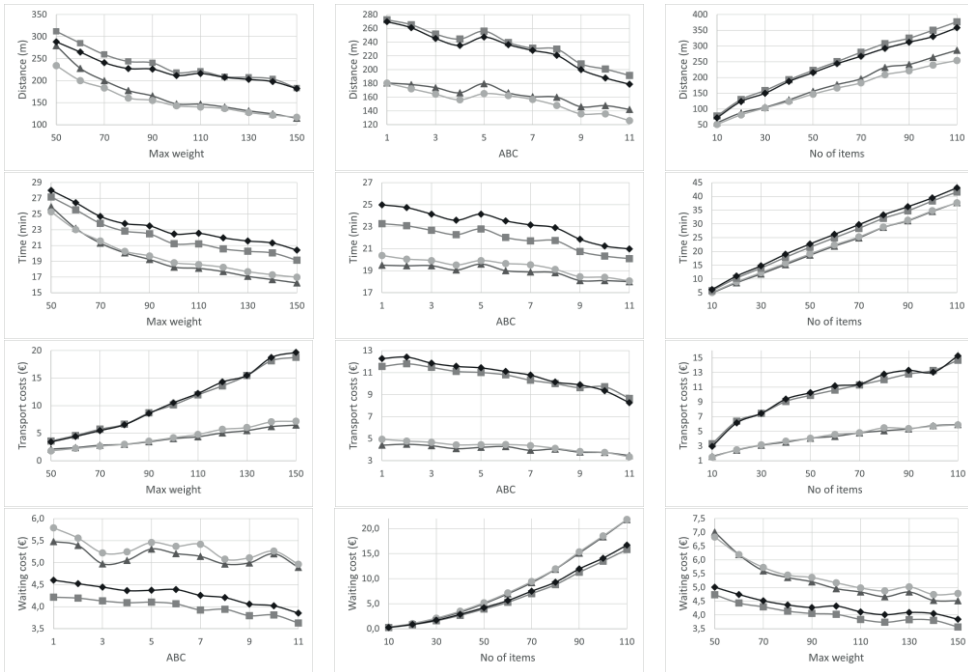


Fig. 4. Maximum weight, ABC and number of items variation graphs for set 1 (Fixed values change between 50 products list with a maximum picking mass of 100 kg in one route, with the distribution 70% A, 20%B and 10%C). Source: own elaboration.

It can be seen that the transport costs increase with the maximum weight, and the increase is more important in the layered methods. This is because of the accumulation of much more mass and distance on the routes, and this is reflected in this result. As you can see, it will be similar in the rest of the results, the distance, time and transport costs are lower in the methods that do not take into account the subsequent palletisation, but the cost of waiting for the products is lower in the layered methods.

In the same set of results (Fig. 4, middle column), it is analysed how the ABC variation of the products in the list gives, in all cases, decreasing trends, i.e. it is best to have as many A items in our lists as possible, as this way distances, time and costs will be reduced, which is logical since these items are closer to the end zone. Again, it can be seen that the methods without layers have better results when it comes to distance, time and transport cost, and the methods with layers have better results when it comes to waiting cost.

Finally, in this set (Fig. 4, last column), and as expected, as the number of products in the list grows, so do distances, times and costs. Waiting time grows with a trend that would like to be exponential while time and distance grow in a proportional way. Both in distance and, above all, in transport costs, this change is more important for the layered methods as they grow faster than the methods that do not consider the subsequent order of palletisation, and the opposite happens in the waiting times.

Now interesting results from the next sets presented in Tab. 2 will be compared. For example, in the case of light routes, set 2 of Tab. 2, when the maximum weight is only 50 kg, the results of the distance graphs have similar results for the normal S-shaped method and the palletised return method (Fig. 5, left graph), which makes sense because for the same list it will have to make a greater number of routes to pick all the items as our weight limitation is lower. The results are also less satisfactory for the cost and time results. In the number of items variable graph (Fig. 5, middle graph) it can be seen again that the results for time, when performing such a large number of routes for a list, are very close, not different methods.

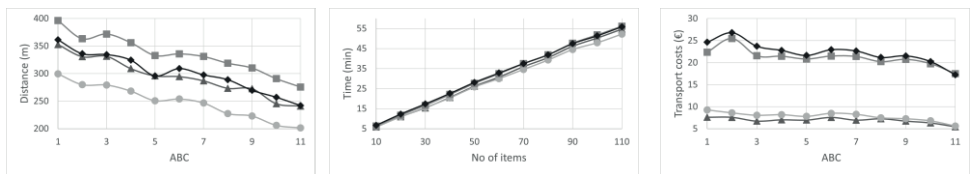


Fig. 5. ABC (left) and number of items (middle graph) variation graphs for set 2 (Fixed value: maximum picking mass of 50 kg in one route) and ABC variation graph for set 3 (Fixed value: maximum picking mass of 150 kg in one route). Source: own elaboration.

Now the other extreme, heavy routes Fig. 5 right (set 3 of Tab. 2), which have better results for distance, time and waiting costs, but when it comes to transport

costs, especially in the case of layered algorithms, they skyrocket. This is because a lot of distance and mass is accumulated on the routes, making transporting the items heavier and more costly.

As expected, at the routes of short lists (Fig. 6, left column, set 4 of Tab. 2), the results with lists with fewer items are better than with long lists. The graphs behave similarly to the set 1 graphs. Long list (Fig. 6, right column) routes also behave in a similar way. In this case, as the number of items to be collected is greater, so are the distances, times and costs.

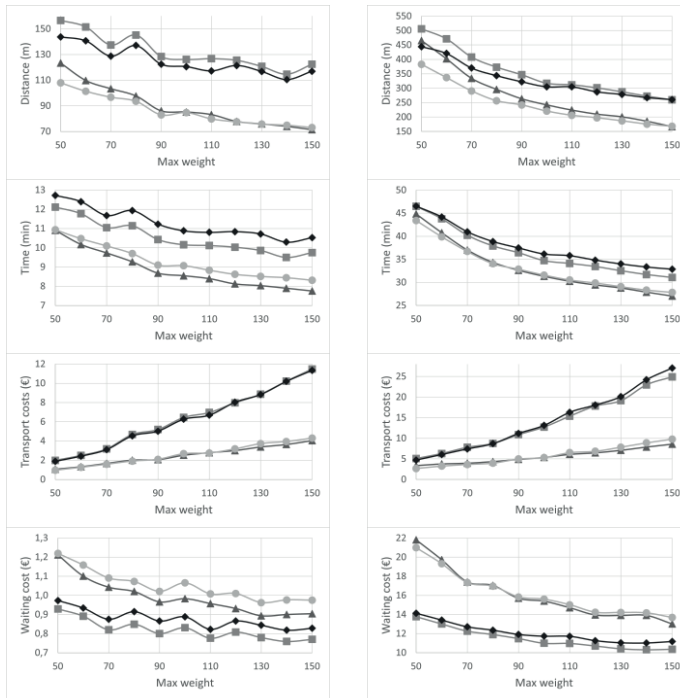


Fig. 6. Maximum weight variation graphs for sets 4 and 5 (Fixed values: 20 products list for set 4 on the left and 90 product list for set 5 on the right). Source: own elaboration.

Finally, in the last two sets (sets 6 and 7 of Tab. 2), it can be seen how the results vary while keeping the ABC configuration of the picking list constant. It is interesting to see how the graphs are practically the same in the standard case (set 1) and in these ones. Taking a look at the axes, the lists with fewer A items (Fig. 7, left column, set 6 of Tab. 2) are shifted upwards, which is normal since, as said before, these lists should pick more products farther away from the end zone. With respect to the changes in distance and time, the changes in time and waiting cost are less significant. Similarly for the lists with more A items (Fig. 7 right column, set 7 of Tab. 2),

these are shifted downwards, and again, the results are very similar for time, transport cost and waiting cost.

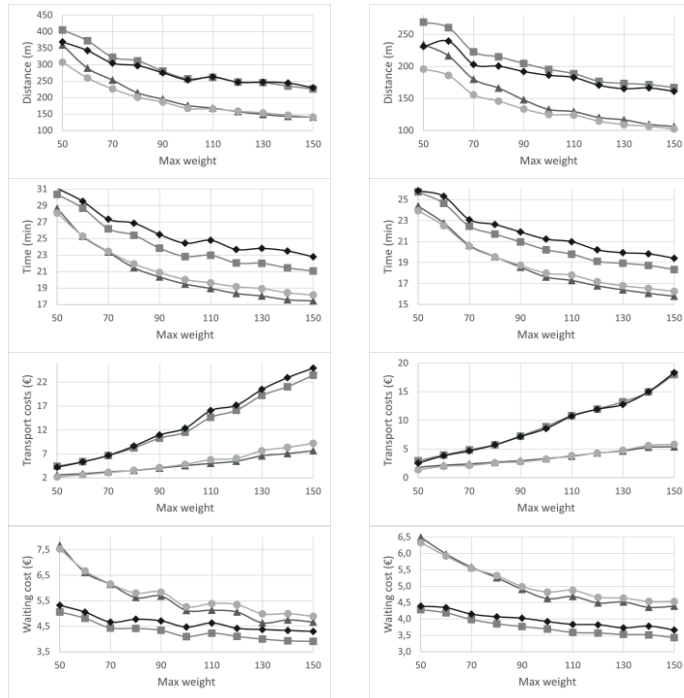


Fig. 7. Maximum weight variation graphs for sets 6 and 7 (Fixed values: the distribution 50% A, 30%B and 20%C for set 6 on the left and distribution 80% A, 15%B and 5%C product list for set 7 on the right). Source: own elaboration.

6. SUMMARY OF RESULTS

Summarising, considering that the proposed results of the "layered" algorithms are those that assume that the posterior order of stacking goods in transport containers is predetermined, in general, the return method (without taking into account the layers) gives the best results in terms of total distance travelled. The S-shaped method gives better results in terms of total collection time and transport costs (except for light routes in set 2, Fig. 5, left and middle graphs). On the other hand, it is the methods that do take into account the subsequent order of palletisation of the products that give the lowest waiting costs, especially the S-shaped layer method.

7. CONCLUSION

It would be necessary to evaluate what interest or weight we give to the different costs derived from the transport and waiting time of the goods. In cases where transport costs within the warehouse are low, it would be much more beneficial to apply a routing method that takes into account the subsequent palletisation order. This would be especially true in the case of short picking lists (Fig. 6, left column).

On the other hand, when the total picking routes are very long (Fig. 6, right column, set 5 of Tab. 2) and the transport costs increase and far exceed the waiting costs, it would not make sense to take the subsequent palletisation order into account, because it would only further increase picking distances and picking times.

Finally, before starting the development of a warehouse project, it is important to have a good pre-design. That is, take into account the products, the way of sorting them, the methods used for picking, and a pre-analysis of how to save on these picks, which will be the best algorithm. And as for future lines of research, the size of the warehouse in general could be varied, to see, in that case, how the model behaves and to have information on the results of the simulations for large and small warehouses.

LITERATURE

- [1] JAKUBIAK, M., *The influence of order picking zone's configuration on the time of the order picking process*, *Ekonometa*, 2014, 3(45), 138-150.
- [2] MASAE, M., GLOCK, C. H., GROSSE, E. H., *Order picker routing in warehouses: A systematic literature review*, *International Journal of Production Economics*, 2020, 224, 107564.
- [3] GLOCK, C. H., GROSSE, E. H.; ELBERT, R. M., FRANZKE, T., *Maverick picking: The impact of modifications in work schedules on manual order picking processes*, *International Journal of Production Research*, 2017, 55, 6344-6360.
- [4] TARCZYNSKI, G.; JAKUBIAK, M., *Selection of manual order picking concept in a warehouse by means of simulation tools*, *Mathematical Economics*, 2013, 8 (15).
- [5] GU, J.; GOETSCHALCKX, M.; MCGINNIS, L. F., *Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review*, *European Journal of Operational Research*, 2007, 177, 1-21.
- [6] DE KOSTER, R. M. B. M.; LE-DUC, T.; ROODBERGEN, K. J., *Design and control of warehouse order picking: A literature review*, *European Journal of Operational Research*, 2007, 182, 481-501.
- [7] CHACKELSON, C. *Metodología de diseño de almacenes: Fases, herramientas y mejores prácticas*. Ph.D. Thesis, Universidad de Navarra 2013.
- [8] CARBONERAS, M. C., *Notes on the subject Operations Management*, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial, Universitat Politècnica de València 2020.
- [9] LU, W.; MCFARLANE, D.; GIANNIKAS, V.; ZHANG, Q. *An algorithm for dynamic orderpicking in warehouse operations*, *European Journal of Operational Research*, 2016, 248, 107 122.
- [10] RUSHTON, A.; CROUCHER, P.; BAKER, P., *The handbook of logistics and distribution management: Understanding the supply chain*; Kogan Page Publishers, 2022.

-
- [11] KUTZELNIGG, R. *Optimal allocation of goods in a warehouse: Minimizing the order picking costs under real-life constraints*, 3rd IEEE International Symposium on Logistics and Industrial Informatics, 2011, pp 65-70.
- [12] GU, J.; GOETSCHALCKX, M.; MCGINNIS, L. F. *Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review*, European Journal of Operational Research, 2010, 203, 539-549.
- [13] RATLIFF, H.; ROSENTHAL, A. *Order-picking in a rectangular warehouse: A solvable case of the traveling salesman problem*, Operations Research, 1983, 31, 507-521.

Corresponding author:

e-mail: blaguemo@etsii.upv.es

Krystian GOLEŃ*

DOI: https://doi.org/10.37190/JoT2022_03

ANALIZA I USPRAWNIENIE LOGISTYCZNEGO SYSTEMU MAGAZYNOWEGO POPRZEZ ZASTOSOWANIE SKŁADOWANIA TYPOWYCH JEDNOSTEK PALETOWYCH W REGALE Z ODZYSKIEM ENERGII

Słowa kluczowe: *odzysk energii, układ odzysku energii, regał przepływowy, regał grawitacyjny, przemiennek częstotliwości, składowanie*

W artykule omówiono zagadnienia związane z zastosowaniem regału przepływowego z odzyskiem energii w procesie składowania typowych jednostek paletowych. Opracowano założenia układu, model obliczeniowy i przeprowadzono analizę przemian energii jednostki ładunkowej podczas procesu składowania. Na podstawie otrzymanych wyników zaproponowano kompletny moduł układu pozwalający na odzyskanie i ponowne wykorzystanie części energii jednostki ładunkowej. Dla zaproponowanego rozwiązania przeprowadzono analizę jego odpowiedniego umiejscowienia. Oszacowano także sprawność zaproponowanego układu i przeanalizowano jego opłacalność ekonomiczną.

1. WSTĘP

Coraz powszechniejszy staje się odzysk energii zarówno w życiu codziennym jak i w przemyśle. W przypadku systemów magazynowych źródłem energii, którą można odzyskać jest energia (potencjalna, kinetyczna) palety umieszczonej na regale. Część jej energii potencjalnej odzyskuje np. układnica w trakcie opuszczania palety wyposażona w system do odzysku energii. Natomiast energię palety przemieszczającej się po regale przepływowym można odzyskać, np. stosując układy przekształcające energię kinetyczną rolki regału przekazaną przez sunącą paletę na energię elektryczną, z wykorzystaniem silnika elektrycznego pracującego w trybie prądnicowym.

W artykule przeanalizowano możliwość, celowość implementacji układów do odzysku energii do logistycznych systemów transportowo-magazynowych. Biorąc pod uwagę tego rodzaju systemy, zdecydowano się na analizę zastosowania układu zwrotu

* Politechnika Wrocławska

energii wykorzystującego działanie regałów przepływowych. Regały te służą do transportowania przeważnie jednostek paletowych pomiędzy poziomami magazynu, do tymczasowego składowania palet, czy do transportowania ich do miejsca załadunku w magazynie. Ruch palet odbywa się pod wpływem działania siły grawitacji po umieszczonych w stałych odległościach od siebie rolkach. Ruch obrotowy rolki spowodowany przez zsuwającą się paletę można wykorzystać do napędzenia urządzenia przekształcającego energię mechaniczną na elektryczną, którą można ponownie wykorzystać.

W dalszej części artykułu czytelnik znajdzie opis rozwiązania pozwalającego na odzyskanie części energii mechanicznej sunącej palety z ładunkiem i przekształcenie jej w energię elektryczną. Zaproponowanie rozwiązania wymagało przeanalizowania przemian energii zachodzących w trakcie ruchu palety. W tym celu opracowano model obliczeniowy dla kilku najważniejszych parametrów. Ponadto przeprowadzono analizę sprawności, opłacalności ekonomicznej opracowanego układu oraz ustalono zakres potencjalnych lokalizacji.

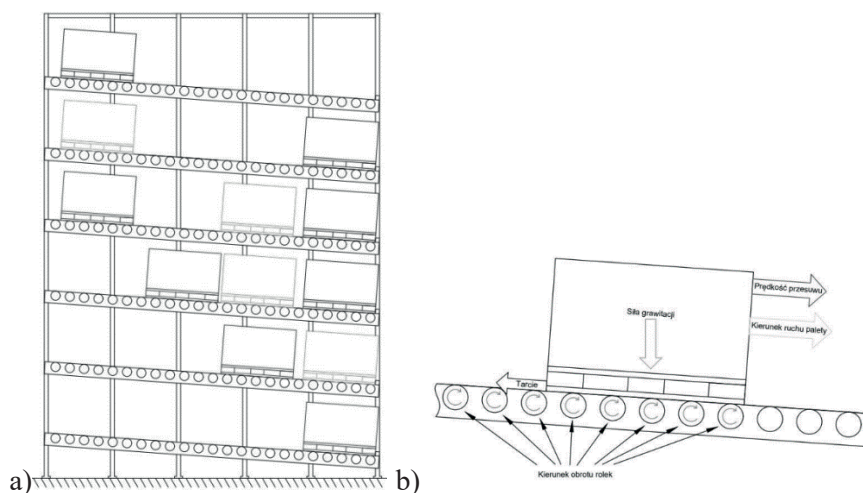
Celem artykułu jest omówienie możliwości odzysku części energii z procesu składowania w regałach przepływowych, przybliżenie opracowanego rozwiązania pozwalającego na odzysk energii oraz omówienie sprawności i analiza ekonomiczna proponowanego rozwiązania.

2. REGAŁY PRZEPIYWOWE

Regały przepływowe realizują składowanie dynamiczne. Z tego względu ich konstrukcja różni się od innych spotykanych rodzajów regałów. Pomiedzy słupami tworzącymi konstrukcję nośną regałów nie znajdują się półki, lecz rzędy rolek lub krążków tworzących przenośniki. Rzędy te ciągną się od jednego końca regału do drugiego. Rolki lub krążki zamontowane są w równych odstępach. Umieszczając paletę z jednej strony takiego regału, przesuwa się ona wraz z pobieraniem palet wcześniej umieszczonych w kierunku drugiego końca (Rys. 1a). Ciągi rolek są pochylone względem podłoża – ładunek przemieszcza się po nich dzięki działaniu siły grawitacji (Rys. 1b). Palety umieszczane są na regałach z wykorzystaniem wózków widłowych lub układnic. W celu zatrzymania poruszających się po regale palet montuje się na końcu hamulce i blokady uniemożliwiające niezamierzone zsuniecie się ładunku z regału. Blokady te zapewniają również odpowiednią odległość między paletą przeznaczoną do odbioru, a kolejną na przenośniku. Sprzężenie mechaniczne sprawia, że po pobraniu ostatniej palety blokada jest zwalniana i kolejna paleta zsuwa się na miejsce odbioru. W chwili dotarcia umieszczonej na regale palety do palety już stojącej następuje uderzenie. W jego wyniku ładunek może ulec uszkodzeniu. Sposób przemieszczania się palet po regałach jest zgodny z zasadą FIFO – pierwsza paleta, która zostaje umieszczona na regale przepływowym, jest pierwszą paletą, która zostanie z niego pobrana (Rys. 1a). Wykorzystanie rolek zamiast półek pozwala na zredukowanie dróg transportowych w magazynach wyposażonych w regały przepływowe. Z tego względu regały te można umieszczać na niemal

całej dostępnej powierzchni magazynu. Regały przepływowe wykorzystuje się przy składowaniu towarów o ograniczonej ważności, jak produkty spożywcze czy farmaceutyczne. Wadą regałów przepływowych jest brak możliwości pobrania konkretnej palety. Spotykane kąty pochylenia regałów przepływowych umożliwiające ruch palet pod wpływem siły grawitacji zawierają się w przedziale $1,5-8^\circ$ [1, 2].

Sposób działania regałów przepływowych stanowi potencjalnie ciekawy układ do aplikacji odzysku energii. Przesuwające się po regale palety przekształcają z pomocą siły grawitacji i tarcia swoją energię potencjalną względem podłoża na energię kinetyczną rolek (Rys. 1b). Jest to energia, którą można spróbować odzyskać i przetworzyć na postać użyteczną. Zaproponowane w niniejszej pracy rozwiązanie techniczne pozwala na odzyskanie jak największej części energii palet zsuwających się po regale.



Rys. 1. a) Schemat działania regału przepływowego wraz przedstawieniem zasady FIFO. b) Siły działające na paletę w trakcie jej ruchu po regale przepływowym i jej oddziaływanie na rolki regału [21].

Fig. 1. a) Flow rack operating diagram and FIFO rule. b) Forces acting on the pallet during its movement through the flow rack and its interaction with the rack rollers [21].

3. ROZWIĄZANIA TECHNICZNE W REGAŁACH MAGAZYNOWYCH

Przeprowadzona analiza literaturowa wykazała, że badania prowadzone w obszarze wiedzy związanej z procesami magazynowania skupiają się przede wszystkim na usprawnieniu procesu pod kątem skrócenia czasu obsługi ładunku. Badacze z Chin [3] i Włoch [4] proponują różnego rodzaju strategie układania ładunku w regałach pozwalające na skrócenie czasu od pobrania ładunku z regału do jego dotarcia do miejsca kompletacji. Strategie te umożliwiają zmodyfikowanie ułożenia ładunków pod kątem częstotliwości pobierania ich z regałów czy ich masy. Rodzaje składowanych ładunków są również dzielone na klasy pozwalające na składowanie bliżej punktu kompletacji towa-

rów o większej częstotliwości zapotrzebowania. Badania przeprowadzone przez chińskich naukowców skupiają się także na wprowadzeniu tzw. alokacji dynamicznej, w myśl której w przypadku częściowego zapotrzebowania na towar z danej palety, może ona wrócić na regał w inne miejsce, niż to z którego została pobrana [3].

Badacze z Włoch [4] zwracają uwagę na energochłonność procesu składowania i proponują stosowanie strategii składowania towarów zoptymalizowanych pod kątem zmniejszenia zużycia energii. Sugerują oni umieszczanie ładunków o większym zapotrzebowaniu bliżej punktu kompletacyjnego oraz składowanie cięższych towarów na niższych kondygnacjach, co pozwala na zredukowanie zapotrzebowania na energię oraz na materiały do budowy regałów. Badania przeprowadzone w Czechach i Słowenii [5] związane z energochłonnością procesu składowania wzięły pod uwagę również stosowane urządzenia transportu magazynowego. Porównano zysk z poprawienia przepustowości magazynu związanej z większymi przyspieszeniami i prędkościami urządzeń transportowych z kosztami związanymi z wdrożeniem i eksploatacją wydajniejszych systemów. Wzrost przyspieszeń i prędkości wymagał stosowania mocniejszych silników, co zwiększało zapotrzebowanie energetyczne, a zatem rosły także koszty układu. Wyniki badań pozwoliły udowodnić, że zastosowanie większej ilości urządzeń o mniejszej mocy, przyspieszeniach i prędkościach zamiast jednego urządzenia mocniejszego pozwala uzyskać zbliżoną przepustowość przy znacznie mniejszych kosztach.

Prowadzone dotychczas badania skupiały się na poprawie energochłonności procesów pod kątem redukcji zapotrzebowania energetycznego. Nie rozważano w nich możliwości wprowadzenia dodatkowego układu skoncentrowanego przede wszystkim na odzysku energii z procesu składowania. W związku z tym nie można porównać wyników uzyskanych w niniejszej pracy z innymi rozwiązaniami.

4. ZAŁOŻENIA UKŁADU ODZYSKU ENERGII

W celu zaprojektowania układu odzysku energii oraz oszacowania ilości możliwej do odzyskania energii sformułowano kilka założeń. Ponadto, aby jak najlepiej przedstawić opisywaną problematykę opracowano model w programie Excel pozwalający na obliczenie energii kinetycznej jednostki ładunkowej i jej prędkości w zależności od wybranych parametrów. Uznano, że największy wpływ na ilość możliwej do odzyskania energii ma masa jednostki ładunkowej, kąt nachylenia bieżni regału oraz długość tej bieżni związana z maksymalną ilością możliwych do składowania palet. Te trzy wymienione wielkości przyjęto jako parametry opracowanego modelu. W zależności od ich konfiguracji wyznaczano ilość możliwej do odzyskania energii.

Do wykonania obliczeń przyjęto, że jednostka ładunkowa umieszczona na regale ma postać standardowej palety EUR 1 o wymiarach $L_p = 1\,200\text{mm}$ długości, $W_p = 800\text{mm}$ szerokości i $H_p = 144\text{mm}$ wysokości. Umieszczony na niej ładunek jest tej samej szerokości i długości oraz wysokości $H_l = 856\text{mm}$, zatem całkowita wysokość jednostki ładunkowej wynosi $H = 1\,000\text{mm}$. Obliczenia w opracowanym modelu przeprowadzono

dla masy jednostki ładunkowej m wynoszącej $m_1 = 300\text{kg}$, $m_2 = 600\text{kg}$ oraz $m_3 = 1\,200\text{kg}$. Przyjęto, że środek ciężkości jednostki ładunkowej znajduje się w jej centralnym punkcie – w połowie długości palety, w połowie szerokości i w połowie wysokości jednostki ładunkowej. Rozkład masy będzie jednorodny. Spotykane wartości kąta pochylenia torów regałów przepływowych α wynoszą $1,5\text{--}8^\circ$ [1], [2]. Standardowo stosowana wartość wynosi $\alpha = 4^\circ$ [6]. Obliczenia w opracowanym modelu przeprowadzono dla wartości $\alpha_1 = 1,5^\circ$, $\alpha_2 = 4^\circ$ oraz $\alpha_3 = 8^\circ$. Regały przepływowe przeważnie montowane są w obszarach kompletacji zamówień, odbioru towaru z magazynu. Z tego względu nie spotyka się regałów przepływowych o wysokości powyżej 20m [7]. W opracowanym modelu przyjęto, że jednostki ładunkowe umieszczane są na regale tak, że ich środek ciężkości w chwili początkowej znajduje się na wysokości $h = 10\,000\text{mm}$ względem podłoża – Ziemi. Głębokość regału przepływowego D_R zależy od wymiarów składowanych ładunków oraz ilości jednostek ładunkowych mieszczących się w jednym torze regału. Producenci regałów zalecają przyjmowanie zapasów głębokości regału na poziomie 200mm bez wykorzystania zatrzymywacza palet oraz do 400mm przy wykorzystaniu zatrzymywacza, aby zapewnić bezpieczne składowanie [8]. Do wykonania obliczeń w opracowanym modelu przyjęto trzy warianty regałów wyposażonych w zatrzymywacze – pozwalających składować 8, 10 i 12 palet. Głębokości regałów wynosiły odpowiednio $D_{R1} = 10\,000\text{mm}$, $D_{R2} = 12\,400\text{mm}$ oraz $D_{R3} = 14\,800\text{mm}$. Stalowe rolki wykorzystywane w regałach przepływowych zazwyczaj mają średnicę $\Phi_r = 60\text{mm}$ [9], natomiast odległość między sąsiednimi rolkami wynosi $L_r = 150\text{mm}$ [10]. Do obliczeń współczynnik tarcia między stalą, a drewnem przyjęto $\mu_k = 0,31$ [11]. W wykonywanych obliczeniach przyjęto wartość przyspieszenia grawitacyjnego $g = 9,807 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Przyjęto, że w trakcie przemieszczania się palety po regale będzie ona pod wpływem dwóch głównych sił – siły tarcia między paletą a rolkami regału oraz oddziaływania grawitacyjnego.

Poza założeniami technicznymi przyjęto także założenia ekonomiczne. Energia odzyskana w wyniku działania układu będzie ponownie wykorzystana, co będzie prowadziło do pewnych oszczędności. Przez pewien okres działania układu, oszczędności przez niego generowane muszą skompensować koszty poniesione w związku z jego zakupem i montażem. Dopiero po wyrównaniu poniesionych kosztów układ zacznie przynosić korzyści. Okres przez jaki układ powinien wypracować zwrot kosztów ustalono na 4 lata. Jest to próg opłacalności inwestycji związany z ceną energii elektrycznej, ustalonej zgodnie ze średnią ceną za energię elektryczną w Polsce.

4.1 ENERGIA I PRĘDKOŚĆ JEDNOSTKI ŁADUNKOWEJ

Całkowita energia jednostki ładunkowej jest sumą kilku składowych wynikających z działających sił, ruchu samej jednostki oraz energii przekazanej jej w celu umieszczenia w pewnej wysokości względem podłoża. Do analizy ruchu jednostki ładunkowej

przyjęto układ składający się z regału, podłoża – Ziemi i jednostki ładunkowej (palety z ładunkiem).

Jak powszechnie wiadomo zmiana energii całkowitej układu jest równa energii dostarczonej do układu lub od niego odebranej. Twierdzenie to nazywane jest zasadą zachowania energii [12] i określa je zależność:

$$\Delta E = \Delta E_{mech} + \Delta E_{term} + \Delta E_{wewn} \quad (1)$$

gdzie:

ΔE – zmiana energii całkowitej układu [J],

ΔE_{mech} – zmiana energii mechanicznej układu [J],

ΔE_{term} – zmiana energii termicznej układu [J],

ΔE_{wewn} – zmiana energii wewnętrznej układu [J].

Energia mechaniczna jest sumą energii kinetycznej i potencjalnej. Na rozważany układ nie działają żadne siły zewnętrzne, jest to układ izolowany. Dla takiego układu zasada zachowania energii mówi, że jego całkowita energia nie może się zmieniać. Mogą zachodzić przemiany jednej postaci energii w inną.

$$\Delta E_{mech} + \Delta E_{term} + \Delta E_{wewn} = 0 \quad (2)$$

W trakcie ruchu po torze regału zmienia się energia mechaniczna palety. W chwili początkowej ruchu paleta ma tylko energię potencjalną przekazaną przez urządzenie umieszczające ją w regale.

Energię potencjalną opisuje zależność [12]:

$$E_p = m * g * h \quad (3)$$

gdzie:

m – masa jednostki ładunkowej [kg],

g – przyspieszenie grawitacyjne $\left[\frac{m}{s^2}\right]$,

h – wysokość względem podłoża [m].

W trakcie ruchu energia potencjalna jednostki ładunkowej zostaje przekształcona w energię kinetyczną ruchu postępowego, a paleta z towarem przemieszcza się. Energię kinetyczną w ruchu postępowym określa zależność [12]:

$$E_k = \frac{m * v^2}{2} \quad (4)$$

gdzie:

E_k – energia kinetyczna w ruchu postępowym [J],

m – masa ciała [kg],

v – prędkość ciała $\left[\frac{m}{s}\right]$.

W opracowanym modelu nie rozważano zmian energii termicznej ΔE_{term} oraz energii wewnętrznej ΔE_{wewn} innej niż energia termiczna. Skupiono się na zmianach energii mechanicznej ΔE_{mech} .

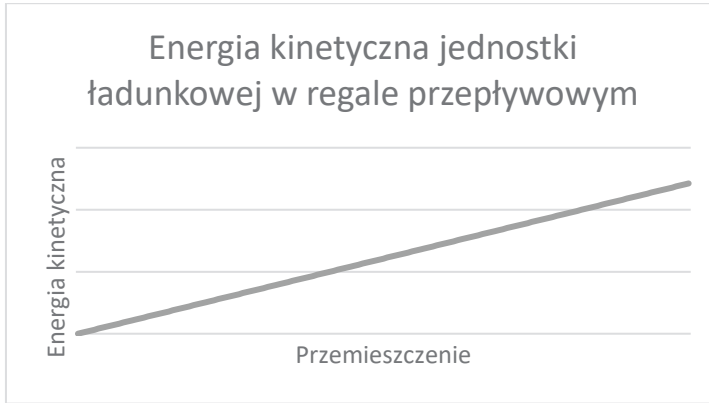
W modelu obliczeniowym przyjęto, że energia układu będzie analizowana od chwili umieszczenia jednostki ładunkowej na regale. Wówczas posiada ona jedynie energię potencjalną względem podłoża. W kolejnych chwilach część energii potencjalnej zostaje przekształcona w energię kinetyczną, a całkowita energia mechaniczna układu pozostaje stała i równa początkowej energii potencjalnej. W końcowej fazie ruchu paleta zwalnia ze względu na zastosowanie zatrzymywacza. Energia jest analizowana do momentu dotarcia palety do końca regału. Znając energię potencjalną i korzystając z zasady zachowania energii obliczana jest energia kinetyczna jednostki ładunkowej. Na jej podstawie wyznaczana jest prędkość palety z towarem.

4.2 ANALIZA OPRACOWANEGO MODELU

Model pozwalał na określenie energii potencjalnej i kinetycznej jednostki ładunkowej w różnych miejscach toru regału. Ruch każdej palety rozpatrywany był od chwili umieszczenia jej w torze regału, gdy miała jedynie energię potencjalną. Ruch każdej palety z towarem analizowano po umieszczeniu jej na wysokości $h = 10\ 000\text{mm}$. Wówczas jej energia mechaniczna była równa jej energii potencjalnej. Następnie jednostka zaczęła poruszać się ruchem postępowym wzdłuż toru regału. Część jej energii potencjalnej zostanie przekształcona w energię kinetyczną, lecz całkowita energia mechaniczna układu pozostanie stała. W odległości 1,5m od końca regału paleta zaczęła zwalniać do całkowitego zatrzymania przez zastosowanie zatrzymywacza. Na pozostałej długości toru regału jednostka ładunkowa rozpędza się swobodnie.

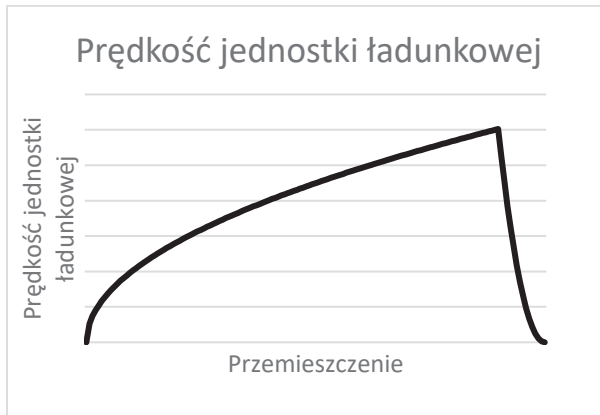
Obliczenia modelu przeprowadzono dla ładunków o trzech różnych masach $m_1 = 300\text{kg}$, $m_2 = 600\text{kg}$, $m_3 = 1\ 200\text{kg}$, dla trzech różnych głębokości regału $D_{R1} = 10\ 000\text{mm}$, $D_{R2} = 12\ 400\text{mm}$ oraz $D_{R3} = 14\ 800\text{mm}$, a także dla trzech różnych kątów nachylenia $\alpha_1 = 1,5^\circ$, $\alpha_2 = 4^\circ$ oraz $\alpha_3 = 8^\circ$. Analizę przeprowadzono dla każdej kombinacji parametrów. W sumie przeanalizowano 27 wariantów.

W układzie następuje jedynie przemiana energii potencjalnej w kinetyczną i brak jest elementów hamujących poza zatrzymywaczem na końcu regału. Zatem energia kinetyczna jednostki ładunkowej rośnie od początku ruchu proporcjonalnie do spadku energii potencjalnej (Rys. 2). Na poniższym rysunku nie uwzględniono fragmentu regału wyposażonego w zatrzymywacz.



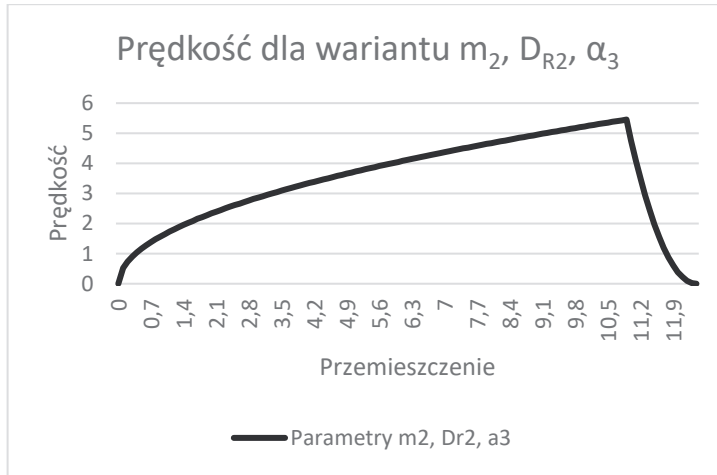
Rys. 2. Zmiany wartości energii kinetycznej wraz z przemieszczeniem ładunku w regale [21].
 Fig. 2. Changes in kinetic energy with movement of the load in the rack [21].

Profil prędkości jednostki ładunkowej kształtował się tak samo dla wszystkich wariantów (Rys. 3). Wraz ze wzrostem energii kinetycznej, prędkość jednostki ładunkowej wzrasta o odpowiednią wartość pierwiastka kwadratowego. W profilu prędkości uwzględniono fazę hamowania na końcu regału.

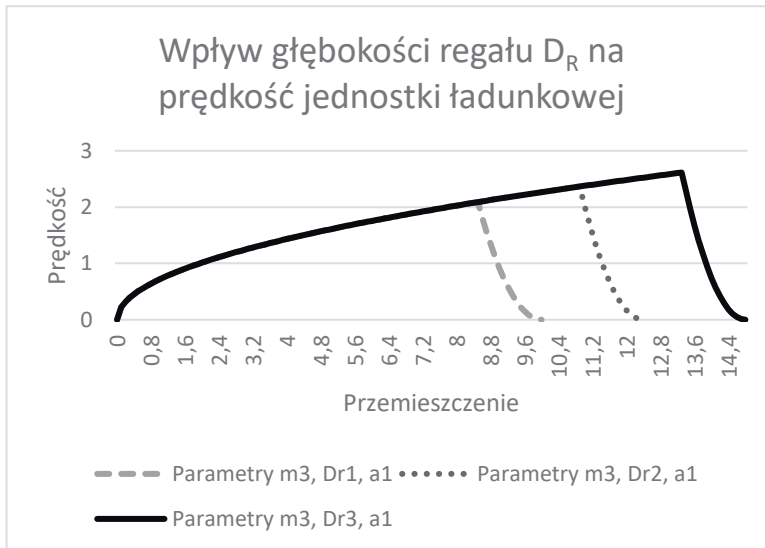


Rys. 3. Zmiana prędkości w trakcie ruchu jednostki ładunkowej w regale przepływowym [21].
 Fig. 3. Change of speed during movement of a load unit in a flow rack [21].

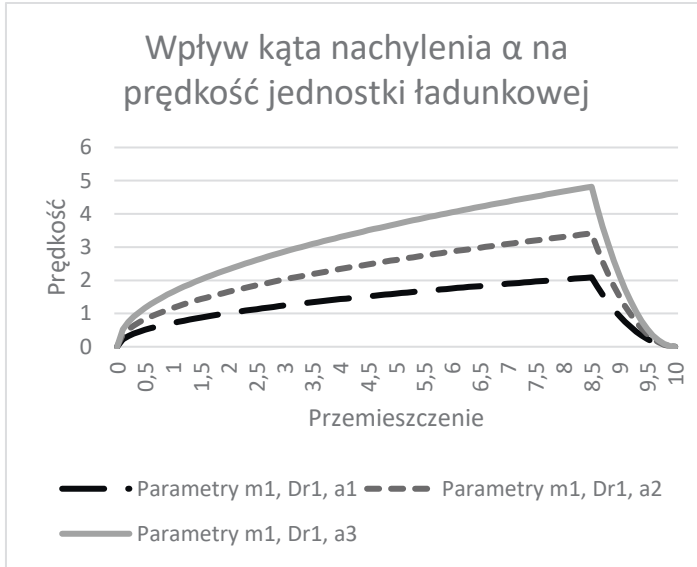
Analizując warianty modelu zauważono, że zmiany masy m jednostki ładunkowej nie mają wpływu na jej prędkość dla tych samych kątów nachylenia α oraz głębokości regału D_R (Rys. 4). Wynika to z zachodzących przemian energii. Zarówno we wzorze na energię kinetyczną jak i potencjalną występuje masa. Zatem jej zmiana powoduje proporcjonalne zmiany wartości danego rodzaju energii.

Rys. 4. Zmiana prędkości od przemieszczenia w wariantcie m_2, D_{R2}, α_3 [21].Fig. 4. Variation of speed from displacement in the variant m_2, D_{R2}, α_3 [21].

Głębokość regału D_R wpływa na maksymalnie osiągniętą przez jednostkę ładunkową prędkość. Przy tej samej masie m i kącie nachylenia α im większa głębokość regału tym większa jest maksymalnie osiągnięta przez jednostkę ładunkową prędkość (Rys. 5). Wynika to z faktu, że dla większej głębokości dłuższy jest odcinek, po którym paleta może się rozpędzać zanim dotrze do zatrzymywacza. Zatem więcej energii potencjalnej zostanie przekształcone w energię kinetyczną.

Rys. 5. Prędkości osiągnięte przez jednostkę ładunkową dla różnych głębokości regału D_R [21].Fig. 5. Speeds achieved by the loading unit for different racking depths D_R [21].

Kąt nachylenia α wpływa na stromość charakterystyki energii kinetycznej i prędkości. Im wartość kąta α była większa, tym w danym miejscu regału więcej energii potencjalnej było przekształcone w energię kinetyczną jednostki ładunkowej, co przekładało się na większą prędkość (Rys. 6).



Rys. 6. Prędkości osiągnięte przez jednostkę ładunkową dla różnych kątów nachylenia α [21].

Fig. 6. Speeds achieved by the load unit for different inclination angles α [21].

Z obserwacji wyników modelu wynika, że więcej energii potencjalnej zostanie przekształcone w energię kinetyczną w regale o większym nachyleniu i głębokości. Masa jednostek ładunkowych nie wpływa na ilość przekształconej energii. Zatem spośród analizowanych wariantów największą energię kinetyczną i prędkość jednostki ładunkowej odnotowano dla głębokości regału $D_{R3} = 14\ 800\text{mm}$, kąta nachylenia $\alpha_3 = 8^\circ$ dla wszystkich analizowanych mas.

4.3 ENERGIA KINETYCZNA ROLKI

Rolka przed kontaktem z paletą nie obraca się. W trakcie trwania kontaktu pomiędzy nimi występuje tarcie. Wówczas rolka zacznie się obracać. Prędkość liniowa punktu na obwodzie rolki nie powinna przekroczyć prędkości palety. Zgodnie z obliczeniami wykonanymi w opracowanym modelu największa prędkość jednostki ładunkowej wynosi $v = 6,025 \frac{m}{s}$. Tą wartość przyjęto jako maksymalną prędkość liniową rolki. Związek między prędkością liniową, a prędkością kątową w ruchu obrotowym określa poniższe równanie:

$$v = \omega * r \quad (5)$$

gdzie:

$$v - \text{prędkość liniowa} \left[\frac{m}{s} \right],$$

$$\omega - \text{prędkość kątowna} \left[\frac{rad}{s} \right],$$

$$r - \text{promień koła [m]}.$$

Dzieląc obustronnie powyższą zależność przez promień r można wyznaczyć prędkość kątową ω . Średnica rolki wynosi $\Phi_r = 60\text{mm}$, zatem maksymalna prędkość kątowna wynosi $\omega \approx 200,833 \frac{rad}{s}$. Rolki przenośników regałów przepływowych są ułożyskowanymi na obu końcach stalowymi rurami. Ich długość zależy od szerokości ładunku. Dla palet o szerokości $W_p = 800\text{mm}$, długość rolek wynosi $L=870\text{mm}$ [13]. Grubość ścianek wynosi $e_r = 2\text{mm}$, a ich średnica $\Phi_r = 60\text{mm}$ [13]. Rolki obracają się wokół swojej osi symetrii. Gęstość stali przyjęto $\rho_s = 7\,900 \frac{kg}{m^3}$ [14]. Moment bezwładności rolki wynosi $I_r \approx 0,002\text{kg}\cdot\text{m}^2$. Energię kinetyczną w ruchu obrotowym opisuje zależność:

$$E_{kobr} = \frac{I_b * \omega^2}{2} \quad (6)$$

gdzie:

$$E_{kobr} - \text{energia kinetyczna w ruchu obrotowym [J]},$$

$$I_b - \text{moment bezwładności bryły [kg}\cdot\text{m}^2],$$

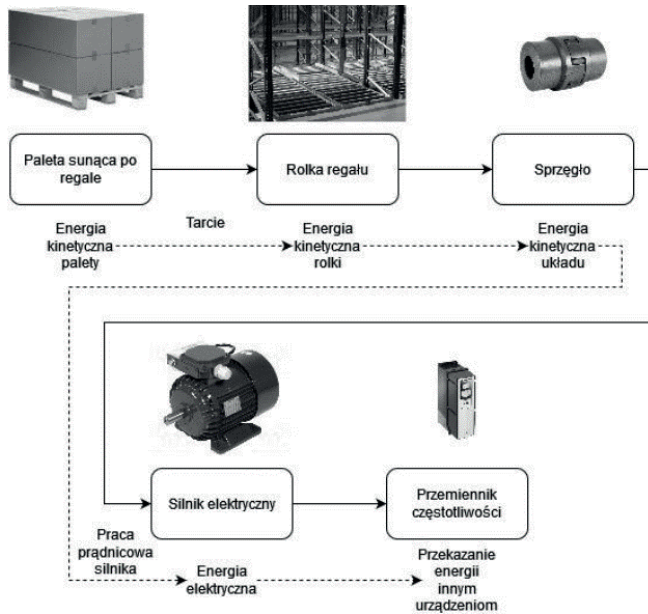
$$\omega - \text{prędkość kątowna} \left[\frac{rad}{s} \right].$$

Zatem energia kinetyczna rolki dla maksymalnej prędkości kątownej $\omega = 200,833 \frac{rad}{s}$ wynosi $E_{kr} \approx 40,334\text{J}$. Wyznaczona wartość jest wartością szczytową w badanym modelu. Maksymalna energia kinetyczna innych rolek w tym samym wariancie modelu będzie mniejsza od obliczonej. Energia możliwa do odzyskania będzie pomniejszona o straty zaproponowanego modułu układu odzysku energii.

5. KONCEPCJA ROZWIĄZANIA

Zaproponowany układ do odzysku energii umożliwia przetworzenie części energii kinetycznej rolki na energię elektryczną. Rolka pozyskuje energię kinetyczną od sunącej palety. Część tej energii przenosi układ mechaniczny, dzięki zmodyfikowanej rolce na adapter. Na adapterze umieszczono wał z wypustem, na którym zamocowano sprzęgło kłowe. Do drugiej piasty sprzęgła wprowadzono wał silnika elektrycznego. Obracająca się rolka napędza silnik za pośrednictwem sprzęgła.

Obracający się wirnik silnika, dzięki odpowiedniemu wystereowaniu przez podłączony do niego przemiennik częstotliwości, wprowadza silnik w pracę prądnicową. Wtedy część energii mechanicznej na wale silnika zmienia się w energię elektryczną. Energię tą można wykorzystać do zasilania innych urządzeń. Schemat ideowy układu przedstawiono poniżej (Rys. 7).



Rys. 7. Schemat ideowy układu odzysku energii z regału przepływowego [21].

Fig. 7. Schematic diagram of a flow rack energy recovery system [21].

5.1 ELEMENTY SKŁADOWE UKŁADU

Najważniejszymi elementami systemu są odpowiednio zmodyfikowane rolki z adapterem, silnik oraz przemiennik częstotliwości. Dzięki współpracy tych części możliwe jest odzyskanie energii w trakcie ruchu palety po torze regału przepływowego.

Standardowo stosowaną w regałach rolkę zmodyfikowano na potrzeby układu. Konieczne było przede wszystkim zaadoptowanie jej konstrukcji do przekazywania ruchu obrotowego. Wykorzystano dłuższą rolkę do ładunków 1 000mm, aby nie zmniejszać szerokości jednostek ładunkowych. Jej długość wynosi 1 070mm. W kątowniku regału wywiercono otwór, żeby zamocować rolkę. Konieczny był wówczas montaż łożyska, aby rolka mogła się obracać. Na część rolki poza zarysem regału nasunięto adapter. W rolce i adapterze są 4 otwory, aby je ze sobą skręcić. Pozwala to na przekazanie ruchu obrotowego. Część adaptera ma kształt wału $\Phi 19$ z występem, który wprowadzono do sprzęgła.

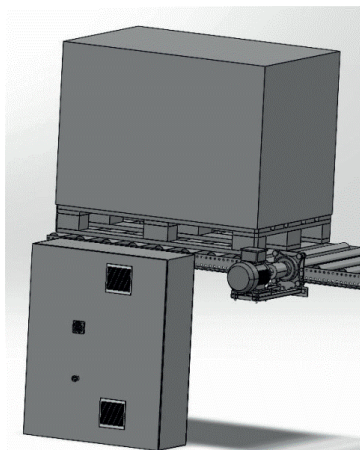
Do drugiej piasty sprzęgła wprowadzono wał silnika indukcyjnego. Uwzględniając prędkości kątowe rolek regału oraz dostępne na rynku przemienniki częstotliwości dobrano silnik o następujących parametrach:

- Wymiary 278x160x212mm,
- Wznios wału 80mm,
- Moc $P = 0,75\text{kW}$,
- Znamionowa prędkość obrotowa $n = 1\,440 \frac{\text{obr}}{\text{min}}$,
- Napięcie zasilania 400VAC,
- Prąd znamionowy $I_n = 1,9\text{A}$,
- Sprawność $\eta = 0,74$,
- Współczynnik mocy $\cos\Phi = 0,78$.

Kluczowym elementem układu jest przemiennik częstotliwości. Wprowadza i utrzymuje silnik w pracy prądnicowej i przekazuje odzyskaną energię. Posiada możliwość tworzenia niewielkich programów dzięki wbudowanemu sterownikowi, zatem może spełniać funkcje sterownicze układu - nie trzeba stosować dodatkowego sterowania. Ze względu na specyfikę układu nie zastosowano przemiennika regeneracyjnego, tylko standardowy. Nie zapewnia zwrotu energii do sieci, ale przy odpowiednich ustawieniach nadmiar energii można odzyskać z obwodu pośredniego. W tym celu zamiast rezystora, zastosowano przetwornice DC/DC. Wówczas odzyskaną energię można ponownie wykorzystać. Do właściwego sterowania silnikiem potrzebny był enkoder. Dobrano przemiennik ACS880-01-02A4-3+E202+L517.

5.2 PROPOZYCJA MODUŁU UKŁADU ODZYSKU ENERGII

Poniżej przedstawiono propozycję wizualizacji opracowanego układu (Rys. 8).

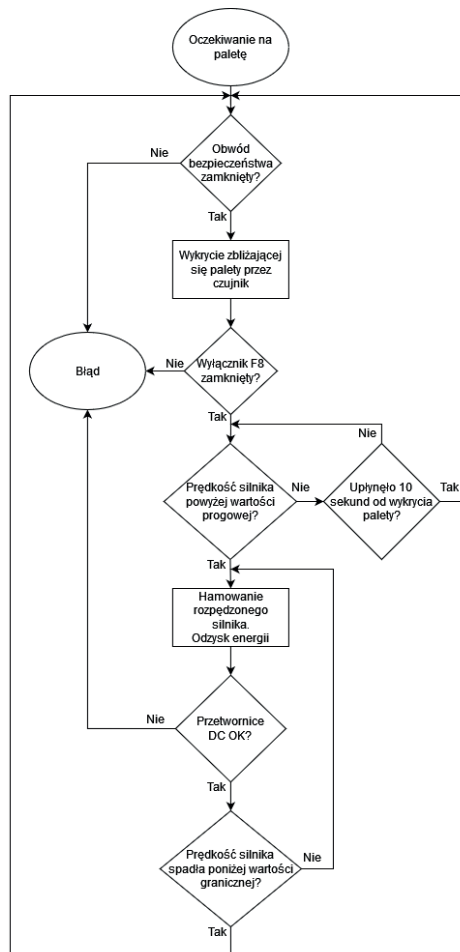


Rys. 8. Propozycja opracowanego modułu układu do odzysku energii [21].

Fig. 8. Proposal of the developed energy recovery system module [21].

5.3 SCHEMAT DZIAŁANIA UKŁADU

Zaproponowany układ wymaga dedykowanej aplikacji sterującej. Jej działanie zostanie zaimplementowane w programie przemiennika. Program uwzględnia stan wyłącznika awaryjnego. Aby układ poprawnie pracował konieczny był sygnał o zbliżającej się palecie od czujnika odbiciowego, sprzężenie zwrotne prędkości silnika zapewniane przez enkoder, sygnały o poprawnej pracy przetwornic DC/DC oraz położenie wyłącznika zabezpieczającego obwody za przetwornicami. Po uruchomieniu modulacji sygnałem sterującym jest prędkość silnika, na jej podstawie przemiennik wprowadza silnik w pracę prądnicową. Propozycję działania układu przedstawiono na Rys. 9.

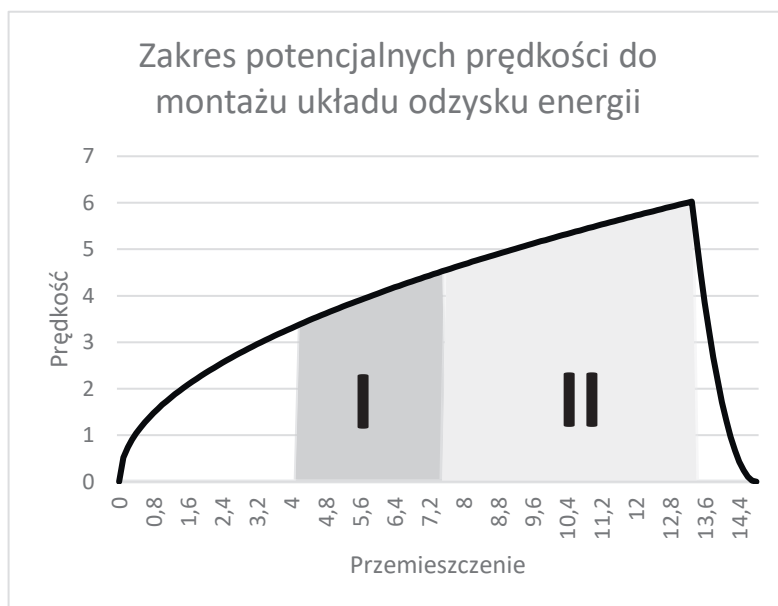


Rys. 9. Propozycja schematu działania układu odzysku energii [21].
Fig. 9. Proposal for an energy recovery system operating scheme [21].

6. LOKALIZACJA UKŁADU

Opracowany moduł układu odzysku energii powinien być zamontowany w miejscu regału, które pozwoli na odzyskanie jak największej ilości energii. Zgodnie z założeniami silnik powinien być utrzymywany w pracy prądnicowej powyżej $0,75n$ jego prędkości znamionowej. Pozwoli to na odzyskanie największej ilości energii elektrycznej. Zatem potencjalne lokalizacje montażu układu odzysku znajdują się tam, gdzie rolki osiągną prędkość z zakresu $0,75n-n$ prędkości znamionowej silnika. Dla dobranego silnika są to prędkości z przedziału ok. $1\ 080-1\ 440\frac{obr}{min}$.

Na podstawie modelu obliczeniowego układu odzysku energii wyznaczono obszar regału, gdzie potencjalnie można zamontować układ odzysku (Rys. 10). Analizę przeprowadzono dla najbardziej efektywnych pod względem energetycznym wariantów modelu.



Rys. 10. Obszar potencjalnego montażu układu odzysku w zależności od prędkości jednostki ładunkowej. Zakres I - prędkości rolek $1\ 080-1\ 440\text{obr}/\text{min}$, zakres II- prędkości rolek powyżej $1\ 440\text{obr}/\text{min}$ [21].

Fig. 10. Potential installation area of the recovery system depending on the speed of the loading unit. Scope I - roller speeds $1\ 080-1\ 440\text{rpm}$, scope II - roller speeds above $1\ 440\text{rpm}$ [21].

Przedstawiony powyżej profil prędkości wyróżnia dwa zakresy. Zakres I odpowiada prędkościom rolek z zakresu $1\ 080-1\ 440\frac{obr}{min}$, w którym energia powinna być odzyskiwana. Zakres II odpowiada prędkościom rolek powyżej $1\ 440\frac{obr}{min}$. Odzysk

energii w zakresie II również jest możliwy. W tym przypadku przemiennik będzie rozpoczynać modulację silnika po spadku prędkości jego wału poniżej $1440 \frac{obr}{min}$.

Miejsce montażu układu odzysku powinno być starannie dobrane. Powinno uwzględniać rodzaj i ilość ładunku, otoczenie i konstrukcję regału oraz specyfikę magazynu. Ponadto należy uwzględnić, że zaproponowana orientacja montażu układu wymaga zapewnienia przestrzeni o wymiarach przynajmniej 544x183x258mm obok kanału regału.

7. SPRAWNOŚĆ

Zaproponowany układ może odzyskać tylko część energii przekazanej przez jednostkę ładunkową i przetworzyć na energię elektryczną. Na jego sprawność wpływają sprawności części składowych. Najważniejszymi elementami wpływającymi na sprawność całkowitą są silnik, przemiennik częstotliwości oraz przetwornice DC/DC.

Sprawność silnika elektrycznego zależy przede wszystkim od obciążenia oraz punktu charakterystyki, w którym znajduje się silnik w trakcie pracy. Sprawność dobrego silnika wynosi $\eta = 0,74$ [15].

Przemienniki częstotliwości są poddawane badaniom pozwalającym określić ich sprawność. Norma IEC 61 800-9-2 definiuje metody pomiarowe, wymagania oraz trzy klasy sprawności energetycznej IE0, IE1 oraz IE2. Sprawność dobrego przemiennika ACS880-01-02A4-3+E202+L517 spełnia wymagania najwyższej klasy sprawności energetycznej IE2 [16], [17]. Sprawność przemiennika dla obciążenia znamionowego i prędkości wirnika na poziomie 45Hz wynosi $\eta_f = 0,965$ [18].

Praca przetwornic DC/DC wiąże się ze stratami energii. Część energii jest wykorzystywana do zasilenia układów przetwornic, a część zostaje rozproszona w postaci ciepła. Zgodnie z danymi producenta sprawność dobranych przetwornic zawiera się w przedziale 0,84–0,87. Przyjęto, że sprawność przetwornicy DC/DC wynosi $\eta_{pDC} = 0,86$ [19].

Sprawność całkowita układu jest równa iloczynowi sprawności elementów składowych. Wynosi ona:

$$\eta_u = \eta * \eta_f * \eta_{pDC} = 0,740 * 0,965 * 0,860 \approx 0,614 \approx 0,61 \quad (7)$$

gdzie:

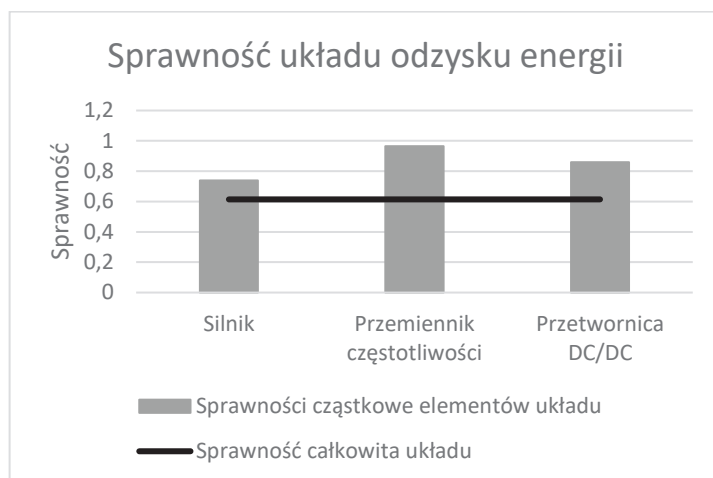
η_u – sprawność całkowita układu odzysku energii,

η – sprawność silnika,

η_f – sprawność przemiennika częstotliwości,

η_{pDC} – sprawność przetwornicy DC/DC.

Na wynik wpływają sprawności silnika oraz przetwornic DC/DC, co sprawia że całkowita sprawność jest niższa (Rys. 11).



Rys. 11. Sprawności cząstkowe elementów i sprawność całkowita układu odzysku energii [21].

Fig. 11. Partial efficiencies of the components and total efficiency of the energy recovery system [21].

8. ANALIZA OPŁACALNOŚCI EKONOMICZNEJ UKŁADU

Ilość energii możliwej do odzyskania przez układ powinna być na tyle duża, żeby koszt jej zakupu był większy od kosztów układu w ustalonym czasie. Zgodnie z założeniami koszty zakupu i montażu układu powinny zwrócić się w ciągu 4 lat, aby jego zastosowanie było ekonomicznie uzasadnione.

Energia możliwa do odzyskania przez układ przy przesuwie jednej jednostki ładunkowej przy założeniu, że przed kontaktem z paletą rolka nie obraca się wynosi maksymalnie $E_{kr} = 60,5J$. Wartość ta uwzględnia zastosowanie dłuższej rolki. Przyjęto, że silnik będzie zwalniany z prędkości $1440 \frac{obr}{min}$ do prędkości $1080 \frac{obr}{min}$ w czasie $t_z = 5s$. Uwzględniając czas zwalniania silnika, energię kinetyczną rolki dla prędkości początkowej oraz prędkość zakończenia modulacji wyznaczono, że w trakcie jednego cyklu zwalniania rolki możliwa do odzyskania energia kinetyczna wynosi $E_{kcal} \approx 133,239J$. Uwzględniając sprawność układu możliwa do odzyskania ilość energii wynosi $E_{kodz} \approx 81,276J$.

Energia elektryczna rozliczana jest w kWh, 1kWh to 3 600 000J. Zatem $E_{kodz} = 81,276J \approx 2,26 \cdot 10^{-5} kWh$.

Układ zamontowano w magazynie, gdzie w ciągu roku zachodzi 3 153 600 pełnych cykli odzysku. W ciągu roku układ jest w stanie odzyskać $E_{odz} \approx 71,20kWh$. Biorąc pod uwagę założenia, w ciągu 4 lat układ może odzyskać 284,8kWh. Koszty

budowy układu oszacowano na 15 109,41zł, z czego koszt zakupu elementów niezbędnych do budowy układu wyniósł 13 109,41zł. Koszt jednej kilowatogodziny przyjęto $K_{kWh} = 2,314\text{zł/kWh}$ [20]. Uwzględniając koszty zakupu i montażu układu oraz koszt jednej kilowatogodziny K_{kWh} oszacowano ilość energii, jaką układ powinien odzyskać, aby jego zakup był rentowny. Próg rentowności układu wynosi:

$$BEP = \frac{15109,41\text{zł}}{2,314 \frac{\text{zł}}{\text{kWh}}} = 6529,563\text{kWh} \quad (8)$$

gdzie:

BEP – próg rentowności [kWh].

Biorąc pod uwagę próg rentowności inwestycji BEP oraz energię, którą układ będzie w stanie odzyskać w ciągu 4 lat zakup proponowanego rozwiązania jest ekonomicznie nieuzasadniony.

9. PODSUMOWANIE

1. Artykuł miał na celu omówienie możliwości odzysku energii z regałów przepływowych, przedstawienie aktualnego stanu wiedzy w tej dziedzinie, przedstawienie założeń proponowanego układu i analizę modelu obliczeniowego. Ponadto omówiono zaproponowaną koncepcję rozwiązania, jej części składowe i zasadę działania. Przeanalizowano także sprawność układu i jego opłacalność ekonomiczną.

2. Zasada działania regałów przepływowych może stanowić ciekawą platformę do budowy układów odzyskujących energię. Obracające się rolki mogą napędzać urządzenia układu.

3. Naukowcy z wielu krajów na świecie prowadzą badania nad usprawnieniem procesów składowania, zmniejszeniu czasów kompletacji czy ograniczeniu energochłonności procesów magazynowych. Badania te biorą pod uwagę zarówno sposób rozmieszczenia ładunków, jak i zapotrzebowanie energetyczne urządzeń magazynowych.

4. Zaproponowanie układu odzysku wymagało oszacowania energii możliwej do odzyskania. W tym celu opracowano model obliczeniowy. Analiza modelu zmian energii w trakcie ruchu jednostki ładunkowej po torze regału pozwoliła stwierdzić, że ilość energii kinetycznej jest niezależna od masy ładunku. Energia ta wzrasta wraz ze wzrostem głębokości regału oraz kąta nachylenia toru.

5. Zaproponowany układ odzysku energii przyjmuje część energii kinetycznej przesuwanej się w regale palety i przetwarza na energię elektryczną o parametrach umożliwiających wykorzystanie jej ponownie. Składa się z części mechanicznej oraz aparatury elektrycznej. Jego działanie możliwe jest dzięki opracowanemu algorytmowi.

6. Model obliczeniowy z uwzględnieniem parametrów dobranych urządzeń tworzących układ pozwolił na wyznaczenie potencjalnego obszaru regału, gdzie układ jest uzasadniony pod względem energetycznym.

7. Przeprowadzono analizę sprawności zaproponowanego układu w celu określenia ilości energii potencjalnie możliwej do odzyskania. Całkowita sprawność opracowanego rozwiązania wynosi $\eta_u = 0,61$ (Rys. 11).

8. Uwzględnienie sprawności układu pozwoliło oszacować ilość energii, którą będzie on w stanie odzyskać. Biorąc pod uwagę koszty budowy układu oraz koszty energii elektrycznej określono, jaką ilość energii układ powinien odzyskać, aby być opłacalny. Z przeprowadzonej analizy wynika, że zastosowanie opracowanego rozwiązania jest ekonomicznie nieuzasadnione.

LITERATURA

- [1] WOJCIECHOWSKI A., *Regały przepływowe w praktyce*, Nowoczesny Magazyn nr 6, 20 Maj 2021.
- [2] www.bit.com.pl/pl/ekspertyza/artikel/jakie-sa-techniki-magazynowania/ (dostęp: 20.01.2022)
- [3] GANG C., HAOLIN F., KAIYI L., YANLI T., *Retrieval-oriented storage relocation optimization of an automated storage and retrieval system*, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, tom 155, 2021.
- [4] MENEGHETTI A., MONTI L., *Multiple-weight unit load storage assignment strategies for energy-efficient automated warehouses*, International Journal of Logistics: Research and Applications, tom 17, nr 4, pp. 304-322, 2014.
- [5] LERHER T., EDL M., ROSI B., *Energy efficiency model for the mini-load automated storage and retrieval systems*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, pp. 97-115, 2014.
- [6] JONAK J., NIEOCZYM A., *Logistyka w obszarze produkcji i magazynowania*, Politechnika Lubelska, Lublin 2014.
- [7] www.wdx.pl/oferta/regaly-przeplywowe-grawitacyjne/ (dostęp: 09.09.2022)
- [8] Katalog regałów przepływowych firmy Mecalux.
- [9] www.nedcon.pl/blog/jak-dzialaja-regaly-rolkowe/ (dostęp: 03.05.2022)
- [10] Materiały firmy MECALUX, *Regały przepływowe - idealna rotacja palet dzięki grawitacyjnemu systemowi przemieszczania ładunku*, Warszawa 2016.
- [11] SKOĆ A., SPAŁEK J., MARKUSIK S., *Podstawy konstrukcji maszyn*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2008.
- [12] HALLIDAY D., RESNICK R., WALKER J., *Podstawy fizyki Tom 1*, PWN, Warszawa 2015.
- [13] www.techprim.pl/oferta/przenosniki-rolkowe-grawitacyjne/rolki-i-profile-nosne/ (dostęp: 16.05.2022)
- [14] www.calculla.pl/tabela_gestosci (dostęp: 16.05.2022)
- [15] Katalog silników 3-fazowych firmy TAMEL S.A.
- [16] Materiały firmy ABB, *Pojedyncze przemienniki częstotliwości ACS880*, 2019
- [17] AARNIOVUORI L., KÄRKKÄINEN H., ANUCHIN A., PYRHÖNEN J., LINDH P., CAO W., *Voltage Source Converter Energy Efficiency Classification in Accordance with IEC 61800-9-2*, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2019.
- [18] www.ecodesign.drivesmotors.abb.com/drive (dostęp: 30.07.2022)

[19] Materiały firmy MeanWell, *Karta katalogowa przetwornic DC/DC serii DDRH-60*, New Taipei City 2019.

[20] www.rachuneo.pl/prad-dla-firm?subpage=energy-offers-list (dostęp: 01.08.2022)

[21] Opracowanie własne

ANALYSIS AND IMPROVEMENT OF THE LOGISTIC STORAGE SYSTEM BY MEANS OF STORING TYPICAL PALLET UNITS IN A RACK WITH ENERGY RECOVERY

Key words: *energy recovery, energy recovery system, flow rack, gravity flow rack, frequency converter, storage*

The paper describes the possibility of recovering a part of a pallet's kinetic energy during storage on a flow rack. In order to develop the solution, it was necessary to make assumptions, create a computational model and analyse energy transformations during the storage process. The proposed solution, based on the results of the model and analysis, is able to recover energy from flow racks and transform it into a usable form. The paper analyses an appropriate localisation for the energy recovery system, describes its efficiency and defines its cost effectiveness.

Corresponding author:

e-mail: kg.golen@gmail.com

Bartłomiej LOREK, Rafał BERNAT, Mariusz KOSOBUDZKI*

DOI: https://doi.org/10.37190/JoT2022_04

ANALIZA BUDOWY I DZIAŁANIA UKŁADU ZAWIESZENIA ŁAZIKA SCORPIO X

Słowa kluczowe: *łazik, Mars, pojazd off-road, zawieszenie, Scorpio, Rover Challenge, URC*

W artykule przedstawiono charakterystykę konstrukcji układu zawieszenia zależnego pojazdu wysokiej mobilności Scorpio X, skonstruowanego na potrzeby uczestniczenia w zawodach łazików marsjańskich serii Rover Challenge. Przedstawiono i omówiono podstawowe wymagania regulaminowe zawodów oraz koncepcję zawieszenia pojazdu. Analizy ograniczono do wybranych warunków ruchu pojazdu, tj. pokonywania pojedynczej przeszkody terenowej. Wyznaczono przełożenie kinematyczne w przyjętym układzie zawieszenia oraz poddano analizie wartości sił, jakie oddziałują na elementy zawieszenia. Obliczono wartości odkształceń elementów zawieszenia i ramy pojazdu. Przedstawiono również wnioski z użytkowania pojazdu i wymagane zmiany jakie należy wprowadzić do kolejnej wersji pojazdu.

1. WSTĘP

Scorpio X jest pojazdem off-road, skonstruowanym przez studentów zrzeszonych w Kole Naukowym Pojazdów Niekonwencjonalnych Off-Road, działającym przy Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn i Układów Mechatronicznych Politechniki Wrocławskiej. Podstawowym celem prac studentów nad łazikiem była chęć brania udziału w rywalizacji z innymi drużynami studenckimi w zawodach serii Rover Challenge. Najbardziej prestiżowymi zawodami serii RC są zawody University Rover Challenge organizowane przez Mars Society. W zawodach tych łaziki marsjańskie wykonują misje w warunkach zbliżonych do tych panujących na Księżycu i na Marsie. Miejscem organizacji zawodów są często tereny pustyń kamienistych lub specjalnie przygotowane poligony o podobnym rodzaju powierzchni i ukształtowania. Wymaga to od pojazdów posiadania cech funkcjonalnych pozwalających na jazdę po podłożu szutrowym, poprzecinanym koleinami, wąwozami, czy wyschniętymi korytami rzek, na którym losowo znajdują się odłamki skał i rozpadlin. Od pojazdu wymaga się, żeby zachował zdolność jazdy w tych warunkach oraz wykonywania zadań ustalonych przez organizatorów zawodów. Przykład takiego pojazdu przedstawiono na rysunku 1.

* Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn i Układów Mechatronicznych, Politechnika Wrocławska

Zbudowanie pojazdu, który jest w stanie poruszać się po niesprzyjającym terenie oraz rywalizować z innymi konstrukcjami jest dużym osiągnięciem. Natomiast chęć rozwoju i poprawienia konstrukcji jest tym czym na co dzień zajmują się studenci. Przed przystąpieniem do projektowania następcy Scorpio X należy zbadać aktualny pojazd i na podstawie tych analiz wyciągnąć wnioski, które pozwolą zbudować lepszy pojazd. Celem analiz opisanych w tym artykule jest sprawdzenie zachowania się zawieszenia pod obciążeniem oraz oddziaływanie na ramę pojazdu. Poznania jego limitów, słabych oraz mocnych stron, jak również wyznaczenie elementów do poprawy.



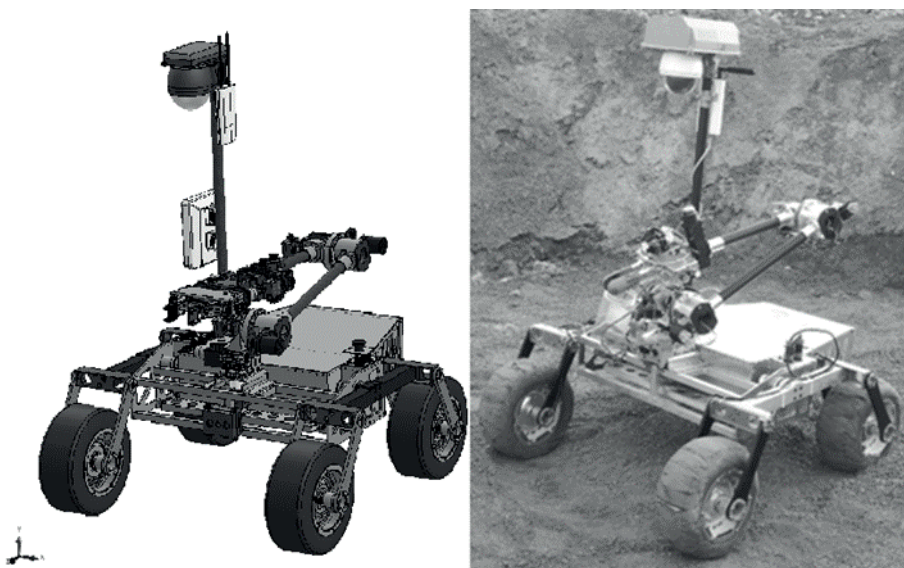
Rys. 1. Pojazd skonstruowany przez drużynę AGH Space System biorący udział w zawodach European Rover Challenge w roku 2022

Fig. 1. Vehicle constructed by the AGH Space System team taking part in the European Rover Challenge in 2022

2. ZAŁOŻENIA KONSTRUKCYJNE POJAZDU SCORPIO XLUSTRACJE

Konstruowany pojazd musi spełniać ograniczenia narzucone przez regulaminy zawodów. Podstawowymi ograniczeniami są wymiary zewnętrzne i masa łożyska. Gotowa konstrukcja musi zmieścić się w sześciacie o krawędzi 1200 mm oraz nie przekraczać masy 50 kg [1]. W praktyce konstrukcja pojazdu wymaga wykorzystania podwozia kołowego pojazdu z układem jezdnym z czterema lub sześcioma kołami, napędu wszystkich kół, układu zawieszenia pozwalającego na pokonywanie przeszkód o wysokości ok. 300 mm, realizacji wjazdu i zjazdu na wzniesienia o kącie nachylenia do 30 stopni

[2] oraz możliwości realizacji skrętów na małej przestrzeni, często ograniczonej obecnością kamieni i skał. W celu wykonania zadań wyznaczonych przez organizatorów zawodów, łazik musi być wyposażony w manipulator, który umożliwia podnoszenie narzędzi, pobranie próbek i wiele innych. Moduł ten w istotny sposób podnosi położenie środka ciężkości pojazdu, co pogarsza własności terenowe pojazdu. Pojazdem, który posiada wymagane funkcjonalności jest również Scorpio X, przygotowany przez studentów koła Off-Road do zawodów w latach 2019 – 2022, który został przedstawiony na rysunku 2.



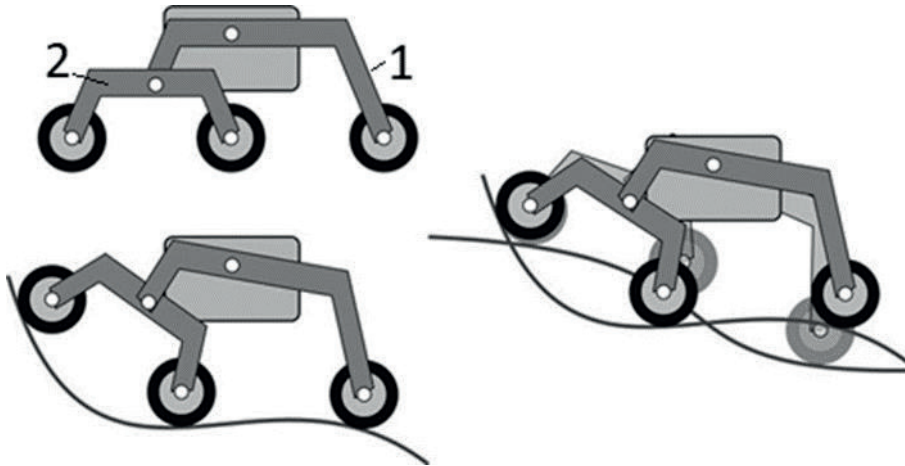
Rys. 2. Pojazd Scorpio X skonstruowany przez studentów KN Off-Road biorący udział w zawodach European Rover Challenge w roku 2019 (po lewej stronie – model wirtualny, po prawej stronie – zdjęcie pojazdu)

Fig. 2. Scorpio X vehicle constructed by KN Off-Road students, taking part in the European Rover Challenge in 2019 (left - virtual model, right - photo of the vehicle)

3. BUDOWA UKŁADU ZAWIESZENIA SCORPIO X

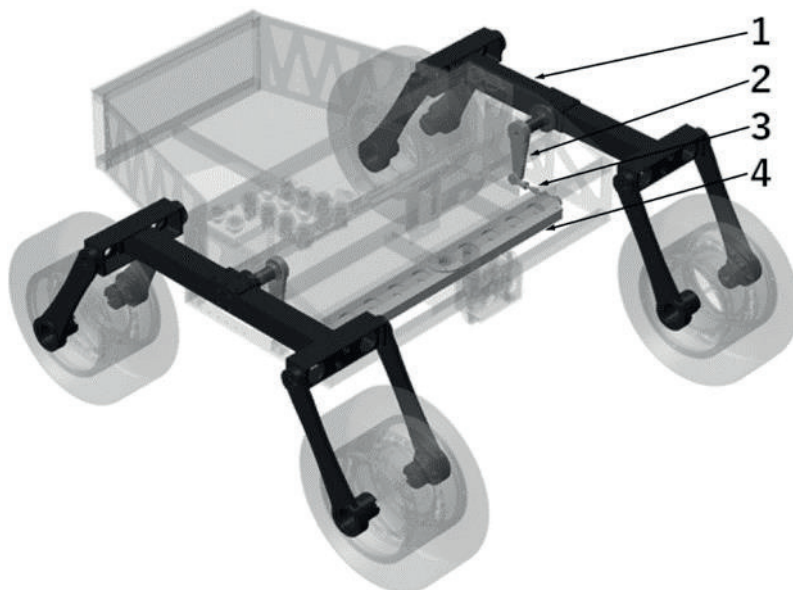
Koncepcja układu zawieszenia, razem z koncepcją układu napędowego i skrętu decyduje w największym stopniu o cechach użytkowych pojazdu. W Scorpio X zdecydowano się na układ zawieszenia, nazywany rocker – boogie, który jest wykorzystywany przez Amerykańską Agencję Kosmiczną NASA w swoich konstrukcjach Curiosity czy Perseverance. W podstawowej wersji jest to układ 6 kołowy (rysunek 3), w tym przypadku zastąpiono tylny wózek kołem. Co w znaczącym stopniu wpływa na uproszczenie konstrukcji oraz redukcję masy. W przypadku wolno poruszającej się konstrukcji jaką

jest łązik Scorpio X, prędkość maksymalna na poziomie 1.6 m/s, niezalecane jest stosowanie elementów podatnych w układzie zawieszenia [3].



Rys. 3. Schemat układu zawieszenia rocker - boogie. 1 - rocker (wahacz), 2 - boogie (wózek)
 Fig. 3. Diagram of the rocker - boogie suspension system. 1 - rocker, 2 - boogie

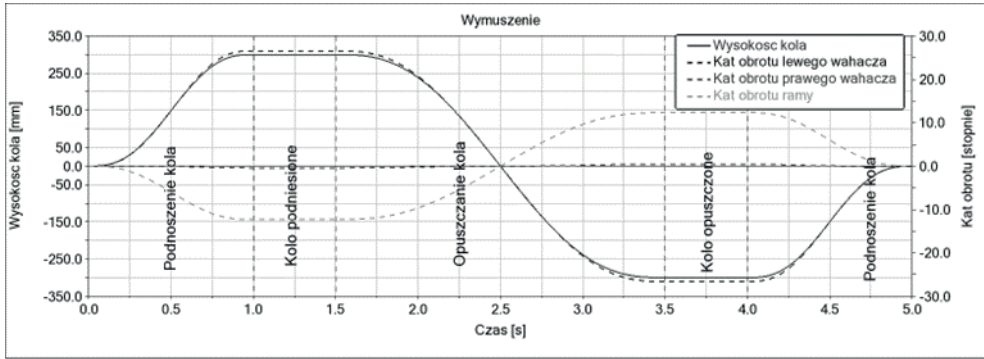
Podstawowymi elementami składowymi układu są: zespoły zawieszenia, na które składają się wahacze kół połączone sztywną belką, która zamocowana jest obrotowo w ramie pojazdu oraz belki dyferencyjnej, której działanie polega na przeniesieniu obrotu jednego zespołu zawieszenia na drugie. Jest to przykład zawieszenia zależnego, tzn. przemieszczenia kół po jednej stronie powodują ruch kół po drugiej stronie oraz wymuszają ruch całego pojazdu. Dopuszczalny obrót każdego zespołu zawieszenia, a pośrednio belki dyferencyjnej zależny jest od przyjętych przełożeń kinematycznych pomiędzy tymi podzespołami i wynika z przyjętych założeń dotyczących zakładanych wysokości pokonywanych przeszkód terenowych oraz ograniczeń wynikających m.in. z wymiarów ramy pojazdu i dostępnych przestrzeni do ruchu elementów pośredniczących. Rozmieszczenie elementów układu zawieszenia Scorpio X zostało przedstawione na rysunku 4. Masa wskazanych elementów zawieszenia wynosi 4,5 kg co stanowi 10 % masy całego pojazdu.



Rys. 4 Elementy układu zawieszenia Scorpio X (1 - lewy zespół zawieszenia z wahaczami, 2 - dźwignia, 3 - popychacz, 4 - belka dyferencyjna)
 Fig. 4 Scorpio X suspension system components (1 - left suspension unit with rockers, 2 - lever, 3 - pusher, 4 - differential beam)

4. ANALIZA DZIAŁANIA UKŁADU ZAWIESZENIA SCORPIO X

Koncepcja zawieszenia zaimplementowana do pojazdu Scorpio X jest efektywna w działaniu, lekka, trwała i niezawodna. Zawieszenie to posiada jeszcze jedną ważną cechę, tzn. zapewnia stałe obciążenie każdego koła podczas jazdy po podłożu oraz w czasie pokonywania przeszkód terenowych. Ryzyko utraty kontaktu koła z podłożem zostało wyeliminowane, co zapewnia stateczność położenia i minimalizację ryzyka wywrócenia się pojazdu. Przełożenie kinematyczne pomiędzy układem zawieszenia a ramą pojazdu wynosi $i=1/2$, tzn. wjazd jednym kołem na pojedynczą przeszkodę o wysokości $h=300$ [mm] powoduje obrót lewego zespołu zawieszenia względem podłoża o kąt $\varphi_L=26$ [°], obrót belki dyferencyjnej względem ramy pojazdu o kąt $\varphi_D=4,5$ [°], obrót ramy pojazdu względem podłoża o kąt $\varphi_{RW}=\varphi_L/2$ [°] oraz obrót prawego zespołu zawieszenia względem lewego o kąt $\varphi_P=-\varphi_L$ (czyli zespół prawy nie obraca się względem podłoża). Dodatkowo podczas pokonywania przeszkody rama pojazdu obraca się (przechyla) w płaszczyźnie poprzecznej o kąt $\varphi_{RP}=12$ [°], co jest zjawiskiem niekorzystnym. Wartość kąta przechyłu zmniejsza się wraz ze wzrostem rozstawu kół i osi pojazdu, ale te wymiary są ograniczone regulaminami zawodów i dla omawianego pojazdu osiągają wartości minimalne. Przebieg przemieszczeń względnych elementów układu zawieszenia oraz ramy przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Przemieszczenia elementów układu zawieszenia podczas przejazdu przez przeszkodę terenową o wysokości $h = 300$ mm

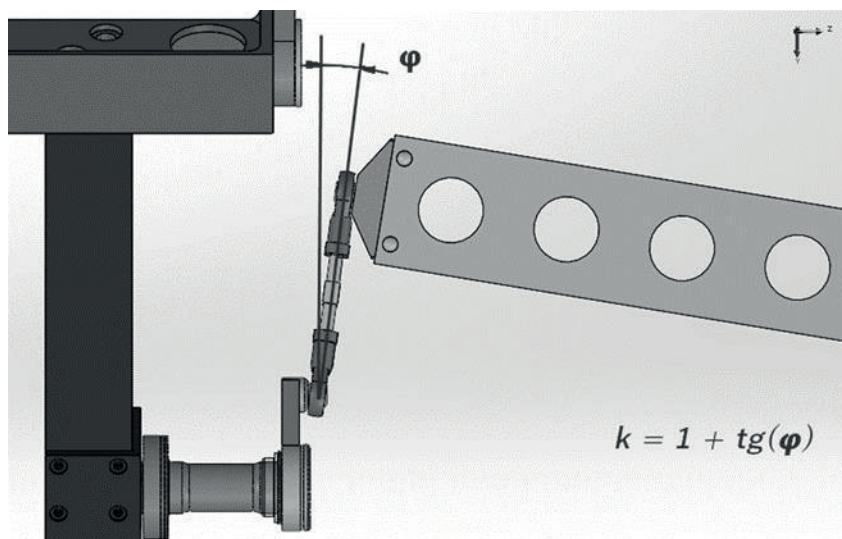
Fig. 5. The displacements of the suspension system components while driving over a terrain obstacle with a height of $h = 300$ mm

5. ANALIZA OBCIĄŻEŃ W UKŁADZIE ZAWIESZENIA

Lokalne przełożenia kinematyczne pomiędzy elementami układu zawieszenia modyfikują wartości sił przekazywanych przez te elementy, a w efekcie prowadzą do ich chwilowego odkształcenia. Powstające odkształcenia wpływają na chwilowe wartości przełożeń kinematycznych i w niektórych przypadkach mogą doprowadzać do pozornej zmiany przełożenia w całym układzie zawieszenia. Analizę odkształceń w układzie przeprowadzono z wykorzystaniem oprogramowania do symulacji dynamiki wieloczołnowej [4]. W tym celu został stworzony model układu zawieszenia w programie MSC Adams. Została przeprowadzona symulacja wjazdu jednym kołem na przeszkodę wysokości 300 mm, a następnie wjazd w zagłębienie o głębokości również 300 mm.

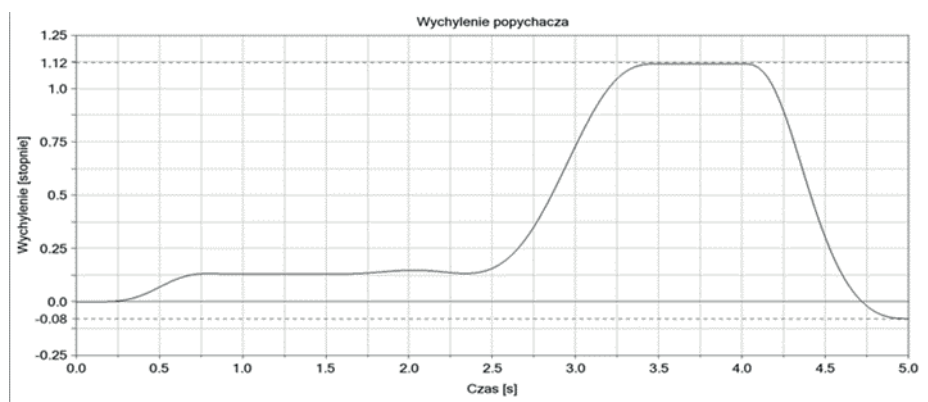
W wyniku przeprowadzonych symulacji uzyskano wartości sił działających na belkę dyferencyjną poprzez popychacze oraz sił działających na ramę w miejscu węzła łożyskowego mocującego belkę dyferencyjną.

Podczas przejazdu przez przeszkodę i w efekcie obrotu belki dyferencyjnej popychacz, wyjściowo pracujący w płaszczyźnie wzdłużnej pojazdu, odchyła się o kąt φ , co zostało przedstawione na rysunku 6.



Rys. 6. Warunki współpracy popychacza i belki dyferencyjnej
 Fig. 6. Conditions of cooperation between a pusher and a differential beam

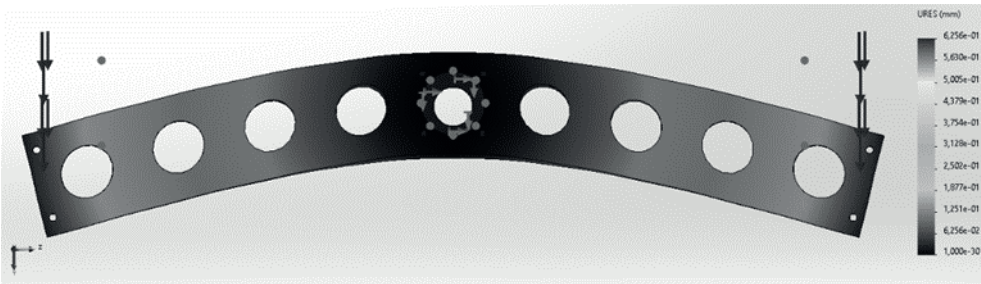
Powoduje to zwiększenie siły działającej na belkę. Powstające zwiększenie siły zależy od wartości współczynnika wzmocnienia $k=1+\operatorname{tg}\varphi$. Uwzględniając rzeczywiste wymiary elementów układu zawieszenia w pojeździe Scorpio X, wartość współczynnika wzmocnienia wynosi $k=1,021$ dla maksymalnej dopuszczalnej wartości kąta $\varphi=1,2$ [°]. Przebieg zmian wartości kąta φ został przedstawiony na rysunku 7.



Rys. 7. Przebieg zmian wartości kąta φ podczas przejazdu przez przeszkodę o wysokości $h = 300$ mm

Fig. 7. The course of changes in the value of the angle φ while driving through an obstacle with a height of $h = 300$ mm

Podobny co do skutków efekt wprowadza odkształcenie belki dyferencyjnej. Element ten o przekroju 60x20x2 mm był wykonany z aluminium 6061. W celu redukcji masy wykonano w nim 8 przelotowych otworów o średnicy 30 mm. Na rysunku 8 przedstawiono odkształcenie belki obciążonej siłą wynikającą z przejazdu pojazdu przez przeszkodę. Analizę MES przeprowadzono w programie SolidWorks. Na badany element nałożona została siatka TETRA 10 o krawędzi 2mm [5]. Warunki brzegowe ustalone zostały na podstawie analizy SDW w wyniku czego belka została utwierdzona w centralnej jej części, w miejscu łożyskowania. Siły działające na jej końcach o wartości 200 N, przyłożone zostały w miejscu oddziaływania popychaczy zgodnie z poniższym rysunkiem.



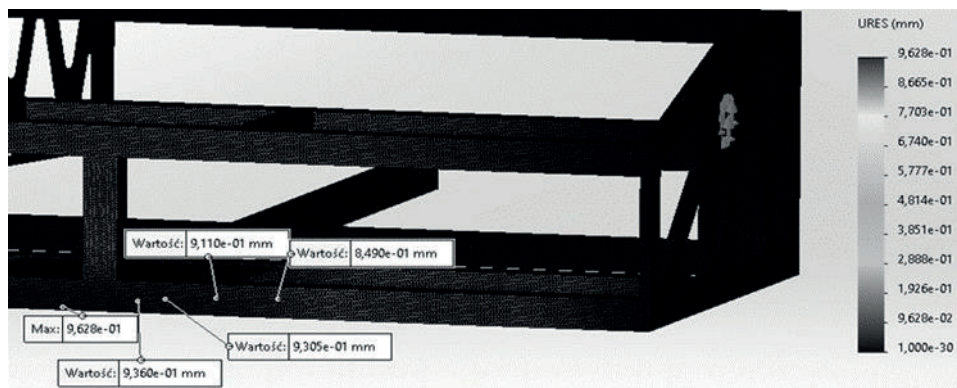
Rys. 8. Reakcja belki dyferencyjnej podczas przejazdu przez nierówność o wysokości $h = 300$ mm
Fig. 8. The reaction of the differential beam when driving through an unevenness with a height of $h = 300$ mm

Maksymalne ugięcie belki, które wyniosło 0,63 mm powoduje, że układ zawieszenia może nie zareagować na najechanie dynamiczne na przeszkodę o wysokości 3,72 mm. Wtedy ruch ramy i nadwozia pojazdu nie zostanie wywołany pracą układu zawieszenia.

Obciążenia działające na belkę dyferencyjną przekazywane są poprzez jej łożyskowanie na ramę pojazdu. Wymaga się, aby ten podzespół był lekki oraz odpowiednio sztywny. Ramę pojazdu Scorpio X, której masa wynosi 3 kg, zbudowano z profili o przekroju 20x20x1,5 mm oraz blach o grubości 5 mm. Materiał, z którego wykonano konstrukcję to aluminium 6061. Przy konstruowaniu ramy, poza zabiegami mającymi na celu minimalizację jej masy, kierowano się również ograniczeniem jej deformacji wywołanych przez zmienne siły pochodzące od układu zawieszenia pojazdu. W celu określenia sił działających na konstrukcję nośną wykorzystano analizę SDW przeprowadzoną w programie MSC Adams. Siły te zostały następnie wykorzystane w modelu obliczeniowym MES wykonanym w programie SolidWorks. Jako warunki brzegowe przyjęto:

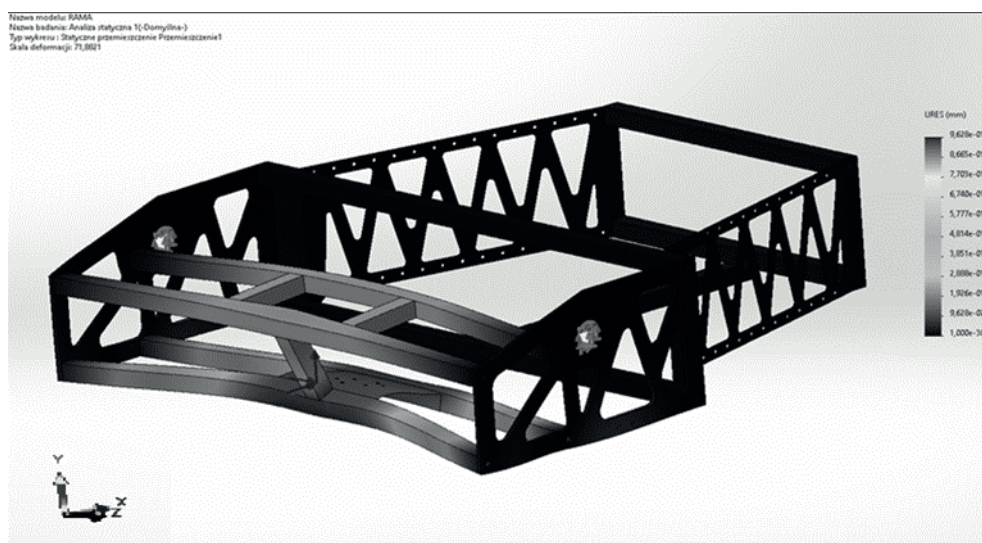
- utwierdzenie ramy w miejscach łożyskowania wahaczy,
- trójosiowy stan obciążenia przyłożony w miejscu łożyskowania belki dyferencyjnej, wzdłuż poszczególnych osi zostały przyłożone siły, wzdłuż osi X 500N, Y 30 N a osi Z 15 N.

Na rysunku 9 przedstawiono widok siatki z elementów skończonych typu TETRA 10 o długości krawędzi 1,5 mm, naniesiony na geometrie ramy pojazdu.



Rys. 9. Widok siatki z elementów skończonych nałożony na geometrię ramy pojazdu
Fig. 9. View of the finite element mesh superimposed on the geometry of the vehicle frame

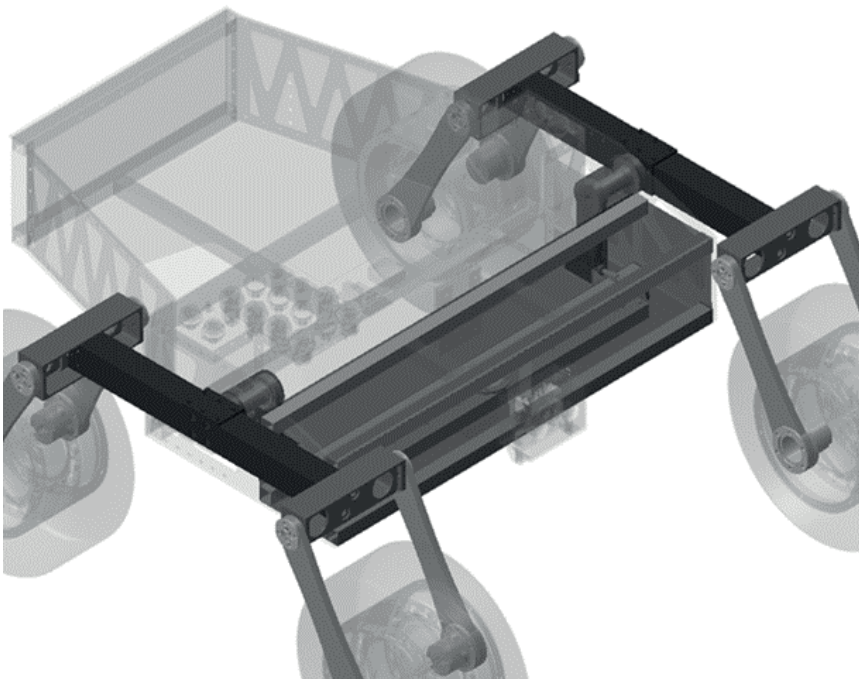
Po przeprowadzeniu obliczeń uzyskano mapę przemieszczeń ramy, co zostało przedstawione na rysunku 10.



Rys. 10. Przemieszczenia ramy spowodowane obciążeniami powstającymi podczas pokonywania nierówności o wysokości $h = 300$ mm
Fig. 10. Frame displacements caused by loads arising while overcoming unevenness with a height of $h = 300$ mm

6. MASA I WYIMARY UKŁADU ZAWIESZENIA POJAZDU SCORPIO X

Przyjęta koncepcja układu zawieszenia pojazdu Scorpio X, a następnie wykonany projekt do zakładanych warunków ruchu musiał spełniać również ograniczenia masowe i wymiarowe, wynikające z regulaminów zawodów serii Rover Challenge [6, 7]. Ostatecznie masa całkowita Scorpio X wynosiła 45 kg, w tym masa elementów zawieszenia 4,5 kg, co stanowi 10 %, natomiast masa samego mechanizmu dyferencyjnego (belka i jej łożyskowanie) wynosi 530 g, co stanowi 1,2 % masy całego pojazdu. Umieszczenie belki dyferencyjnej pracującej w płaszczyźnie poziomej z przodu pojazdu oraz konieczność jej ochrony przed przeszkodami terenowymi spowodował jednak podjęcie decyzji o umieszczeniu jej w chronionej prostopadłościenniej przestrzeni (klatce), zaznaczonej na rysunku 11 kolorem czerwonym. Objętość ta wyniosła 12,1 dm³. Ponadto, uwzględniając powstające podczas jazdy odkształcenia belki, koniecznym stało się wprowadzenie odsunięcia jej dolnej płaszczyzny od dolnej powierzchni klatki. Spowodowało to trudności w odpowiednim łożyskowaniu belki.



Rys. 11. Rozmieszczenie elementów układu zawieszenia pojazdu Scorpio X

Fig. 11. Location of Scorpio X suspension system components

7. PODSUMOWANIE

Przyjęta koncepcja takiego rozwiązania układu zawieszenia pojazdu spowodowała, że wydłużeniu uległa rama pojazdu, co samo w sobie było niekorzystne. Ponadto, górna powierzchnia zajęta przez klatkę została wskazana jako dobre miejsce montażu manipulatora. Problemem było jednak poprowadzenie przewodów do sterowania pracą manipulatora, które musiały omijać przestrzeń zajętą przez belkę dyferencyjną. Ponadto okazało się, że umieszczenie podstawy manipulatora blisko osi obrotu układu wahaczy powodowało możliwość pojawienia się niekontrolowanych ruchów nadwozia wraz z przemieszczającym się manipulatorem i ładunkiem. Uznano również że powstające odkształcenia elementów zawieszenia były zbyt duże, a wpływ odkształceń na kinematykę pracy układu zawieszenia był negatywny. Dodatkowo znaleziony został obszar podatny na redukcję masy. Krytyczne wnioski nie zmieniają jednak pozytywnej oceny całego pojazdu. Osiągnięto możliwość pokonywania przeszkód terenowych o wysokości dochodzącej do 350 mm. Pokonywanie wzniesień wyniosło 35 stopni. Wszystkie wymagania regulaminowe zostały spełnione. Wnioski z prac nad wersją Scorpio X zostały uwzględnione w kolejnej wersji pojazdu, tj. Scorpio 7.

LITERATURA

- [1] Regulamin zawodów Canadian International Rover Challenge: <https://circ.cstag.ca/2022/rules/> (dostęp: 26.10.2022).
- [2] Regulamin zawodów University Rover Challenge: <https://urc.marssociety.org/home/requirements-guidelines> (dostęp: 26.10.2022).
- [3] SANDIN PAUL E., *Robot Mechanism and Mechanical Devices Illustrated*, 2003.
- [4] MILLER S., *Teoria maszyn i mechanizmów. Analiza układów mechanicznych*, Oficyna wydawnicza PWr. Wrocław, 1996.
- [5] RUSIŃSKI E., CZMOCHOWSKI J., SMOLNICKI T., *Zaawansowana metoda elementów skończonych w konstrukcjach nośnych*, Oficyna Wydawnicza PWr, Wrocław, 2000.
- [6] KRZEMIŃSKI A., KOSOBUDZKI M., *Wstępna analiza wymagań stawianych kołom jezdny do pojazdu wysokiej mobilności*, Journal of Translogistics, 2020, Vol. 6, No.1.
- [7] MCCONVILLE J., *Introduction to Mechanical System Simulation Using Adams*, 2015.

ANALYSIS OF THE STRUCTURE AND OPERATION OF THE SCORPIO X ROVER SUSPENSION SYSTEM

Key words: rover, Mars, off-road vehicle, suspension, Scorpio, Rover Challenge, URC

The article presents the characteristics of the structure of the dependent suspension system of the Scorpio X high-mobility vehicle, constructed for the purpose of participating in the competition of Mars rovers of the Rover Challenge series. The basic regulatory requirements of the competition and the concept of the vehicle suspension were presented and discussed. The analyses were limited to selected vehicle motion conditions, i.e. negotiating a single terrain obstacle. The kinematic ratio in the adopted

suspension system was determined, and the values of forces that affect the suspension elements were analyzed. The deformation values of the suspension elements and the vehicle frame were calculated. The conclusions from the use of the vehicle and the required changes to be made to the next version of the vehicle were also presented.

Corresponding author:
e-mail: bartek.lorek2@gmail.com

Piotr ŁAZIK
Mariusz KOSOBUDZKI*

DOI: https://doi.org/10.37190/JoT2022_05

ADAPTACJA SYSTEMU ROS DO STEROWANIA POJAZDEM AUTONOMICZNYM SCORPIO

Słowa kluczowe: *ROS, Scorpio, autonomia, Rover Challenge Series*

Poniższy artykuł przedstawia wyzwania stawiane przed łażnikami i zespołami startującymi w zawodach z serii Rover Challenge. Omawiane są najczęściej spotykane zadania podczas zawodów, ich cel, wymagania oraz potrzebne funkcjonalności oprogramowania umożliwiające poprawną i bezpieczną ich realizację w oparciu o metody dostarczane przez Robot Operating System. Niezawodność, bezpieczeństwo i prawidłowość działania wymaga również zastosowania odpowiedniego sprzętu i magistrali komunikacyjnych. W artykule omawiane są rozwiązania i argumenty stojące za wyborami dokonanyymi przez zespół Scorpio.

1. WPROWADZENIE

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie czytelnikowi problemów z jakimi muszą mierzyć się drużyny biorące udział w zawodach Rover Challenge i rozwiązań jakie zostały wykorzystane przez zespół Scorpio. Przybliżane są realia konkurencji oraz przykładowe przebiegi poszczególnych misji w kontekście do rzeczywistych prac i wyzwań jakim są poddawane łażniki badające powierzchnię Marsa.

Prowadzone na świecie prace nad rozwojem systemów autonomii maszyn i urządzeń doprowadziły do powstania oprogramowania, które może być zaimplementowane do różnych obiektów technicznych, w tym do pojazdów. Przykładem takiego oprogramowania jest ROS – Robot Operating System, stosowany m.in. w robotach sprzątających. Innym przykładem wykorzystania ROS jest pojazd Scorpio, skonstruowany i systematycznie rozwijany przez Koło Naukowe Studentów Politechniki Wrocławskiej. Pojazd

* Piotr Łazik – Koło Naukowe Pojazdów Niekonwencjonalnych OFF-ROAD, Politechnika Wroclawska

Mariusz Kosobudzki – Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn i Układów Mechatronicznych, Politechnika Wroclawska

ten posiada szereg cech funkcjonalnych (w tym funkcje realizowane autonomicznie) pozwalających na udział w międzynarodowych zawodach serii Rover Challenge Series. Najważniejsze zawody tej serii (URC – Universal Rover Challenge) rozgrywane są na pustyni w stanie Utah w okolicy bazy badawczej symulującej warunki panujące na Marsie (MDRS – Mars Desert Research Station) w USA oraz w Kanadzie (CIRC – Canadian International Rover Challenge) w Badlands Community Facility na przedmieściach Drumheller. Zawody składają się zazwyczaj z czterech konkurencji oraz konkursu projektowego [1]: navigation task, maintenance task, science task oraz delivery task. Rosnący poziom przygotowania drużyn powoduje, że przewagę zdobywają te zespoły, których pojazdy mają zaimplementowane układy autonomii pomagające wykonywać poszczególne zadania w konkursach. Stosowanie systemów autonomii ma pozwolić docelowo na odejście od ręcznego sterowania i wyeliminować problem opóźnień w przekazywaniu poszczególnych komend pomiędzy Ziemią a Marsem, który może wynosić nawet 20 minut [2].

Wyeliminowanie wpływu opóźnień w przesyłaniu komend na sterowanie pracą łazika oraz rosnący poziom zaawansowania pojazdów drużyn konkurencyjnych spowodował, że do pojazdu Scorpio 7 koniecznym stało się zaimplementowanie systemu autonomii. Po przeprowadzeniu analiz dostępnych rozwiązań podjęto decyzję o wykorzystaniu systemu ROS [3].

2. WYMAGANIA SYSTEMU AUTONOMII DO POJAZDU SCORPIO 7

Od układu sterowania pojazdem wymaga się zapewnienia możliwości realizacji potrzebnych funkcjonalności do prawidłowego i pełnego wykonywania stawianych przed nim zadań. Wzorcowe są tutaj zadania z zawodów University Rover Challenge [4]. Cztery zróżnicowane zadania sprawdzają przygotowanie zespołu i pojazdu do realizacji zadań w symulowanych warunkach marsjańskich. Zadania te zostały zgrupowane w cztery konkurencje: autonomous navigation mission, equipment servicing mission, extremal retrieval and delivery mission oraz science mission.

2.1. MISJA NAWIGACJI AUTONOMICZNEJ

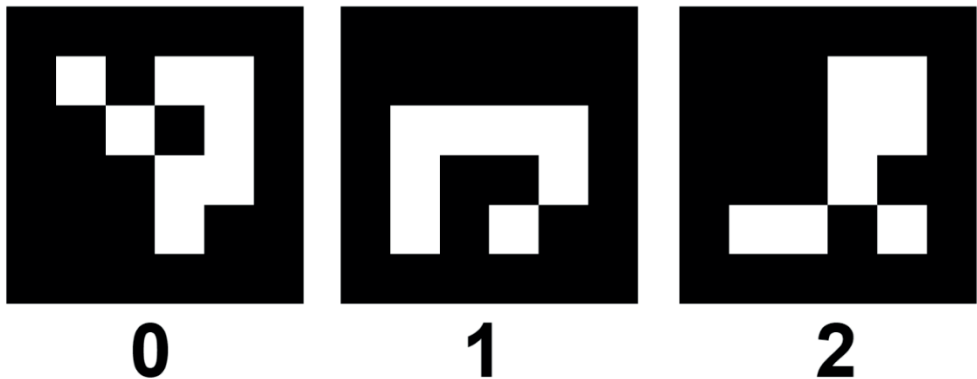
Mars znajduje się około 20 minut świetlnych od Ziemi, co powoduje znaczące opóźnienia w przesyłaniu sygnałów do sterowania urządzeniami, które operują na Czerwonej Planecie. Dlatego coraz ważniejsze staje się rozwijanie algorytmów autonomicznego sterowania niwelujących wpływ czasu transmisji danych. Wtedy Roboty są w stanie wykonywać zadania w krótszym czasie, przebywać większe odległości i być bardziej efektywne nie wydłużając czasu trwania misji.

Czas trwania tego zadania w warunkach symulowanych na Ziemi to 30 minut, a wymagany do przejechania dystans jest nie większy niż 2 km. Te czynniki były brane pod

uwagę przy projektowaniu systemu nawigacji pojazdu, autonomicznego systemu wyznaczania trasy przejazdu oraz efektywnego modułu jezdno.

Pierwsze trzy punkty kontrolne, do jakich ma dojechać robot są oznaczane dokładnymi współrzędnymi GPS. Pojazd musi sekwencyjnie przejechać z punktu do punktu zatrzymując się w promieniu 3 m od niego i włączyć sygnalizator o znajdowaniu się w pobliżu punktu. Trzy następne pozycje są oznaczane wskaźnikiem wizualnym w postaci znacznika Aruco. Ich pozycje są przekazane zespołom z dokładnością od 5 do 20 m. Pojazd musi przejechać w zadane miejsce, a następnie system autonomiczny musi rozpoznać znajdujący się w pobliżu znacznik i zbliżyć się do niego na odległość 2 m. Ostatnią fazą zadania jest przejechanie przez bramę o szerokości 2 m złożoną z dwóch znaczników Aruco.

Program sterujący pojazdem w tym zadaniu musi posiadać funkcję zadawania współrzędnych punktów, ustawiania ich kolejności, rodzaju oraz dodatkowych zadań, którymi w tym wypadku są odszukanie znaczników Aruco [5] i zbliżenie się do nich na wymaganej odległości. Od systemu wymaga się dokładności pozycjonowania, sprawnego wyznaczania optymalnej trasy przejazdu wraz z omijaniem przeszkód i sygnalizacji stanu wykonywanej operacji w danej chwili. Do tych zadań niezbędny jest dokładny GPS, kamera obrotowa lub zestaw kamer obejmujący zasięgiem pole pracy łazika, wydajny komputer pokładowy do przeprowadzania obliczeń i przetwarzania obrazu celem rozpoznawania znaczników oraz wyznaczania optymalnej trasy przejazdu. Na rysunku 1 przedstawiono wzory znaczników Aruco wykorzystywanych w zawodach.



Rys. 1. Znaczniki Aruco z oznaczeniem pozycji w słowniku [12]

Fig. 1. Aruco tags with positions in dictionary [12]

2.2. MISJA SERWISOWANIA SPRZĘTU

Rozwiązanie problemu opóźnienia w przesyłaniu sygnałów sterujących pracą robotów na Marsie poprzez rozwinięcie autonomii ich działania w istotnym stopniu wpływa

na osiągnięcie powodzenia całej misji. Nie mniej jednak istnieje ryzyko, że wyposażenie wysłane na Marsa ulegnie awarii i będzie wymagać interwencji udzielonej na miejscu. Przewidywanym sposobem udzielania takiej pomocy jest w takich sytuacjach wykorzystanie obecnych tam robotów. Ponadto, zakłada się współpracę robotów w zakresie wspólnego wykonywania różnych zadań, których wykonanie wykracza poza funkcjonalności pojedynczego systemu technicznego.

Do zbadania możliwości współdziałania robotów oraz sprawdzenia, w jakim zakresie możliwe jest wykorzystanie robotów do wykonywania akcji serwisowych wyposażenia przewiduje się przeprowadzenie odpowiednich testów, których pole działania zajmuje obszar o promieniu 250 metrów i czas wynoszący 30 minut. Zadanie polega na przewiezieniu próbki, której obudowa zawiera uchwyt o długości minimum 10 cm i średnicy nie większej niż 5 cm do lądownika i następnie wykonaniu czynności serwisowych przy lądowniku. Z tego powodu pojazd musi być wyposażony w robotyczne ramię zdolne do otwarcia szafy i umieszczenia w niej próbki oraz zamknięcia i zabezpieczenia jej drzwiczek przed otwarciem poprzez przykręcenie śruby z gniazdem imbusowym 5/16". Następnie należy wprowadzić na klawiaturze zadany tekst oraz manipulując joystickiem nastawić miernik, co ma symulować akcję serwisową. Ostatnimi zadaniami są: wpięcie przewodu do portu USB typu A oraz zmiana pozycji przełączników.

Ze względu na ograniczony czas na wykonanie zadania oraz wymaganą dużą dokładność pracy manipulatora, od systemu sterowania wymaga się takiej jego organizacji, aby operator nie musiał wykonywać dużej liczby ruchów sterujących. W tym celu, dla efektywniejszego wykorzystania dostępnego czasu, do systemu sterowania implementuje się algorytmy z użyciem kinematyki odwrotnej. Takie rozwiązanie wymaga zastosowania czujników położenia każdego członu robota i oddzielne ich sterowanie. Należy mieć na uwadze również prędkość poruszania się punktu referencyjnego: aby ją zwiększyć należy zaimplementować możliwość jednoczesnej zmiany położenia każdego z członów ramienia połączonych z algorytmem kinematyki odwrotnej i generatora ścieżki dla punktu pracy. W ten sposób można uzyskać kojarzenie ruchów poszczególnych członów ramienia, co w efekcie końcowym skraca czas przemieszczenia efektora pomiędzy zadanymi punktami. Rozważany system musi dodatkowo zawierać kamerę obserwującą położenie efektora ramienia robotycznego i dodatkowo kamerę obserwującą cały manipulator. Przykład wykorzystania robota do wykonywania czynności serwisowych został przedstawiony na rysunku 2.



Rys. 2. Model lądownika z interaktywnym panelem [12]

Fig. 2. Lander model with an interactive panel [12]

2.3. MISJA ODNALEZIENIA I DOSTARCZENIA ŁADUNKU

Stanowiska do przeprowadzenia różnych konkurencji są rozmieszczone na terenie miejsca przeprowadzania zawodów. Powyższa konkurencja symuluje przygotowanie lądowiska do lądowania lądownika rakiety oraz przewiezienia dostarczonych ładunków do miejsca przeznaczenia.

Zadanie składa się z etapów, na wykonanie których zespół w sumie ma od 30 do 60 minut. Oddalenie się pojazdu od punktu startowego może wynieść do 1 kilometra. Zakończenie każdego etapu w wymaganym czasie dobranym każdorazowo przez organizatorów do trudności danej edycji zawodów oraz zakończonych z zadowalającą dokładnością pozwala na przejście do kolejnego etapu. Poszczególne zadania dotyczą odnalezienia, podniesienia lub przecignięcia narzędzi, skał lub obiektów z przyczepioną liną i dostarczenie ich w podane miejsce. Te rzeczy charakteryzują się różnymi wielkościami, masą do 5 kilogramów, posiadaniem uchwytów lub kół do łatwiejszego transportu.

Ze względu na sterowanie zdalnie przez operatorów wymaga się odpowiednio rozwiniętego systemu komunikacji radiowej dla zapewnienia mocy sygnału wystarczającej do strumieniowania obrazu potrzebnego przy sterowaniu. Dużym atutem przygotowanego

do zawodów pojazdu jest posiadanie przynajmniej częściowej autonomii, która jest przydatna w przypadku zerwania łączności lub jej znaczącego ograniczenia. W przypadku problemów z przesyłaniem obrazu wykorzystujemy algorytmy autonomicznego pokonywania przeszkód i planowania trasy. Opiera on się na trójwymiarowym obrazie terenu generowanym przy wykorzystaniu kamery stereo ZED, pozwalającej na uzyskaniu odległości do obiektów. Wymagania dotyczące ramienia robotycznego są takie same jak przy Equipment Servicing Mission. Moduł jezdny powinien dodatkowo pozwalać na sterowanie manualne przez operatora. Przykład przedstawiający sposób realizacji zadania został przedstawiony na rysunku 3.



Rys. 3. Łazik podczas transportu ładunku w postaci torby z obciążeniem 3 kg [12]

Fig. 3. Rover during transportation of a bag with a 3 kg load [12]

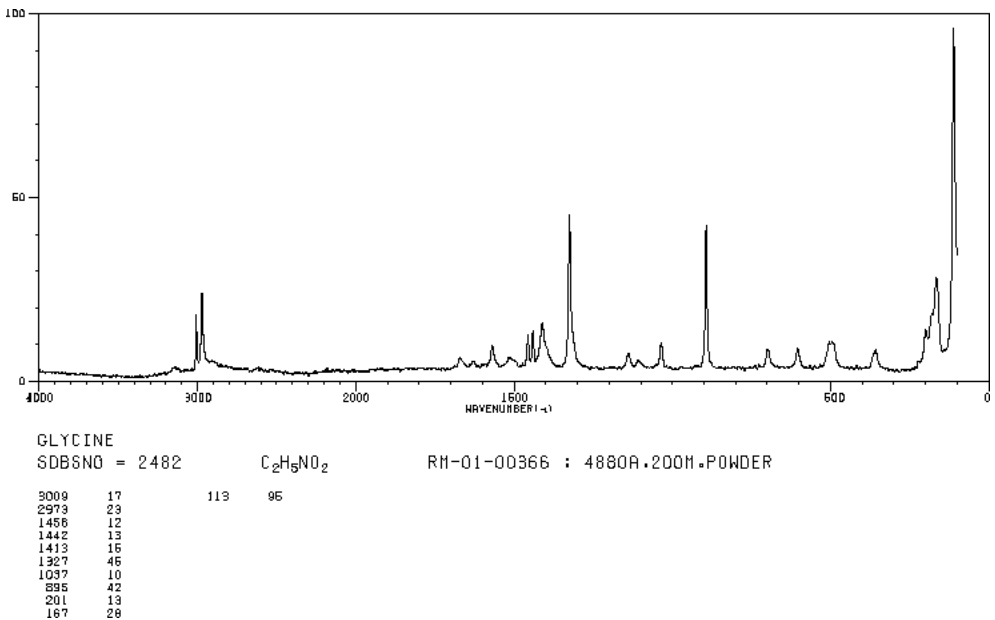
2.4. MISJA NAUKOWA

Wysyłanie pojazdów bezzałogowych na niez rozpoznane planety (w tym przypadku na Marsa) zawsze jest celowe. W tym przypadku zadaniem jest przeprowadzić badania geologiczne podłoża, składu chemicznego atmosfery, czy śladów obecności życia na planecie. Badania takie są przeprowadzane z wykorzystaniem oprzyrządowania, które

stanowi wyposażenie łazika, najlepiej w trybie automatycznym bez konieczności ręcznego sterowania.

W tym zadaniu, na obszarze o promieniu 800 metrów w czasie od 30 do 45 minut, zespół musi przy pomocy instrumentów badawczych zamontowanych na pojeździe wybrać warty zbadania teren i przeprowadzić jego analizy pod kątem obecności życia lub występowania jego śladów. Wszystkie badania muszą być przeprowadzone bezpośrednio na próbce lub po jej pobraniu, na pokładzie pojazdu. Zabrania się przywożenia próbek i analizowania ich przez członków zespołu.

Pojazd powinien być zatem wyposażony w odpowiednie instrumenty badawcze zdolne pobrać próbkę i zbadać zawartości pierwiastków charakterystycznych, związków organicznych lub przez kontrolowane reakcje z odczynnikami chemicznymi. Moduł naukowy musi gromadzić dane, a następnie przysyłać je do bazy zespołu, by tam zostały zinterpretowane. Na podstawie przeprowadzonych badań zespoły mają sformułować swoje wnioski co do obecności życia na planecie. Do tych celów wykorzystywane są mobilne laboratoria wykorzystujące odczynniki do wykrywania substancji wybranych przez zespoły naukowe lub spektrofotometry mogące określać dokładny skład chemiczny próbek na podstawie widma Ramana lub widma światła odbitego [6]. Przykładowy wykres z badania próbki w postaci widma Ramana przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Widmo spektroskopu Ramana [11]

Fig. 4. Raman spectroscopy spectrum [11]

3. WYMAGANIA SYSTEMU ZARZĄDZANIA POJAZDEM ZE WZGLĘDU NA OCZEKIWANY POZIOM BEZPIECZEŃSTWA

Ukończenie z sukcesem zadań na zawodach zależy m.in. od niezawodnego pojazdu i jego wyposażenia zapewniających wykonywanie zadań z wysokim prawdopodobieństwem ich ukończenia. Przebieg konkurencji oraz sama punktacja nie jest tutaj głównym celem zawodów. Aby zapewnić odpowiednią niezawodność pojazdu i jego wyposażenia należy wykorzystywać technologie i rozwiązania sprawdzone np. w przemyśle. Pojazd Scorpio korzysta z dwóch głównych systemów wymiany danych między podzespołami sterującymi, tj. magistrali CAN stosowanej do przesyłania komunikatów do sterowników odpowiednich silników kół oraz sterowników członów manipulatora robotycznego i Ethernetu do przesyłania obrazu i danych komunikacyjnych. Połączenie ze sobą niezawodności całego systemu informatycznego łożnika i wysokiej przepustowości danych nie było łatwym zadaniem. Problem bezpieczeństwa w sterowaniu kluczowymi elementami pojazdu tzn. modułu jezdnego oraz modułu ramienia roboczego z problemem zapewnienia wysokiej przepustowości między komputerami pokładowymi rozwiązano przy wykorzystaniu dwóch różnych systemów. Wykorzystano znaną z przemysłu samochodowego magistralę CAN o niewielkiej prędkości przesyłu danych i wysokiej niezawodności oraz standard Ethernet łączący wewnętrzne komputery, kamery i radia z wysokimi prędkościami przesyłów.

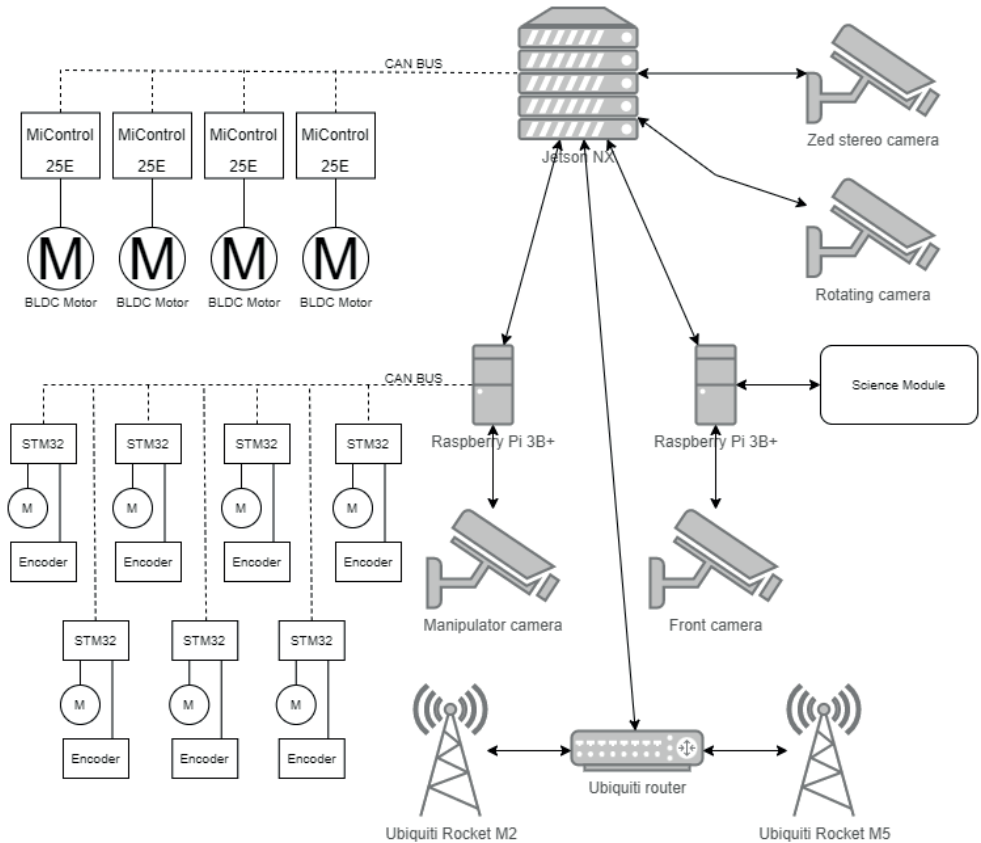
3.1. CHARAKTERYSTYKA MAGISTRALI CAN

W pojeździe wydzielono dwie osobne linie magistrali CAN, które zostały skonfigurowane w różny sposób. Zabezpieczenie w postaci wykorzystania osobnej linii danych do komunikacji ze sterownikami MiControl 25E zwiększyła niezawodność redukując wpływ uszkodzenia lub wystąpienia błędów na linii komunikującej się z kontrolerami członów manipulatora. Linia ta jest skonfigurowana do pracy z wysoką przepustowością 1Mbit/s co jest wartością graniczną dla magistrali CAN [7]. Drugą oddzielną linią magistrali CAN jest linia łącząca ze sobą kontrolery członów ramienia robotycznego. Każdy z członów posiada niezależny enkoder absolutny, silnik DC oraz płytkę z mikrokontrolerem STM32 komunikującą się poprzez magistralę CAN z komputerem zarządzającym.

3.2. CHARAKTERYSTYKA SIECI ETHERNET

Infrastruktura sieciowa pojazdu jest uzupełniona o Ethernet w standardzie 100 Mbit/s, który łączy ze sobą główne komputery pojazdu wraz z systemem radiowym i kamerami. Pozwala to na strumieniowanie obrazu, przesyłanie danych z przepustowościami wymaganymi do zapewnienia ciągłości pracy. Sieć ta nie jest tak niezawodna jak

magistrala CAN [8]. Decyzja o zastosowaniu dwóch różnych form komunikacji modułów Scorpio została podjęta na podstawie analiz wymagań i możliwości każdego rozwiązania. Struktura sieci przesyłu danych w pojeździe Scorpio została przedstawiona na rysunku 5.



Rys. 5. Schemat sieci informatycznej w pojeździe Scorpio [12]

Fig. 5. Diagram of the IT network in the Scorpio vehicle [12]

Głównym elementem sterującym pracą poszczególnych układów pojazdu jest komputer Nvidia Jetson Xavier NX stworzony dla systemów wbudowanych i pojazdów autonomicznych. Razem z systemem Linux Ubuntu 18.04, na którym zainstalowane zostały niezbędne narzędzia potrzebne do działania i sterowania funkcjami pojazdu. Komputer ten uruchamia funkcję roscore – podstawowy moduł zarządzania procesami i komunikacją. Włączane są m.in. funkcje logowania danych, nazewnictwa procesów i serwer parametrów. [9]

4. WNIOSKI

Wymagania zawodów serii Rover Challenge wymagają niestandardowego podejścia do projektowania pojazdów autonomicznych. Z jednej strony ważna jest prostota rozwiązań, która minimalizuje ilość kluczowych podzespołów, których awarie mogą skutkować niepowodzeniem wykonywanego zadania, a z drugiej strony skomplikowanie misji wymaga od programistów uwzględnienia możliwie dużej ilości scenariuszy.

Z pomocą programistom przychodzi ROS, system organizujący komunikację między procesami jak również pozwalający na współdziałanie wielu komputerów i mikroprocesorów. Standaryzuje rodzaj i sposób przekazywanych danych, odstępstwa i błędy są sygnalizowane dzięki czemu wszelkie nieprawidłowości mogą być szybko wychwycone przez programistów i operatorów. Dostarczanie przykładowego kodu, robotów dla środowiska symulacyjnego Gazebo oraz biblioteki zapewniające podstawowe rozwiązania autonomiczne ułatwiło tworzenie na ich bazie i programowanie algorytmów do działań autonomicznych. Modułowa architektura, którą należy stosować przy tworzeniu oprogramowania w oparciu o ROSa pozwoliła na zrównoleglenie prac i wprowadziła dodatkowy poziom bezpieczeństwa w postaci przygotowania zapasowych modułów, które można uruchomić gdy zawiodą podstawowe rozwiązania.

Algorytmy autonomii muszą być dostosowane do różnych środowisk pracy, przeznaczenia i danych wejściowych. Niezawodność, jakiej wymaga się od całego układu pojazdu, determinuje sposób komunikacji wewnętrznej, który ze względu na bezpieczeństwo działania musi korzystać z niezawodnych kanałów wymiany informacji. Wykorzystane przez zespół Scorpio magistrala CAN oraz protokół Ethernet sprawdzają się podczas wykonywania zadań testowych. Dostępność rozwiązań i opracowań miała również wpływ na wybór tych środków. Duża grupa zespołów biorących udział w zawodach Rover Challenge korzysta z podobnych rozwiązań [10]. Ros jest dostosowany do działania z robotami kołowymi, gąsienicowymi i pływającymi natomiast przypadku budowania robotów z innym przeznaczeniem należy zawsze uwzględnić wady i zalety dostępnych rozwiązań systemów.

LITERATURA

- [1] www.rcs.marssociety.org (dostęp: 06.05.2022).
- [2] www.mars.nasa.gov/mer/mission/technology/autonomous-planetary-mobility (dostęp: 06.05.2022).
- [3] MARIN-PLAZA P., HUSSEIN A., MARTIN D., DE LA ESCALERA A, *Global and Local Path Planning Study in a ROS-Based Research Platform for Autonomous Vehicles*, Journal of Advanced Transportation, vol. 2018, Article ID 6392697, 2018.
- [4] www.urc.marssociety.org/home/requirements-guidelines (dostęp: 06.05.2022).
- [5] www.docs.opencv.org/4.x/d5/dae/tutorial_aruco_detection.html (dostęp: 06.05.2022).
- [6] www.engineering.usu.edu/mae/students/senior-projects/fall2018-spring2019/university-rover-science (dostęp: 06.05.2022).

-
- [7] www.can-cia.org/can-knowledge/can/classical-can/ (dostęp: 06.05.2022).
- [8] SAWANT A., JOSHI D., SVB L., *CAN, FlexRay, MOST versus Ethernet for vehicular networks*, International Journal of Innovations & Advancement in Computer Science, 2018.
- [9] www.wiki.ros.org/roscore (dostęp: 06.05.2022).
- [10] SNIDER D., MIRVISH M., BARCIS M., TEZER V. A., *University Rover Challenge: Tutorials and Team Survey*, [w:] Robot Operating System (ROS): The Complete Reference (Volume 3), 2018.
- [11] www.sdfs.db.aist.go.jp (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 09.06.2022).
- [12] opracowanie własne.

ADAPTATION OF THE ROS SYSTEM TO CONTROL THE SCORPIO AUTONOMOUS VEHICLE

Key words: *ROS, Scorpio, autonomia, Rover Challenge Series*

The following article presents the challenges faced by rovers and teams competing in the Rover Challenge series. The most common tasks during the competition are discussed, along with their purpose, requirements and needed software functionality to enable their correct and safe implementation based on methods provided by the Robot Operating System. Reliability, safety and correct operation also require the use of appropriate hardware and communication networks. The paper discusses the solutions and arguments behind the choices made by the Scorpio team.

Corresponding author:
e-mail: 260371@student.pwr.edu.pl

Oliwia KAMIŃSKA
Małgorzata NOWAK *

DOI: https://doi.org/10.37190/JoT2022_06

ZARZĄDZANIE RYZYKIEM W SYSTEMACH LOGISTYCZNYCH BRANŻY MOTORYZACYJNEJ

Słowa kluczowe: *VUCA, ryzyko, zarządzanie ryzykiem, logistyka*

Cel celem niniejszego artykułu jest określenie istotnej roli zarządzania ryzykiem w systemach logistycznych branży motoryzacyjnej. Dlatego dokonano przeglądu literatury dot. definicji ryzyka oraz zarządzania ryzykiem ze szczególnym uwzględnieniem kluczowych aspektów. Nie bez znaczenia jest również analiza wybranych, współcześnie wykorzystywanych narzędzi zarządzania ryzykiem oraz przykłady z branży motoryzacyjnej (Faurecia, Volkswagen).

Metodologia badania – wykorzystano przegląd dostępnej literatury.

Wynik – cel pracy został dopełniony. Na podstawie dostępnych źródeł dokonano próby zdefiniowania istotnych kryteriów w pomiarze i monitorowaniu ryzyka w współczesnych systemach logistycznych branży motoryzacyjnej. Podano przykłady rozwiązań zarządzania ryzykiem w branży motoryzacyjnej.

Oryginalność/wartość – w artykule wskazano koncepcje dotyczące definicji ryzyka. Zwrócono uwagę na identyfikację, pomiar ryzyka, narzędzia zarządzania ryzykiem, przykłady z przedsiębiorstw branży motoryzacyjnej.

1. WPROWADZENIE

Obecnie świat to z pewnością pasmo nieustających zmian. Coraz częściej mówi się o logistyce w czasach kryzysu. Od ponad dwóch lat nasz kraj, a także Europa i duża część świata znajdują się w fazie kryzysu gospodarczego.

Pierwsze poważnie zauważalne skutki zostały spowodowane przez Covid-19, blokady i wynikające z nich ograniczenia w prawidłowym funkcjonowaniu przedsiębiorstw. Transformacje jakie zaszły w niektórych branżach były bardzo burzliwe i przybierały formę stałą, u innych chwilową, przejściową. Wszystkie gwałtowne zmiany takie jak zaostrzenie konfliktu na Ukrainie czy rosnąca inflacja mają swoje znaczny wpływ na funkcjonowanie łańcuchów dostaw.

* Studenckie Naukowe Koło Logistyki CORLOG, Wyższa Szkoła Logistyki w Poznaniu

Z tego powodu wyraźnie wzrosło zainteresowanie i potrzeba określenia istoty ryzyka. Trudności napotymane przez przedsiębiorców z branży TSL doprowadziły do wprowadzenia wielu innowacyjnych rozwiązań i usprawnień, które stały się już trwałe. Dlatego podjęta tematyka referatu jest umotywowana istotnością w obliczu obecnie zachodzących zmian gospodarczych i ryzyk z nim związanych.

Współcześnie w biznesie warto podjąć refleksję nad zmiennością (ang. volatility), niepewnością (ang. uncertainty), złożonością (ang. complexity) i niejednoznacznością (ang. ambiguity) ogólnych warunków i sytuacji współczesnego świata. Pierwsze litery tych słów w języku angielskim tworzą akronim VUCA, który niesie za sobą przesłanie, że aby odnaleźć się w ciągle zmieniającej się rzeczywistości, należy nieustannie adaptować się do nieoczekiwanych wydarzeń. Świat VUCA to otoczenie, w którym przedsiębiorstwa i organizacje działają zmagając się ze ciągłym planowaniem sposobów przeciwdziałania ryzyku i umiejętnym zarządzaniem strategicznym. Ma to szczególne znaczenie w kontekście zarządzania ryzykiem w logistyce przedsiębiorstw [1].

Ryzyko to jedno ze zjawisk, które od zawsze towarzyszy wszystkim działalnościom dążącym do osiągnięcia założonych celów. Dotyczy to każdej działalności gospodarczej. Na ryzyko wpływają wszelkie zagrożenia, które mogą negatywnie oddziaływać na przedsiębiorstwo i w konsekwencji prowadzić do poniesienia straty. Na gospodarkę wpływają różne procesy, które niosą za sobą ryzyko. Ponadto dynamicznie zmiany zachodzące w otoczeniu danych przedsiębiorstw wpływają na możliwości osiągnięcia sukcesów

Zarządzanie ryzykiem w przedsiębiorstwie jest procesem ciągłym i konieczne jest nieustanne doskonalenie metod, ze względu na podlegające nieustannym transformacjom otoczenie. Zmiana w polskiej gospodarce wraz z obecną globalną sytuacją gospodarczą zmieniły proces zarządzania firmą oraz potrzeby informacyjne kierownictwa i ekspertów.

Nieprzewidywalne zmiany w otoczeniu gospodarczym, technologicznym, społecznym i politycznym oraz złożoność procesów wewnętrznych są głównym wyzwaniem dla procesów zarządzania nowoczesnych organizacji. Można śmiało powiedzieć, że kanon nowoczesnego zarządzania nie tylko uwzględnia już zachodzące transformacje środowiskowe, ale wręcz przewiduje przyszłe zmiany [2].

Celem niniejszego artykułu jest określenie istotnej roli zarządzania ryzykiem w systemach logistycznych branży motoryzacyjnej.

W zakres pracy wlicza się wprowadzenie z uzasadnieniem motywacji autorów do napisania pracy na konkretny temat. Następnie poruszono teoretyczne aspekty związane z koncepcjami dot. ryzyka oraz zarządzaniem ryzykiem. Wyszczególniono identyfikację oraz pomiar ryzyka jako najistotniejsze etapy zarządzania ryzykiem. Wymieniono rodzaje opcji decyzyjnych w zarządzaniu ryzykiem. Kolejno podano jako przykład monitorowania i kontroli ryzyka audyt wewnętrzny na przykładzie firmy Faurecia. Kolejny rozdział artykułu odnosi się do przykładów zarządzania ryzykiem w przedsiębiorstwie produkcyjnym. Wymieniono przykładowe czynniki zewnętrzne które mogą oddzia-

ływać na przedsiębiorstwo oraz przedstawiono przykładowe sposoby zarządzania ryzykiem. Autorzy opisują współczesne kryteria mierzenia ryzyka w branży motoryzacyjnej. Zawarto postępy w zakresie przejrzystości i ograniczania ryzyka w swoich globalnych łańcuchach dostaw surowców grupy Volkswagen oraz podległych spółek. Przedstawiono przykład Logistyki 4.0 w Volkswagen Poznań. Usprawnienie projektowania oraz testowania pojemników specjalnych minimalizujące ryzyko przepływu pojemników. Całość pracy zwieńczona jest podsumowaniem i wnioskami.

2. RYZYKO

2.1. DEFINICJA RYZYKA ORAZ POJĘCIE ZARZĄDZANIA RYZYKIEM

Pojęcie ryzyka jest nierozzerwalnie związane z niemal wszystkimi obszarami działalności człowieka, co przekłada się na różnorodność podejść do procesu zarządzania ryzykiem. W warunkach gospodarki rynkowej ryzyko jest zjawiskiem powszechnym. Ma niezliczone definicje, tylko niewielka część została wybrana w celu przedstawienia omawianej materii. Pomimo, że ryzyko jest wielorako opisywane w literaturze przedmiotu, nadal pozostaje w centrum zainteresowania świata akademickiego [3]. W poniższej tabeli zestawiono wybrane definicje dot. ryzyka oraz pojęcia zarządzania ryzykiem.

Tab. 1. Zestawienie wybranych definicji dot. ryzyka oraz zarządzania ryzykiem [2-6]
Tab. 1. List of selected definitions regarding risk and risk management [2-6]

Źródło metodyki	Ryzyko/zarządzanie ryzykiem definicja	Kluczowe aspekty
ISO - International Organization for Standardization Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna ISO 31000:2018 Zarządzanie ryzykiem – wytyczne	<i>Ryzyko to wpływ niepewności na cele. Efekt jest odchyleniem od oczekiwanego. Może być pozytywny, negatywny lub oba i może reagować, tworzyć lub skutkować szansami i zagrożeniami. Cele mogą mieć różne aspekty i kategorie i mogą być stosowane na różnych poziomach. Ryzyko jest zwykle wyrażane w kategoriach źródeł ryzyka, potencjalnych zdarzeń, ich konsekwencji i prawdopodobieństwa Zarządzanie ryzykiem to skoordynowane działania mające na celu kierowanie i kontrolowanie organizacji w odniesieniu do ryzyka.</i>	Ryzyko należy traktować jako kombinację prawdopodobieństwa zdarzenia i jego konsekwencji.
ESRA - European Safety and Reliability Association Europejskie Stowarzyszenie Bezpieczeństwa i Niezawodności	<i>Zarządzanie ryzykiem obejmuje wszystkie środki i działania podejmowane w celu zarządzania ryzykiem. Zarządzanie ryzykiem polega na podejmowaniu decyzji w celu zrównoważenia korzyści związanych z badaniem możliwości z jednej strony, a unikaniem strat, wypadków i katastrof z drugiej. Tematy zarządzania ryzykiem obejmują identyfikację, analizę, ocenę, akceptację, zarządzanie i komunikację ryzyka. Interesują</i>	Kluczowe w analizie ryzyka jest określenie miejsca jego występowania, wielkości oraz działań mających na celu ograniczenie lub wyeliminowanie. Działania związane z badaniem

	<i>nas wszystkie aspekty ryzyka istotne dla organizacji.</i>	tych relacji to zarządzanie ryzykiem. Powinno ono mieć charakter zorganizowany i kompleksowy.
PRINCE 2 - Projects In Controlled Environments Projekty w sterowanym środowisku	<i>Ryzyko to niepewne zdarzenie lub zbiór zdarzeń, które w przypadku ich wystąpienia będą mieć wpływ na osiągnięcie celów. Miarą ryzyka jest iloczyn prawdopodobieństwa wystąpienia dostrzeżonego zagrożenia lub szansy oraz wielkość jego/jej wpływu na cele.</i>	Ryzyko to niepewność, która może wpływać na działania dążące do osiągnięcia celu.
FERMA - Federation of European Risk Management Associations Europejska Federacja Stowarzyszeń Zarządzania Ryzykiem	<i>Ryzyko jest kombinacją prawdopodobieństwa zdarzenia i jego konsekwencji, w tym zarówno negatywnych, jak i pozytywnych skutków zdarzenia. W pierwszym przypadku ryzyko jest równoznaczne z możliwością poniesienia negatywnej straty i należy je traktować jako zagrożenie. Drugie podejście definiuje zagrożenie jako potencjalny wpływ niezgodny z oczekiwaniami. Wpływ może być gorszy lub lepszy niż oczekiwano. Dlatego takie podejście może być postrzegane jako zagrożenie lub szansa w zależności od sytuacji. Ryzyko jest pojęciem niejasnym, dlatego jest klasyfikowane według różnych kryteriów.</i>	Ryzyko to pewna kombinacja prawdopodobnego wystąpienia zdarzenia oraz jego skutków, które mogą stanowić szanse na korzyści, bądź też zagrożenia.

Każde ryzyko można scharakteryzować różną siłą oddziaływania na firmę, dlatego przedsiębiorstwo musi uwzględniać w analizie wszystkie możliwe rodzaje ryzyka, które mogą mieć wpływ na funkcjonowanie i odnoszenie sukcesów. Oprócz odpowiedniego planowania zarządzania ryzykiem przedsiębiorstwo powinno odpowiedzieć sobie na pytania, które pomogą umożliwić identyfikację ryzyka. Są to m.in. pytania takie jak:

- Co jest dla firmy ryzykiem?
- Jaka jest przyczyna wystąpienia danego ryzyka?
- Jakie są możliwe skutki, które mogą wystąpić dla w firmy w danej sytuacji biznesowej?

Ryzyko lub inaczej zagrożenie występuje powszechnie w każdej działalności gospodarczej. Powodowane jest przez niepewną sytuację czy brak odpowiednich informacji na temat występujących czynników wewnętrznych i zewnętrznych w otoczeniu przedsiębiorstwa.[7]

2.2. IDENTYFIKACJA I POMIAR RYZYKA

Etapy procesu zarządzania ryzyka wyodrębnia się na wiele sposobów. Niemniej jednak z perspektywy kadry zarządzającej istotna jest przejrzystość procesu. Podział na

cztery kolejne etapy wydaje się odpowiednio łatwym do wdrożenia wyszczególnieniem:

- identyfikacja ryzyka,
- pomiar i ocena ryzyka,
- wybór metody kontroli ryzyka oraz jej wdrożenie,
- monitorowanie oraz ewaluacja efektywności zastosowanych metod.

Identyfikacja i pomiar ryzyka są jednym z najważniejszych kroków w całym procesie zarządzania ryzykiem. Z tego powodu dokonano zestawienia wybranych metod dot. identyfikacji i pomiaru ryzyka wykorzystywanych w analizie ryzyka branży motoryzacyjnej.[8]

Tab. 2. Identyfikacja i pomiar ryzyka – wybrane metody [9-11]
Tab. 2. Risk identification and measurement - selected methods [9-11]

Metoda	Identyfikacja ryzyka	Aspekty
Systemy wczesnego ostrzegania	Umożliwiają wczesne rozpoznanie zagrożenia i uruchomienie odpowiednich procesów naprawczych.	Uniknięcie konsekwencji niepożądanych zdarzeń i szybkiej reakcji, umożliwia działanie systemów szybkiej reakcji np. Quick Response lub Efficient Consumer Response – Wydajna Reakcja na Potrzeby Konsumenta/Nabywcy.
Metoda szacowania ryzyka FMEA	Polega na analitycznym ustalaniu związków przyczynowo-skutkowych powstawania potencjalnych wad w procesach oraz uwzględnieniu w analizie czynnika krytyczności (ryzyka).	Polega na analizowaniu typów oraz rezultatów potencjalnych błędów, aby zapobiec problemom, które mogą wystąpić na etapie projektowania lub produkcji.
Analiza SWOT	To narzędzie służące do wewnętrznej analizy przedsiębiorstwa i jego otoczenia w celu zoptymalizowania strategii zarządzania firmą bądź zbudowania nowego planu strategicznego.	Pozwala na skonfrontowanie ze sobą pozytywnych i negatywnych czynników wewnątrz oraz na zewnątrz przedsiębiorstwa, które razem stanowią o sytuacji rynkowej przedsiębiorstwa. Ta prosta metoda jest wysoce podatna na subiektywizm oraz nie wszystkie czynniki można podzielić w prosty sposób na dwie kategorie (pozytywną i negatywną).
Analiza Drzewa Błędów	Metoda drzewa błędów jest jakościową metodą analizy ryzyka wykorzystującą strukturę drzew logicznych, pozwalającą na modelowanie przebiegu awarii i następnie jej analizę.	Graficzny modelem zależności przyczynowo-skutkowych ułatwiający identyfikację zdarzeń zagrażających.
Listy kontrolne	Listy kontrolne są kwestionariuszami zawierającymi pytania identyfikujące odchylenia od normy.	Sprawdzają się w przypadku prostych prac i czynności. Jeżeli prace są bardziej złożone zaleca się szerszą analizę.

Przeglądy i audyty ryzyka	Audyt wewnętrzny - według definicji podanej przez The Institute of Internal Auditors (IIA) - jest niezależną działalnością doradczą i weryfikującą, której celem jest usprawnienie operacyjne organizacji i wniesienie do niej wartości dodanej. Audyt wewnętrzny pomaga organizacji w osiągnięciu jej celów poprzez systematyczne i metodyczne podejście do oceny i doskonalenia skuteczności procesów zarządzania ryzykiem, kontroli i zarządzania organizacją.	Audyt jest badaniem. Audytor prowadzi proces badania, w którym chce zebrać informacje. Następuje identyfikacja wszystkich występujących procesów wraz z identyfikacją ryzyk z nimi związanych oraz określeniem ich istotności – stworzenie mapy ryzyka. Umożliwia to przeprowadzanie przez audyt wewnętrzny obiektywnego przeglądu i oceny wewnętrznego systemu kontroli.
Analiza przyczyn RCA - Root Cause Analysis, Diagram Ishikawy, metoda „5 Whys	To kompletna i niezależną metodą analizy ryzyka, służącą do identyfikacji, badania oraz klasyfikowania przyczyn źródłowych zdarzeń zagrażających (inicjujących ryzyko) przedsiębiorstwu. To zestaw narzędzi, podejść i procesów do przeprowadzania analizy różnego rodzaju awarii a w rezultacie znajdowania przyczyn źródłowych ich powstawania.	Metoda ta ma na celu znalezienie źródła drążonego problemu.

W etapie identyfikacji czynników wpływających na ryzyko można wyróżnić metody jakościowe i ilościowe. Aby zwiększyć skuteczność analizy ryzyka należy stosować różne narzędzia pomiaru i na podstawie doświadczeń dopasować je do przedsiębiorstwa.[9]

2.3. RODZAJE OPCJI DECYZYJNYCH W ZARZĄDZANIU RYZYKIEM

Istnieje sześć metod zarządzania ryzykiem:

- Unikanie ryzyka – określane jest jako metoda negatywna, ponieważ w większości przypadków jej stosowanie ma negatywne konsekwencje dla osób z niej korzystających. Unikanie ryzyka to indywidualna i świadoma odmowa przyjęcia nawet tymczasowego ryzyka. Dobrym przykładem na zilustrowanie negatywnego charakteru tej metody jest unikanie ryzyka utonięcia poprzez niewchodzenie do wody.
- Zatrzymanie ryzyka – jedna z najczęstszych metod zarządzania ryzykiem. W praktyce możemy rozróżnić aktywne i pasywne zatrzymanie ryzyka. Aktywna likwidacja ryzyka to świadoma decyzja o częściowej lub całkowitej likwidacji ryzyka, na przykład poprzez nieopłacanie składki ubezpieczeniowej. Pasywne zarządzanie ryzykiem ma miejsce, gdy osoba lub firma decyduje się pozostać

całkowicie nieświadoma konkretnego ryzyka, zwykle w wyniku ignorancji, obojętności, lenistwa lub arogancji.

- Zarządzanie ryzykiem – środki mające na celu zmniejszenie częstotliwości strat i ich możliwych konsekwencji. W związku z tym sposób kontroli ogranicza się do dwóch głównych zagadnień: zapobiegania stratom poprzez działania prewencyjne oraz ograniczania strat po zdarzeniu, któremu nie można było zapobiec.
- Przeniesienie ryzyka – przeniesienie ryzyka na inny podmiot z wykorzystaniem mechanizmów prawnych (umowa ubezpieczenia, umowa depozytowa, umowa o kontrolę obiektu) oraz środków organizacyjnych lub zabezpieczających. Przykładem zastosowania tej metody jest przykład najemcy, który zawarł długoterminową umowę najmu ze stałym czynszem, przenosząc ryzyko inflacji na właściciela.
- Podział ryzyka – sposób podziału finansowego wpływu określonego ryzyka na grupę (wśród uczestników wspólnego konsorcjum, wspólnego funduszu). Typowym przykładem jest ryzyko związane z działalnością firmy. Ryzyko to jest dzielone pomiędzy akcjonariuszy spółki lub jej akcjonariuszy.
- Ubezpieczenie – najczęstsza i zarazem uznana metoda będąca połączeniem dotychczasowych metod manipulacyjnych, na którą składa się transfer ryzyka, jego dystrybucja oraz zarządzanie ryzykiem, rozumianym jako prewencyjny wpływ ubezpieczenia na postawę ubezpieczonego [12].

2.4. AUDYT WEWNĘTRZNY NA PRZYKŁADZIE FIRMY FAURECIA

Monitorowanie i kontrola ryzyka dostarczają informacji potrzebnych do podejmowania dobrych decyzji biznesowych, przewidywania niekorzystnych zdarzeń i ograniczania ich wpływu na działalność firmy. Audyt wewnętrzny jest kluczowym elementem zapewniającym skuteczność systemu zarządzania ryzykiem. Roczny plan audytu wewnętrznego jest oparty na ryzyku i dostosowany do celów biznesowych. Dla każdego zadania testowego oceniany jest aktualny poziom indywidualnego ryzyka. Audyt Wewnętrzny odpowiada również za niezależną ocenę adekwatności i skuteczności zarządzania ryzykiem oraz formułowanie zaleceń w celu zapewnienia ciągłego doskonalenia praktyk zarządzania ryzykiem [13].

Niemal każdy większy dostawca motoryzacyjny ma swój system lub standard, którego celem jest sprostanie wymaganiom globalnego rynku, który stał się m.in. przemysł motoryzacyjny. Pochodząca z Francji grupa Faurecia stosuje spersonalizowane rozwiązanie, które nosi nazwę Faurecia Excellence System. System Doskonałości Grupy Faurecia (FES) jest całościowym systemem (składającym się ze ponad stu głównych procedur, także standardów, instrukcji itp.), który obejmuje swym zakresem całą działalność koncernu: od działalności badawczo-rozwojowej do sprzedaży, uwzględniając procesy produkcyjne oraz działalność pomocniczą czy korporacyjną. Każda jednostka produkcyjna jest corocznie audytowana. Jego celem jest

ocena poziomu kompetencji w stosowaniu metodologii FES. Audyt danego zakładu trwa dwa dni. Stosując system FES, każdy musi dążyć do osiągnięcia najwyższego poziomu. Takie podejście do ciągłego doskonalenia okazało się skuteczne na całym świecie. FES dotyczy sześciu głównych procesów:

- Zaangażowania załogi (Employee Empowerment),
- Partnerstwa z dostawcami (Supplier Partnership),
- Przewodnictwa (Leadership),
- Rozwoju (Development),
- Produkcji (Production),
- Klienta (Customer Service).

Szczególnie dobre rezultaty widać w przypadku nowo otwartych zakładów lub tych, w których w sposób radykalny zmieniono ustawienia produkcyjne (production setups). Dobrym przykładem są zakłady Grupy ulokowane nie tylko w Polsce, ale także w Chinach, mogące pochwalić się jednymi z wyższych poziomów wydajności i punktacji zgodnie z systemem FES.[14]

3. ZARZĄDZANIE RYZYKIEM W PRZEDSIĘBIORSTWIE PRODUKCYJNYM

3.1. ZARZĄDZANIE RYZYKIEM DLA CZYNNIKÓW ODDZIAŁUJĄCYCH NA FIRMY

Planując działania zapobiegawcze kadra zarządzająca powinna mieć przygotowane procedury na wypadek wystąpienia ryzyka. W tabeli wymieniono przykładowe czynniki zewnętrzne które mogą oddziaływać na przedsiębiorstwo oraz przedstawiono przykładowe sposoby zarządzania ryzykiem.

Tab. 3. Wybrane czynniki zewnętrzne, skutki i sposoby zarządzania [15-16, 19-23]

Tab. 3. Selected external factors, effects and management methods [15-16, 19-23]

CZYNNIK	SKUTEK/PRZYCZYNA	SPOSOBY ZARZĄDZANIA
niższe ceny konkurencji	nie osiągnięcie planowanej marży	Zredukowanie prawdopodobieństwa ich wystąpienia poprzez odpowiednie planowanie działania zapobiegawczego. Jednym z takich działań może być aktywne działanie działu sprzedaży, by utrzymać obecnych klientów i pozyskać nowych. Monitorowanie ryzyka powinno opierać się na obserwacji i analizie rynku zachowań klientów w odpowiednio ustalonej częstotliwości.
wzrost cen surowców	wzrost kursów walut, inflacja, problemy występujące w łańcuchu	Redukowanie zagrożenia może odbywać się poprzez poszukiwanie nowych możliwości zatrudniania kompetentnych pracowników, współprace

	dostaw czy też konflikty występujące po wschodniej granicy kraju	ze szkołami zawodowymi czy technikami, w których będzie można pozyskać przyszłych pracowników. Kolejnym działaniem zapobiegawczym przy zatrudnieniu obcokrajowców jest integracja pracowników z zespołem i tworzenie dokumentacji w innej wersji językowej np. angielskiej bądź ukraińskiej.
migracje zarobkowe	brak pracowników, zatrudnianie migrantów ze wschodu, powstanie przestojów na produkcji czy wąskich gardeł oraz problemy w komunikacji pomiędzy pracownikami	Redukowanie zagrożenia może odbywać się poprzez poszukiwanie nowych możliwości zatrudniania kompetentnych pracowników, współpracy ze szkołami zawodowymi czy technikami, w których będzie można pozyskać przyszłych pracowników. Kolejnym działaniem zapobiegawczym przy zatrudnieniu obcokrajowców jest integracja pracowników z zespołem i tworzenie dokumentacji w innej wersji językowej np. angielskiej bądź ukraińskiej.

W dobie rozwoju technologicznego wiele procesów produkcji wykonywanych jest przez maszyny i sterowania systemami. W przypadku awarii systemu bądź urządzeń może dojść do postojów w produkcji, opóźnieniem dostaw i karami nałożonymi przez umowy z klientami.[24]

3.2. KRYTERIA MIERZENIA RYZYKA W BRANŻY MOTORYZACYJNEJ

Niedostępność istotnych elektronicznych komponentów i pozrywane łańcuchy dostaw skutecznie ograniczają branżę samochodową. Problemy producentów aut są znaczącym wyzwaniem dla dostawców w ogniwach łańcucha logistyki części i komponentów samochodowych [25]

Przemysł motoryzacyjny zmierza w kierunku jednolitych standardów ESG dla surowców [26]. ESG (z ang. Environmental, Social and Corporate Governance – w skrócie ESG) dotyka obszarów związanych z ochroną środowiska naturalnego, odpowiedzialnością społeczną i ładem korporacyjnym. Te kryteria są kluczowe i powinna zwracać uwagę każda firma dążąca do odpowiedzialnego i zrównoważonego rozwoju [25].

Główni gracze przemysłu motoryzacyjnego (z ang. Original Equipment Manufacturer dosłownie producent oryginalnego wyposażenia - w skrócie OEM) są świadomi, a jednocześnie zaniepokojeni różnymi zagrożeniami środowiskowymi i społecznymi występującymi w łańcuchach wartości surowców na wczesnym etapie obejmującym takie etapy, jak wydobywanie, produkcja i przetwarzanie, z powiązаныmi skutkami, wchodzącymi i występującymi w łańcuchu dostaw w przemyśle

motoryzacyjnym. Jednym z głównych powodów skoncentrowania wysiłków na szeregu kryteriów norm jest zachęcanie podmiotów i dostawców wyższego szczebla do stosowania zrównoważonych praktyk operacyjnych łagodzących ryzyko z zakresu ochrony środowiska, polityki społecznej i ładu korporacyjnego oraz praw człowieka / ryzyka społecznego, wspieranie ciągłego doskonalenia i zwiększania przejrzystości w łańcuchach wartości.

Istnieje pięć kluczowych kryteriów, wokół których zbudowano podejście oparte na wspólnych standardach:

- zapewnienie i nadzór,
- zarządzanie,
- przejrzystość wyników audytu/certyfikacji,
- członkostwo w ISEAL (z ang. International Social and Environmental Accreditation and Labelling Alliance) – globalna organizacja członkowska zajmująca się ambitnymi, opartymi na współpracy i przejrzystymi systemami zrównoważonego rozwoju,
- ciągłe doskonalenie.

Na podstawie dostępnych źródeł podjęto próbę zdefiniowania kryteriów określających standardy dotyczące ryzyka w łańcuchach dostaw branży motoryzacyjnej.

Zapewnienie i nadzór - Pierwsze kryterium służy do określenia czy przedsiębiorstwo spełnia wymagania danej normy. W przypadku każdego standardu, w którym brakuje metodologii/systemu zapewniania wiarygodności, oczekiwany postęp polega na tym, że najpierw zacznie on wymagać przeprowadzenia samooceny, przechodząc do audytów i przechodząc do certyfikacji strony trzeciej – będąc tym ostatnim uważanym za najbardziej wiarygodny system weryfikacji pod względem zapewnienia standardów. Aby upewnić się, że wszystkie obecne mechanizmy zapewniania zaufania, które zgodnie z normą mają istnieć, są należycie przestrzegane i przestrzegane w praktyce, w przypadku, gdy mechanizmy zapewniania zaufania nie są zdefiniowane wystarczająco jednoznacznie i pozwalają na więcej niż jedną różną interpretację lub ustanowione wyłącznie na podstawie niewiążących wytycznych, odpowiedni program/standard nie może być uznany zgodnie z tym kryterium. Niewiążący charakter wytycznych sprawia, że twierdzenie, że norma może zapewnić określony poziom wydajności we wszystkich uczestniczących podmiotach, staje się dość trudne lub niemożliwe. Ryzyko związane z tą niepewnością oznacza, że nie można przyznać uznania takiej normie.

Jeżeli chodzi o nadzór, jego głównym celem jest zapewnienie, aby podmioty świadczące kontrole i audytorzy rzeczywiście byli zdolni do wykonywania swojej pracy (odzwierciedlonej w odpowiednich kwalifikacjach, doświadczeniu, szkoleniach itp.) oraz jej dobrze i co równie ważne, w sposób bezstronny, tj. w pełni niezależni i niepodlegający konfliktom interesów. Zarówno zapewnienie wiarygodności, jak i nadzór są ważnymi funkcjami kontroli jakości, dlatego też oba przyczyniają się do ram uznawania jako jednego z kryteriów.

Zarządzanie - Zarządzanie odnosi się do interesariuszy zaangażowanych w normę, w szczególności w jej zarząd i proces decyzyjny. Oczekujemy, że standardy branżowe będą ewoluować, aby włączyć interesariuszy z różnych segmentów do ich organów zarządzających, biorąc również pod uwagę oczekiwania społeczne. Powinno to również ewoluować w kierunku ustrukturyzowanego zaangażowania zainteresowanych stron, a następnie przejść do włączenia pełnego równego zarządzania między różnymi zainteresowanymi stronami wchodzącymi w skład rady. Zainteresowane strony powinny mieć odpowiednie możliwości uczestniczenia w tym procesie i wniesienia w niego wkładu.

Przejrzystość wyników audytu/certyfikacji - Należy wspomnieć, że dostępność i przejrzystość (sposób komunikacji) wyników kontroli odgrywają kluczową rolę w budowaniu zaufania i wiarygodności wokół każdego standardu. Pozwala to nie tylko na osiągnięcie widocznej i czasami bardzo znaczącej poprawy wyników w wyniku działań następczych podjętych przez jednostkę kontrolowaną, ale także wskazuje istotne luki zainteresowanym stronom i może służyć wymianie doświadczeń w zainteresowanych społecznościach, np. umożliwiając im przeprowadzenie własnej należytej staranności. Przejrzystość odnosi się również do zakresu publicznie dostępnych informacji na temat wyników jednostek poddawanych audytowi/certyfikacji.

Członkostwo w ISEAL - Bycie członkiem ISEAL oznacza bycie członkiem globalnego stowarzyszenia członkowskiego na rzecz standardów zrównoważonego rozwoju, a naszą ambicją jest, aby wszystkie inicjatywy były zgodne z ich standardami i ostatecznie stały się ich członkami.

Ciągłe doskonalenie - dla trwałego dostarczania wyników i długoterminowego sukcesu kluczowe znaczenie ma to, aby normy miały ambitne wymagania, które z kolei stymulują ciągłe doskonalenie w firmach, które podążają za nimi i starają się je spełnić. Dlatego pierwszym krokiem dla standardów, które nie uwzględniają jeszcze tego ważnego elementu, byłoby wprowadzenie mierzalnych i możliwych do oceny wskaźników KPI oraz różnych poziomów wydajności. Poza tym każda uznana norma powinna być okresowo weryfikowana i zmieniana w miarę rozwoju najlepszych praktyk, a także wejścia w życie nowych przepisów i pojawienia się nowych zagrożeń.

Oczekuje się, że standardy opracują ramy dla ulepszeń, które należy spełnić w określonym przedziale czasowym, co oznacza, że spełnienie standardu / uzyskanie certyfikatu nie jest jednorazowym działaniem, ale oznacza pewne zobowiązanie do dalszej poprawy. Wreszcie, oczekuje się również, że normy będą stanowić zachęty do takich ulepszeń, które mogą być reprezentowane przez obniżone opłaty i/lub specjalne usługi w społecznościach ich członków [26].

3.3. ISTOTNE SKŁADOWE W ZARZADZANIU RYZYKIEM W SYSTEMACH LOGISTYCZNYCH NA PRZYKŁADZIE FIRMY VOLKSWAGEN

Spełniające wyżej wymienione kryteria Grupa Volkswagen publikuje informacje o postępowaniu w zakresie przejrzystości i ograniczania ryzyka w swoich łańcuchach dostaw surowców. Kluczowa dla Grupy Volkswagen w 2022 roku jest współpraca z dostawcami w łańcuchu dostaw akumulatorów – od kopalni do ogniwa – by promować odpowiedzialne zaopatrzenie i wydobycie poprzez wdrożenie wiarygodnych systemów certyfikacji. W marcu bieżącego roku Volkswagen przyłączył do aktywności na rzecz Odpowiedzialnego Górnictwa (IRMA) i zobowiązał się do stopniowego, konsekwentnego wdrażania standardów IRMA w swoich łańcuchach dostaw akumulatorów [27].

W celu monitorowania ryzyka w łańcuchu dostaw wdrożono m.in. inteligentny radar zrównoważonego rozwoju dla łańcucha dostaw: oparty na algorytmie sztucznej inteligencji o ustalonym monitoringu [28]. Ten system jest w stanie identyfikować i analizować informacje o dostawcach na podstawie wiadomości z publicznie dostępnych mediów i sieci społecznościowych w więcej niż 50 językach i ponad 150 krajów. Jeśli istnieją jakiegokolwiek przesłanki trwałości ryzyka w łańcuchu dostaw, powiadamiane są wiodące marki [29].

Proces został zapoczątkowany w 2020 r. i nazwano go RMDDMS - (z ang. Raw Materials Due Diligence Management System - w skrócie RMDDMS), można to przetłumaczyć jako Zarządzanie Ryzykiem Gospodarki Surowców [30]. Jest to spójne z wytycznymi OECD dla przedsiębiorstw wielonarodowych. Wytyczne OECD dla przedsiębiorstw wielonarodowych to szereg zaleceń rządów dla przedsiębiorstw wielonarodowych. Stanowią one kompilację zasad i norm, których przestrzeganie jest dobrowolne. Ma to na cel służyć odpowiedzialnemu prowadzeniu działalności gospodarczej zgodnie z obowiązującym aktami prawnymi. [31]

Wdrożenie procesu RMDDMS podłożył pod przeprowadzanie analizy łańcucha dostaw w zakresie stosowania praw człowieka w pozyskiwaniu priorytetowych surowców w sformalizowany sposób przy użyciu konkretnych narzędzi i metodologii. Ten proces pozwolił na więcej rygorystyczny przepływ komunikacji w ramach Grupy Volkswagen dla zapytania związane z łamaniem praw człowieka w łańcuchach dostaw surowców [32]. Firmy muszą być przejrzyste i dostarczać informacji oraz kompletności na temat swojej działalności. Dzięki temu różne grupy interesariuszy będą w stanie zrozumieć ich działania i ich relacje ze społeczeństwem otoczeniem [33].

3.4. LOGISTYKA 4.0 - SPRAWNIENIE PROJEKTOWANIA ORAZ TESTOWANIA POJEMNIKÓW SPECJALNYCH W VOLKSWAGEN POZNAŃ

Jedną z krytycznych składowych systemu logistycznego w przemyśle motoryzacyjnym jest projektowanie systemu opakowań. Rozwiązanie stosowane w polskich

zakładach VW Commercial Vehicles powstało we współpracy z poznańską firmą Apzumi. System opracowany przez Apzumi łączy funkcje AR algorytmów uczenia maszynowego i integruje dane z elementów wewnętrznych. Możliwości okularów Hololens są wykorzystywane przez inżynierów produkcji oraz projektantów w sektorze Nowatorski charakter projektowanego rozwiązania polega na połączeniu rozpoznawania przestrzeni, wyświetlania obiektów i elementów sztucznej inteligencji z jednoczesnym postrzeganiem otaczającej „pracownika” rzeczywistości. Rozwiązanie to oferuje użytkownikowi wiele korzyści - może oglądać wyświetlany hologram z różnych perspektyw, ponieważ ma on stałą pozycję w przestrzeni. Ponadto może wchodzić w interakcje z przedmiotami za pomocą poleceń głosowych i gestów. W ciągu roku w fabrykach VW w Poznaniu i Wrześni wprowadzanych jest nawet kilkadziesiąt nowych konstrukcji pojemników specjalistycznych, w których transportowane są części wymagające szczególnej ochrony w procesie od dostawców do fabryki. Największe konstrukcje podłogi pojemników osiągają wymiary nawet do 5,4 x 2,2 m. Każdy pojemnik musi zostać zaprojektowany uwzględniając specyfikę transportowanych elementów. Dopasowywane są wymiary, elementy wzmacniające oraz mechanizmy blokujące. Zastosowanie AR pozwala na szybsze opracowanie i opracowanie koncepcji przyszłego kontenera. Również wszystko odbywa się za pomocą 3D bez potrzeby stosowania części fizycznych. Stosowanie tego typu rozwiązań istotnie redukuje ryzyko wystąpienia zakłóceń w procesie systemu logistycznego opakowań. [34]

4. WNIOSKI I ZAKOŃCZENIE

Cel pracy został dopełniony. Określono istotną rolę zarządzania ryzykiem w systemach logistycznych branży motoryzacyjnej. Na podstawie dostępnych źródeł dokonano próby zdefiniowania istotnych kryteriów w pomiarze i monitorowaniu ryzyka w współczesnych systemach logistycznych branży motoryzacyjnej. Podano przykłady rozwiązań zarządzania ryzykiem w branży motoryzacyjnej.

Zarządzanie ryzykiem nierozdzielnie łączy się z elementem procesu kierowania, który swój początek ma na etapie planowania systemu logistycznego i powinno trwać do końca jego wykorzystywania. Bez odpowiednio opracowanych systemów reagowania na ryzyko, reakcja przedsiębiorstw w obliczu nadchodzącego kryzysu gospodarczego może doprowadzić firmę do upadku. Niemniej jednak dzięki zwiększonej motywacji przedsiębiorstw do poszukiwania, nowych elastycznych rozwiązań upatruje się również szanse na usprawnienie istniejących systemów logistycznych. Trudności napotymane przez przedsiębiorców z branży TSL doprowadzają do wprowadzenia wielu innowacyjnych rozwiązań i usprawnień, które stają się trwałe. Przeprowadzona analiza pozwala stwierdzić, że prowadząc działalność gospodarczą należy być świadomym występujących zagrożeń, nieustannie monitorować makro i mikrootoczenie przedsiębiorstwa, sterować ryzykiem poprzez opracowywanie i stosowanie scenariuszy strategicznych, minimalizując prawdopodobieństwo

wystąpienia ryzyka i wielkości następujących skutków, dlatego że identyfikacja ryzyka jest jednym z kluczowych etapów całego procesu zarządzania ryzykiem, co ma istotne znaczenie w przedsiębiorstwie produkcyjnym.

Uzasadnione jest założenie, że w dzisiejszych warunkach gospodarczych wdrożenie działań ograniczających ryzyko powinno być jednym z głównych zadań systemu zarządzania przedsiębiorstwem. Kluczową kwestią dla menedżera musi być określenie aspektów zarządzania ryzykiem, wielkości ryzyka oraz wpływu ryzyka na organizację. Wiele czynników wewnątrz i wokół organizacji wpływa na zarządzanie transakcjami finansowymi na poziomie przedsiębiorstwa. Czynniki te mogą powodować niepewność, a tym samym ryzyko w biznesie. Powiązanie tego z procesem planowania firmy jest szczególnie ważne w zarządzaniu ryzykiem. Bez tej relacji plan szybko traci swoją rzeczywistość i tym samym przestaje być czynnikiem determinującym działania i decyzje.

Jedną z głównych cech nowoczesnych firm jest ich zdolność do adaptacji. Instrumentem promującym adaptację jest struktura organizacji, która poprzez zmiany dostosowuje się do wymagań otoczenia firmy i procesów zachodzących w organizacji, a tym samym kształtuje jej adaptacyjność. Dlatego adaptacyjność struktur organizacyjnych można uznać za ważne, potencjalne źródło tworzenia przewagi konkurencyjnej firm. Działania te mogą pomóc w zwiększeniu efektywności i konkurencyjności polskich firm.

LITERATURA

- [1] TULDER R., VERBEKE A., JANKOWSKA B., *International Business in a VUCA World: The Changing Role of States and Firms*, Emerald Publishing Limited, Bingley, 2020 s. 14-18.
- [2] <https://icproject.com/blog/cenna-wiedza/prince2-charakterystyka-metodyki-zarzadzania-projektami/> (dostęp: 30.11.2022).
- [3] <https://www.iso.org.pl> (dostęp: 30.11.2022).
- [4] <https://esrahompage.eu> (dostęp: 30.11.2022).
- [5] <https://esrahompage.eu/home.aspx> (dostęp: 30.11.2022).
- [6] <https://www.ferma.eu> (dostęp: 30.11.2022).
- [7] WRÓBLEWSKI D., *Zarządzanie ryzykiem – przegląd wybranych metodyk*, Wydawnictwo CNBOP-PIB, Józefów, 2015, s. 22.
- [8] ZAWARSKA J., *Identyfikacja i pomiar ryzyka w procesie zarządzania ryzykiem podmiotów gospodarczych*, Czasopismo Zarządzanie i Finanse, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, 2012, s. 65-75.
- [9] TOPCZAK M., PATALAS-MALISZEWSKA J., *Model oceny poziomu ryzyka w przedsiębiorstwie produkcyjnym*, Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Zielona Góra, 2019
- [10] <https://www.theiia.org> (dostęp: 01.12.2022).
- [11] <https://www.tableau.com/learn/articles/root-cause-analysis> (dostęp: 01.12.2022).
- [12] <https://www.qualitywise.pl/zarzadzanie-ryzykiem-w-organizacji-jak-je-zrozumiec/> (dostęp: 17.10.2022).
- [13] SOPIŃSKA A., MODLIŃSKI A., *Współczesne zarządzanie - koncepcje i wyzwania*, Oficyna Wydawnicza SGH – Szkoła Główna Handlowa w Warszawie, Warszawa 2020, s. 9-11.

- [14] https://automotivesuppliers.pl/images/stories/kwartalnik/2011/02/20_21.pdf (dostęp: 02.12.2022).
- [15] <https://www.gov.pl/web/finanse/miedzynarodowy-fundusz-walutowy-zakonczył-przeład-gospodarki-polski-za-2021-r> (dostęp: 18.10.2022).
- [16] FURA B., FURA M., *Zależność ryzyko-dochód wybranych spółek odpowiedzialnych społecznie*, Katedra Ekonometrii i Statystyki, Rzeszów, 2016, s. 45.
- [17] FIRLEJ K., *Wykorzystanie metod scenariuszowych w zarządzaniu przedsiębiorstwami przemysłu spożywczego*, Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Kraków, s. 3.
- [18] TRZECIAK M., SPAŁEK S., *Zarządzanie ryzykiem w ramach metodyk tradycyjnych oraz zwinnych w zarządzaniu projektami*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, s. 93, 2016.
- [19] <https://www.jsw.pl/raportroczny-2018/ryzyka/czynniki-ryzyka-i-zagrozen/zasady-kontroli-i-monitoringu-ryzyka/> (dostęp: 20.10.2022).
- [20] <https://www2.deloitte.com/pl/pl/pages/risk/articles/covid-19-lancuch-dostaw.html> (dostęp: 17.10.2022).
- [21] SZPAKOWSKA J., BUCHWALD T., ROMANOWSKI R., *Atrakcyjność polskiego rynku pracy dla obywateli Ukrainy – przyczyny, mechanizmy, konsekwencje migracji zarobkowych*, Optimum. Studia Ekonomiczne Nr 2 (80), 2016.
- [22] <https://www.consilium.europa.eu/pl/policies/coronavirus/covid-19-economy/> (dostęp: 17.10.2022).
- [23] MARTOFEL A., *Analiza rządowych i międzynarodowych działań wobec pandemii SARS-CoV-2*, Vol. 15, NR 2, 2020, s. 48-53.
- [24] Sopińska A., Modliński A., *Współczesne zarządzanie – koncepcje i wyzwania*, Oficyna Wydawnicza SGH – Szkoła Główna Handlowa w Warszawie, Warszawa 2020, s. 340.
- [25] <https://www.parkiet.com/firmy/art19389941-kryzys-szansa-i-wyzwaniem-dla-spolok-z-branzy-automotive> (dostęp: 9.11.2022).
- [26] <https://www.drivesustainability.org/mediaroom/automotive-industry-heading-towards-uniform-esg-standards-for-raw-materials/> (dostęp: 10.11.2022).
- [27] <https://www.pb.pl/konferencje/finanse/esg-compliance-czym-jest-i-jak-wplywa-na-zarzadzanie-biznesem-1129208> (dostęp: 10.11.2022).
- [28] <https://www.volkswagen.pl/pl/swiat-volkswagena/aktualnosci/2022/czerwiec/grupa-volkswagen-opublikowala-raport-dotyczacy-odpowiedzialnej-gospodarki-suro.html> (dostęp: 14.11.2022).
- [29] <https://www.volkswagenag.com/presence/nachhaltigkeit/documents/supply-chain/Volkswagen-Group-Responsible-Raw-Materials-Report-2021.pdf> (dostęp: 15.11.2022).
- [30] <https://www.volkswagenag.com/en/news/2021/03/porsche--audi-and-volkswagen-use-artificial-intelligence-to-mini.html> (dostęp: 13.11.2022).
- [31] <https://www.oecd.org/corporate/mne/38111315.pdf> (dostęp: 16.11.2022).
- [32] <https://www.gov.pl/web/fundusze-regiony/wytyczne-oecd> (dostęp: 17.11.2022).
- [33] <https://strefabiznesu.pl/przerwane-lancuchy-dostaw-problem-dotyka-niemal-co-drugiej-firmy-ekspert-dlugoterminowo-czeka-nas-wzrost-cen-towarow-i-uslug/ar/c3-16869419> (dostęp: 17.11.2022).
- [34] <https://automotivesuppliers.pl/pl/polska/logistyka-4-0-w-volkswagen-poznan-planowanie-opakowan-w-rozszerzonej-rzeczywistosci> (dostęp: 05.12.2022).

RISK MANAGEMENT IN AUTOMOTIVE LOGISTICS SYSTEMS

Key words: *VUCA, risk, risk management, logistics*

Purpose – the aim of this article is to determine the important role of risk management in the logistics systems of the automotive industry. Therefore, the literature on risk definition and risk management was reviewed with particular emphasis on key aspects. The analysis of selected, currently used risk management tools and examples from the automotive industry (Faurecia, Volkswagen) are also significant.

Study methodology – a review of the available literature was used.

Result – the aim of the work has been fulfilled. Based on the available sources, an attempt was made to define important criteria in the measurement and monitoring of risk in modern logistics systems in the automotive industry. Examples of risk management solutions in the automotive industry are given.

Originality/Value – the article indicates concepts regarding the definition of risk. Attention was paid to identification, risk measurement, risk management tools, examples from automotive industry enterprises.

Corresponding author:

e-mail: malgorza.nowak@gmail.com, oli.kam869@outlook.com

Julia LINDSTEDT
Katarzyna ŁANGOWSKA *

DOI: https://doi.org/10.37190/JoT2022_07

ZAGROŻENIA WYSTĘPUJĄCE W TRANSPORCIE SANITARNYM

Słowa kluczowe: *transport sanitarny, medycyna, transport krwi i narządów*

Transport sanitarny jest jednym z trudniejszych do wykonania rodzajów transportu. Wymagania stawiane tej gałęzi TSL są bardzo restrykcyjne przez co wymuszają podjęcie odpowiednich działań przygotowawczych do transportu. Jeśli nie zostaną one podjęte lub zostaną źle wykonane może dojść do poważnych konsekwencji. Koncepcją artykułu jest przedstawienie zagrożeń z jakimi zmagają się przechowywanie i transportowanie materiałów biologicznych, materiałów wykorzystywanych do udzielania świadczeń zdrowotnych i pacjentów. Ma to na celu ukazanie problemów z jakimi się zmagają oraz przedstawienie procedur i norm obowiązujących w tego rodzaju transporcie.

1. WSTĘP

Branża TSL jest nieodrębną częścią dzisiejszego świata. W bieżących czasach transport postrzegany jest głównie z punktu widzenia konsumpcjonizmu. Codziennie transportowane są do nas dobra użytku codziennego, zamówienia internetowe, jedzenie ze sklepów i restauracji, potrzebne surowce do firm, itp. Warto jednak zauważyć szczególne wykorzystanie transportu do celów naprawę ważnych wynikających z zasad etyki. [1] Transport sanitarny służy do przewozu osób, materiałów biologicznych oraz materiałów wykorzystywanych do udzielania świadczeń zdrowotnych. Jest to szczególnie ważna gałąź transportu, dzięki której niejednokrotnie zostało uratowane czyjeś życie. W specjalistycznym transporcie medycznym wykonywanym drogą lądową wymagana jest szczególna uwaga oraz zapewnienie optymalnych warunków przewozu. Co się stanie, jeśli nie zostaną one dotrzymane? [2]

* Koło Naukowe Transportu i Logistyki TRANSLOG, Uniwersytet Morski w Gdyni

2. POJĘCIE TRANSPORTU SANITARNEGO

2.1. TRANSPORT SANITARNY

Transport sanitarny definiowany jest w ustawie z dnia 27.08.2004 r. o świadczeniach opieki zdrowotnej finansowanych ze środków publicznych jako przewóz osób albo materiałów biologicznych i materiałów wykorzystywanych do udzielania świadczeń zdrowotnych, wymagających specjalnych warunków transportu. [3] Odbywa się on za pomocą karetek transportowych (z oznaczeniem “T”) bądź samochodów kurierskich wyposażonych w odpowiedni sprzęt zapewniający spełnienie warunków transportu sanitarnego. [4] Transport sanitarny można podzielić na:

- transport krwi i preparatów krwiopochodnych (które należą do materiałów biologicznych, ale ze względu na warunki przewozu są wyróżnione jako osobna grupa),
- transport materiałów biologicznych i materiałów wykorzystywanych do udzielania świadczeń zdrowotnych (np. próbki laboratoryjne, organy do przeszczepu),
- transport pacjentów, którym nie grozi bezpośrednie zagrożenie życia (w tym przypadku pacjent przewożony jest na zasadach transportu medycznego).

Transport ten wykonywany jest specjalistycznymi środkami transportu lądowego, wodnego oraz lotniczego. Najczęstszą i najłatwiejszą formą przewozu jest transport lądowy. [3] Może być on realizowany zarówno w zakresie własnym, jak i korzystając z usług przewoźników. Transport wodny i lotniczy stosowany jest częściej do dalekich przewozów, głównie międzynarodowych.

W transporcie lotniczym można wyróżnić transport dronami, który w Polsce jest dosyć nową technologią transportowania materiałów biologicznych. W transporcie sanitarnym służy on do przewozu głównie probówek np. z krwią. Na ten moment drony stosowane w Polsce są w stanie przetransportować ładunek do 2kg. Materiały są transportowane w specjalnych opakowaniach izotermicznych odpornych na rozbięcie i nieszczelność oraz zachowując wymagane parametry. Loty te muszą być zgłaszane i oparte o unijne procedury. [5, 6]

2.2. ZIMNY ŁAŃCUCH DOSTAW

Transport sanitarny materiałów biologicznych i wykorzystywanych do udzielania świadczeń zdrowotnych należy do tak zwanego w branży medycznej “zimnego łańcucha dostaw”. Jest to termin, który określa ciągłość zachowania odpowiedniej temperatury w całym procesie logistycznym przewozu ww. materiałów. [7] Przestrzeganie zasad łańcucha chłodniczego jest określone w szeregu norm i przepisów. Są to:

- Dobra Praktyka Dystrybucyjna (GDP – Good Distribution Practice),
- Dobra Praktyka Kliniczna (GCP – Good Clinical Practice),

- Dobra Praktyka Laboratoryjna (GLP – Good Laboratory Practice),
- ustawa z dnia 6 września 2001 r. Prawo farmaceutyczne,
- ustawa z dnia 5 grudnia 2008 r. o zapobieganiu oraz zwalczaniu zakażeń i chorób zakaźnych u ludzi,
- rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 11 grudnia 2012 r. w sprawie leczenia krwią w podmiotach leczniczych wykonujących działalność leczniczą w rodzaju stacjonarne i całodobowe świadczenia zdrowotne, w których przebywają pacjenci ze wskazaniami do leczenia krwią i jej składnikami.

Każda z wyżej wymienionych norm i ustaw określa warunki w jakich należy przechowywać, transportować i obchodzić się z materiałami biologicznymi, materiałami wykorzystywanymi do udzielania świadczeń zdrowotnych. [8, 9]

2.3. PRZEWÓZ PACJENTÓW

Pacjenci mają możliwość skorzystania z transportu sanitarnego na podstawie zlecenia lekarza ubezpieczenia zdrowotnego lub felczera. Jest on możliwy w przypadku konieczności podjęcia natychmiastowego leczenia w podmiocie leczniczym lub wynikających z potrzeby zachowania ciągłości leczenia. Z transportu sanitarnego w przypadku wystawienia przez lekarza zlecenia można skorzystać bezpłatnie, istnieje jednak możliwość skorzystania na własne życzenie odpłatnie lub za częściową opłatą. [3] Przepisy dotyczące przewozu transportem sanitarnym pacjentów określone są w normach:

- ustawa z dnia 27 sierpnia 2004 r. o świadczeniach opieki zdrowotnej finansowanych ze środków publicznych,
- zarządzenie nr 157/2019/DSM Prezesa Narodowego Funduszu Zdrowia z dnia 20 listopada 2019 r. w sprawie określenia warunków zawierania i realizacji umów o udzielanie świadczeń opieki zdrowotnej w rodzaju pomoc doraźna i transport sanitarny.

Przewóz pacjentów może odbywać się tylko z pomocą odpowiednio wykwalifikowanych i wyznaczonych do tego pracowników. W zależności od zamówienia lub zlecenia lekarza prowadzącego lub felczera ubezpieczenia zdrowotnego dopasowany jest pojazd wyposażony w odpowiedni sprzęt oraz liczba i rodzaj pracowników. [10]

2.4. PONADPRZECIĘTNY TRANSPORT

Transport sanitarny jest ciekawy pod tym względem, gdyż zdecydowanie różni się od zwykłego przewozu. Jest on bardziej wymagającym rodzajem transportu niż ten, z którego korzystamy na co dzień jak na przykład transport publiczny. Aby mogło dojść do tego rodzaju przewozu, trzeba wykonać szereg czynności przygotowawczych z zakresu TSL, opartych na rozporządzeniach, ustawach i praktykach

z zakresu ogólnopojętej medycyny. Co więcej nie każdy jest uprawniony do wykonywania tego rodzaju przewozów. Jest też to jedna z gałęzi transportu, która ma szansę w błyskawicznym tempie rozwijać się i wykorzystywać nowoczesne technologie. Identyfikuje się szczególnie tym, że w bardzo szybki i ciekawy sposób wysyłany przedmiot np. próbówki, może znaleźć się w innym miejscu, za pomocą wyłącznie urządzenia latającego jakim jest dron. W trakcie pandemii COVID-19 zaczęto coraz częściej korzystać z bezzałogowców do transportu materiałów biologicznych. Zdecydowanie usprawniło to łańcuch dostaw w transporcie sanitarnym tworząc bezpieczne warunki bezkontaktowej dostawy towaru. Według badań naukowych drony były wykorzystywane do dostarczania szczepionek przeciwko COVID-19 w niedostępne miejsca. Bezzałogowce oprócz dostarczania materiałów medycznych, wykorzystywane były również do transportowania niezbędnych produktów pierwszej potrzeby dla osób zarażonych wirusem SARS-CoV-2. Daje to nadzieje na zapewnienie alternatyw dla transportu naziemnego i integracji nowoczesnych technologii związanych z przewozem sanitarnym. [11]

3. ZAGROŻENIA W TRANSPORCIE SANITARNYM

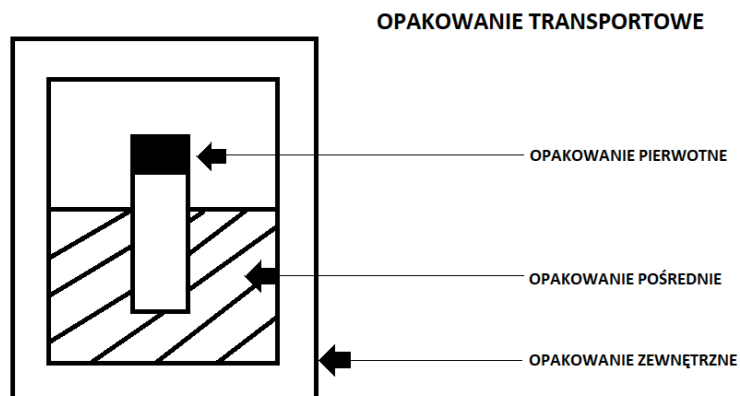
3.1. ZAGROŻENIA W PRZEWOZIE MATERIAŁÓW BIOLOGICZNYCH – KRWI, PREPARATÓW KRWIOPCHODNYCH, PRÓBEK LABORATORYJNYCH

Jednym z podstawowych zagrożeń i problemów transportu sanitarnego jest przewóz próbek. Spowodowane jest to między innymi brakiem zastosowania środka konserwującego, co przyczynia się do “wyrzutu” co za tym idzie rozlania się zawartości. Dodatkowo próbówki potrafią pękać, przede wszystkim z powodu doboru nieodpowiedniego rodzaju szkła, ścianki powinny być odpowiednio grube, dzięki czemu zapobiegałyby usterkom i częstym pęknięciom. [12] Prawidłowo zapakowany materiał biologiczny powinien zawierać opakowanie pierwotne, powinno ono być jednorazowe ze sztucznego tworzywa odpornego na tłuczenie i zgniecenie, a także szczelnie zamykane z dodatkową uszczelką zapobiegającą wyciekowi substancji. [13]

Opakowanie transportowe powinno składać się z:

- opakowania pierwotnego (np. próbówka) zawierającego materiał do badania,
- opakowania pośredniego (np. plastikowa folia),
- opakowania zewnętrznego (np. opakowanie kartonowe).

Poniższy rysunek przedstawia odpowiednio przygotowane opakowanie transportowe.



Rys. 1. Składowe prawidłowego opakowania transportowego [13]

Fig. 1. The components of a proper transport package [13]

Odpowiednie dla przewozu pobranych materiałów jest również przesyłanie ich w specjalnych pojemnikach, które mają za zadanie utrzymywać idealną temperaturę.

Optymalne zakresy temperatur dla materiałów biologicznych w zależności od ich rodzaju kształtują się następująco [13]:

- temperatura głęboko mrożona poniżej -20°C ,
- temperatura lodówki od $+4^{\circ}\text{C}$ do $+8^{\circ}\text{C}$,
- temperatura pokojowa od $+20^{\circ}\text{C}$ do $+25^{\circ}\text{C}$.

W transporcie krwi występują 3 rodzaje temperatur, w których należy przewozić krew i preparaty krwiopochodne w zależności od typu [14]. Są to:

- temperatura poniżej -18°C (dla FFP – osocze świeżo mrożone),
- temperatura w zakresie $+2^{\circ}\text{C}$ do $+6^{\circ}\text{C}$, maksymalnie do $+10^{\circ}\text{C}$ (dla KKCz - koncentrat krwinek czerwonych),
- temperatura w zakresie $+20^{\circ}\text{C}$ do $+24^{\circ}\text{C}$ (dla KKP – koncentrat krwinek płytkowych).

W celu zachowania odpowiedniego przedziału temperatur stosowane są specjalistyczne pojemniki izotermiczne zaopatrzone we wkłady chłodnicze lub chłodziarki z zasilaniem zewnętrznym. W zależności od przewożonego materiału używa się odpowiednich do tego celu pojemników. Przykładowo krew i preparaty krwiopochodne umieszczane są w specjalne kontenery chłodnicze służące tylko i wyłącznie do jej przewozu [14]. Wyróżnia się:

- mroźnia – kontener dla przewozu FFP,
- chłodnia – lodówki transportowe dla przewozu KKCz,
- inkubator – kontener z izolacją dla przewozu KKP.

Dopuszczalny jest także transport małych ilości krwi bądź preparatów krwiopochodnych za pomocą przenośnych lodówek z wkładami chłodzącymi lub tzw. suchym lodem (stały dwutlenek węgla), bądź za pomocą zamrażarek zasilanych z akumulatora samochodowego. Jeśli przenośne urządzenie do transportu nie jest wyposażone w czujnik temperatury, należy w bezpośredniej styczności z przewożonym składnikiem krwi, umieścić termometr i dokonywać odczytu temperatury po 5 minutach od momentu umieszczenia składnika krwi w pojemniku izotermicznym oraz po zakończeniu transportu [15]. Termometr musi być odpowiednio zabezpieczony przed wypadnięciem z pojemnika. Obecnie stosowane są nowoczesne czujniki temperatury w postaci karty z chipem rejestrujące temperaturę przez dowolny czas w pojemniku, z dodaną częstotliwością np. co 15 minut przez cały rok. Stosują je m.in. firmy kurierskie w logistyce nauk biologicznych i opieki zdrowotnej. Urządzenia te powinny posiadać świadectwa wzorcowania akredytowane przez PCA (Polskie Centrum Akredytacji). [16, 17]

Bezpośrednim zagrożeniem wynikającym z nieodpowiedniej temperatury w trakcie transportu jest uszkodzenie materiału biologicznego i uniemożliwienie jego dalszego wykorzystania. Z reguły systemy w specjalistycznych pojemnikach izotermicznych powinny zgłaszać wszelkie odchylenia od przyjętych zakresów, jednakże bywają przypadki, gdzie nie zostanie to zauważone. Może również dojść do zatrzymania pracy urządzenia (w przypadku zasilanych pojemników), bądź uszkodzenia jednego z elementów izolacyjnych, powodujących niestabilność temperatury pojemnika. Jeśli awaria zostanie wykryta, to osoba przewożąca dany materiał zmuszona jest do podjęcia odpowiednich czynności w celu utrzymania odpowiedniej temperatury materiałów biologicznych do dalszego ich przewozu. Powoduje to opóźnienia w przewozach, a czas w transporcie sanitarnym jest niezwykle istotną rzeczą - jeśli potrzebne materiały (np. krew do przetoczenia) nie zostanie dostarczony na czas, może dojść do bezpośredniego zagrożenia życia. Tak samo może wydarzyć się w przypadku niewykrycia przechowywania materiału w nieodpowiedniej temperaturze. Jeśli po dostarczeniu przesyłki placówka medyczna nie wykryje uszkodzenia takiego materiału może dojść do potencjalnego zagrożenia życia człowieka [15,18].

3.2. ZAGROŻENIA W PRZEWOZIE MATERIAŁÓW BIOLOGICZNYCH – ORGANY I NARZĄDY DO PRZESZCZEPU

Transport sanitarny to nie tylko przewóz próbek z pobranym materiałem, a również transport narządów ludzkich. Podczas przeszczepu, następuje przerwanie dopływu krwi do narządu, co skutkuje obumarciem jego tkanek. W medycynie wyróżniamy dwa rodzaje niedokrwienia, ciepłe, czyli takie, które ma wstrzymany dopływ krwi dawcy oraz nie jest chłodzone bezpośrednio po przeszczepie. Drugim natomiast jest niedokrwienie zimne, które jest zdecydowanie lepszą alternatywą.

Po pozbyciu się krwi z narządu jest ono odpowiednio chłodzone i nadaje się do przeszczepu dla kolejnego odbiorcy.

Zabezpieczenie narządu polega na obniżeniu temperatury tkanek, dzięki czemu zmniejszają się ich zapotrzebowania ATP, czyli nośnika energii komórki. Co za tym idzie, spowolniony jest czas śmierci komórki oraz jej procesy metaboliczne. Co ważne, zbyt niska temperatura, czyli poniżej -5°C jest tak samo szkodliwa jak temperatura wysoka. Ustalono za tym optymalną ciepłotę wynoszącą $0-4^{\circ}\text{C}$. Po schłodzeniu narządu, trafia ono do specjalnych komór, których zadaniem jest utrzymanie odpowiedniej temperatury. Następnym etapem jest przetransportowanie narządu do szpitala.

Po odpowiednim schłodzeniu narządu przychodzi czas na jego przechowanie oraz transport do wyznaczonego miejsca. Wyróżniamy różne metody przechowywania narządów, każda posiada swoje właściwości, dzięki którym możliwy jest wybór odpowiedniej pod daną potrzebę. Natomiast najważniejszą determinantą jest czas, który ma wielki wpływ na gwarancję przeszczepu.

Najbardziej znanym patentem przechowywania jest metoda termostabilna. Najprostsza, najmniej kosztowna i do tego bardzo skuteczna technika, polegająca na zanurzeniu narządu w płynie, pamiętając przy tym o optymalnej temperaturze ($0-4^{\circ}\text{C}$). Przede wszystkim sprawdza się przy takich narządach jak trzustka czy wątroba oraz przy urazach palców, języka czy uszu. Narząd po zalaniu profesjonalnym płynem, umieszczany jest do sterylnego opakowania odpowiednich rozmiarów. Taki pojemnik zabezpieczony jest plastikowymi woreczkami, gdzie następnie lokuje się go w izotermicznym kontenerze. Termin ważności przechowywania i transportu przy tego typu metodzie nie może przekroczyć 48 godzin.

Kolejną techniką przechowywania jest metoda ciągłej perfuzji hipotermicznej, która jest dedykowana głównie przeszczepom wysokiego ryzyka takim jak nerki oraz serce. Dodatkową korzyścią tego patentu jest czas wydłużony o 24 godziny, co w sumie daje 72 godziny na przechowanie i transport narządu. Jednak jest to metoda bardziej skomplikowana, gdyż wymaga specjalistycznego urządzenia do przechowywania. Nerka umieszczana jest w hermetycznym pojemniku, które stale może kontrolować jej parametry życiowe oraz dostarcza potrzebnych do pobudzania tkanek roztworów. Minusem tej metody jest sposobność jej transportowania. Aparatura pozwalająca na przetransportowanie narządu, znajduje się w niewielu pojazdach, w krajach takich jak USA czy z wysoko rozwiniętą służbą medyczną.

W momencie, gdy chodzi o życie człowieka czas jest zdecydowanie największym problemem jak i przede wszystkim zagrożeniem. Ma on kluczowy wpływ na jakość i przechowywanie organów przeszczepowych. Jeśli czas nie zostanie odpowiednio dostosowany i się przedawni, organ nie będzie zdalny do jakiegokolwiek pomocy. Dlatego terminowy transport jest kluczem do udanego przeszczepu. Zagrożeniem dla tego typu przewozu może być również zastosowanie nieodpowiedniej tempera-

tury, która odgrywa bardzo ważne zadanie podczas transportu. Trzeba pamiętać jednak, że jest to ściśle ustalona reguła, której zaniechanie spowodowałoby obumarcie narządu. Transportowanie narządu w niesterylnym bądź uszkodzonym opakowaniu, również przyspiesza proces obumarcia oraz prowadzi do tego, że narząd nie będzie zdalny do przeszczepu. Problemem jest również brak odpowiedniej aparatury w wielu szpitalach i to nie tylko w Polsce, ale i wielu innych europejskich krajach z mniej rozwiniętą opieką zdrowotną. [19, 20]

3.3. ZAGROŻENIA W PRZEWOZIE PACJENTÓW

Transport sanitarny pacjentów odbywa się w celu:

- transportu na konsultacje,
- transportu na badania diagnostyczne,
- transportu na dalsze leczenie,
- transportu do miejsca zamieszkania po skończonej hospitalizacji,
- inne.

Do wykonania tego rodzaju transportu potrzebny jest pojazd wyposażony w sprzęt medyczny oraz odpowiedni personel medyczny. Wyróżnia się kilka rodzajów transportu.

Transport sanitarny bezpłatny - obowiązuje w przypadku konieczności podjęcia natychmiastowego leczenia w zakładzie opieki zdrowotnej (w przypadku stwierdzenia złego stanu pacjenta), z wyjątkiem stanów zagrożenia życia. Obowiązuje też w sprawach wynikających z potrzeby zachowania ciągłości leczenia (przemieszczenia między szpitalami). Dostępny jest także dla osób z dysfunkcją narządu ruchu, które wymagają odbycia leczenia w najbliższym zakładzie opieki zdrowotnej, a nie są w stanie samodzielnie się tam przemieścić. Transport bezpłatny wykonywany jest na wniosek lekarza POZ lub felczera ubezpieczenia zdrowotnego. Istnieje również możliwość skorzystania z transportu "dalekiego" POZ na tych samych warunkach, lecz z zastrzeżeniem, że odległość przewozu przekracza łącznie 120 km. W tym przypadku należy złożyć specjalny wniosek do wykonania tego rodzaju transportu.

Transport sanitarny częściowo odpłatny - finansowany w 40% ze środków publicznych. Można z niego skorzystać w przypadku stwierdzenia samodzielności w poruszaniu się, lecz przy korzystaniu ze środków transportu potrzebna jest pomoc osoby trzeciej. Obowiązuje osoby niesprawne z:

- chorobami krwi i narządów krwiotwórczych,
- chorobami nowotworowymi,
- chorobami oczu,
- chorobami psychicznymi i zaburzeniami zachowania,
- chorobami układu ruchu,
- chorobami układu oddechowego,
- inne.

Niesprawność stwierdza lekarz POZ w dokumentacji medycznej pacjenta oraz w zleceniu na przewóz. Należy więc spełniać trzy warunki, aby otrzymać częściową refundację przewozu - posiadać zlecenie od lekarza, mieć stwierdzone problemy z samodzielnym korzystaniem ze środków transportu oraz posiadać odnotowaną niesprawność z tytułu choroby wymienionej w ustawie z dnia 27 sierpnia 2004 r. o świadczeniach opieki medycznej finansowanej ze środków publicznych [3,21].

Transport sanitarny odpłatny - odbywa się w innych przypadkach niż wymienione powyżej.

W zależności od przyczyny wykonywania transportu sanitarnego pacjenta dopasowywany jest pojazd oraz personel do przewozu [22]. Istnieje:

- transport sanitarny podstawowy bez opieki medycznej,
- transport sanitarny podstawowy bez opieki medycznej z noszowym,
- transport specjalistyczny (wraz z zespołem ratownictwa medycznego),
- transport sanitarny podstawowy ze średnim personelem medycznym (ratownik lub pielęgniarka).

Pojazdy medyczne do przewozu pacjentów transportem sanitarnym powinny spełniać Polskie Normy dotyczące wyposażenia medycznego [22, 23]. Są to:

- PN – EN 1789 + A1:2011 Pojazdy medyczne i ich wyposażenie – Ambulanse drogowe,
- PN-EN 1865-1 + A1:2015-08 - Urządzenia do przenoszenia pacjenta stosowane w ambulansach drogowych.

Bezpośrednimi zagrożeniami w przewozie pacjentów są zagrożenia związane z ruchem drogowym [8, 24]. Podczas transportu pacjenta może dojść do kolizji bądź wypadku z udziałem pojazdu, w którym jest on przewożony. W przypadku kolizji może dojść do uszkodzenia sprzętu medycznego, z którego podczas przewozu korzysta pacjent. Może to spowodować zagrożenie stanu życia pacjenta, a w efekcie do przymusowego wezwania pomocy medycznej (pogotowia ratunkowego). Pojazdy sanitarne nie są całkowicie przystosowane do ratowania życia pacjenta, jak występuje to w przypadku karettek specjalistycznych z oznaczeniem "S" lub neonatologicznych z oznaczeniem "N" [8]. Wypadek zaś może spowodować urazy bądź w najgorszym wypadku doprowadzić do śmierci. Kolejnym zagrożeniem są wszelkiego rodzaju opóźnienia, spowodowane m.in. zablokowaniem dróg, remontami, wypadkami, itd. Czas przewozu może mieć znaczący wpływ na zdrowie i samopoczucie pacjenta, przez co jego stan może się pogorszyć co utrudni dalszą diagnostykę i leczenie.

4. PODSUMOWANIE

Zagrożenia występujące w transporcie sanitarnym wpływają przede wszystkim na ludzkie życie. Myśląc o dostarczaniu dóbr codziennych, jedzenia z restauracji, można być niezadowolonym z czasu oczekiwania, wady dostarczonego produktu,

nieświeżych produktów, itd. Przy transporcie materiałów biologicznych i pacjentów jakiegokolwiek zakłócenia przybierają o wiele większą wagę, bowiem skutki tych zakłóceń mogą mieć nawet śmiertelne rezultaty [25]. Dlatego tak ważne jest, aby jak najbardziej wyeliminować szansę na pojawienie się tych zagrożeń. Na ten moment specjalistyczny transport medyczny jest na odpowiednim etapie rozwoju i umożliwia eliminację wielu zagrożeń, które wpływają niekorzystnie na materiały biologiczne. Medycyna i technologia postępują w bardzo szybkim tempie, co pozwala na ciągłą dynamizację i poprawę transportu sanitarnego, tak aby wyeliminować pierwszy etap problemów w przewozie, czyli powstawanie zakłóceń. Jest to bardzo ważne, aby szukać perspektyw i nowych innowacyjnych rozwiązań, aby usprawnić transport na rzecz życia człowieka.

LITERATURA

- [1] KRAJEWSKI P., *Transport materiału biologicznego jako wyzwanie ery globalizacji*, [w:] TransLogistics 2014, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2014, 147-156.
- [2] WAŚNIEWSKI T., *Bezpieczeństwo transportu i logistyki*, Difin, Warszawa, 2021.
- [3] Ustawa z dnia 27 sierpnia 2004 r. o świadczeniach opieki zdrowotnej finansowanych ze środków publicznych (Dz.U. 2004 nr 210 poz. 2135).
- [4] <https://www.transportmedyczny.net.pl/aktualnosci/na-czym-polega-roznica-miedzy-transportem-medycznym-a-sanitarnym> (dostęp: 19.10.2022)
- [5] <https://www.rynekzdrowia.pl/Badania-i-rozwoj/Nad-Polska-lataja-drony-transportujace-probki-krwi-ze-szpitali-Widzimy-w-tym-przyszlosc,233210,11.html> (dostęp: 06.11.2022)
- [6] LORENC W., CHODNICKI M., KORDOWSKI P., NOWAKOWSKI M., *Drony transportowe – Nowa era transportu towarów i ludzi*, Autobusy, 6/2016, 627-630.
- [7] <https://www.mp.pl/szczepienia/artykuly/przegladowe/186473,dystrybucja-i-przechowywanie-szczepionek> (dostęp: 20.10.2022)
- [8] SKIBA, S., & KARAS, A., *The Changing Role of a Freight Forwarder in Modern Supply Chains*, European Research Studies, 2022, 25(1), 341-351.
- [9] SZYMCZYK K., BRZOZOWSKA A., BRZESZCZAK A., IMIOŁCZYK J., *Managing cold supply chain*, Conference: 5th IEEE International Conference on Advanced Logistics and Transport (IEEE ICALT'2016), Kraków, Czerwiec 2016.
- [10] OPRACOWANIE ZBIOROWE, *Warunki wykonywania transportu. Odpowiedzialność za przewóz towarów i osób*, Wiedza i Praktyka, Warszawa, 2017.
- [11] COLLECTIVE STUDY, *Role of Drone Technology Helping in Alleviating the COVID-19 Pandemic*, Micromachines, 2022, 13(10), 1593.
- [12] WIERGOWSKI M., REGUŁA K., PIEŚNIAK D., GALER-TATAROWICZ K., SZPIECH B., JANKOWSKI Z., Arch. Med. Sąd. Krym., 2007, LVII, 223-230.
- [13] <https://www.gov.pl/attachment/9aa4bf99-39c6-4bf3-af5a-835f4c7a299f> (dostęp: 19.10.2022)
- [14] Umowa stanowiąca regulamin warunków przewozu krwi - Świadczenie transportu przesyłki krwi i jej składników z regionalnego centrum krwiodawstwa i krwiolecznictwa do wojewódzkiego szpitala zespólnego w Skierniewicach, wojewódzki szpital zespólny w Skierniewicach, Skierniewice 2014.

- [15] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 11 grudnia 2012 r. w sprawie leczenia krwią w podmiotach leczniczych wykonujących działalność leczniczą w rodzaju stacjonarne i całodobowe świadczenia zdrowotne, w których przebywają pacjenci ze wskazaniami do leczenia krwią i jej składnikami (Dz.U. 2013 poz. 5).
- [16] https://www.zebra.com/pl/pl/solutions/industry/heal-thcare.html?fbclid=IwAR1N_8ruJmi9EojXAiODCKd7ZEVRLyOXEtArzNGU1uWO-IIct2LUwtbvXqo (dostęp: 06.11.2022)
- [17] <https://omnic.pl/pl/n/Monitorowanie-temperatury-w-lodowce-ze-szczepionkami/65?fbclid=IwAR2AMFntMkDgrJ-gMSRi-fyAZyHY3Ron376mYuE1zKfYWPiU-FLP6dyb0oEQ> (dostęp: 06.11.2022)
- [18] KRAMARZ M. PALKA K., *Zakłócenia w łańcuchu dostaw krwi*, [w:] Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej, Wydział Organizacji i Zarządzania Politechniki Śląskiej, Gliwice 2016, 233-244.
- [19] WASZKIEWICZ Ł., *Przechowywanie i transport narzędzi ludzkich przeznaczonych do przeszczepu*, Wydział Mechaniczny Politechniki Gdańskiej, 2007.
- [20] ZIÓŁKO M., DZIEDZIC D., *Transport i łańcuchy dostaw w czasie pandemii*, CeDeWu, Warszawa, 2021.
- [21] https://www.nfz-szczecin.pl/rrmoe_transport_sanitarny.htm (dostęp: 20.10.2022)
- [22] https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjy-mIL0m_H6AhVSmYsKHepOA6AQFnoECBEQAQ&url=https%3A%2F%2Fszpital.jaworzno.pl%2Fwp-content%2Fplugins%2Fdownload-attachments%2Fincludes%2Fdownload.php%3Fid%3D4794&usg=AOvVaw3pTTJVE2pIsibEbw-y6PM (dostęp: 19.10.2022)
- [23] <https://www.medfinance.pl/jakie-sa-rodzaje-karetek-w-polsce> (dostęp: 20.10.2022)
- [24] SKIBA, S., *Model ewidencji kosztów logistyki*, Logistyka, 2013 (6).
- [25] GRZELAKOWSKI, A. S., HERDZIK, J., & SKIBA, S., *Maritime Shipping Decarbonization: Roadmap to Meet Zero-Emission Target in Shipping as a Link in the Global Supply Chains*, Energies, 2022, 15(17), 6150.

RISKS OCCURRING IN SANITARY TRANSPORT

Key words: *sanitary transport, medicine, transport of blood and organs*

Sanitary transport is one of the more difficult types of transport to perform. The requirements for this branch of TSL are very restrictive, which forces people to take appropriate preparatory measures for transport. If they are not taken or are poorly executed, serious consequences can result. The concept of the article is to present the risks faced in the storage and transportation of biological materials, materials used in the provision of health services and patients. It is intended to show the problems faced and present the procedures and standards applicable to this type of transport.

Corresponding author:

e-mail: k.langowska@outlook.com, julialindstedt23@gmail.com

Adrianna OCHOCKA*

DOI: https://doi.org/10.37190/JoT2022_08

ANALIZA I DIAGNOZA SYSTEMU RECYKLINGU POJAZDÓW WYŁĄCZONYCH Z EKSPLOATACJI (SWE) W POLSCE

Słowa kluczowe: *transport, SWE, efektywność systemu w Polsce*

W pracy przedstawiono analizę i diagnozę systemu recyklingu samochodów wycofywanych z eksploatacji w Polsce. Problem polega na tym, że znaczny odsetek pojazdów jest utylizowany poza systemem, co niewątpliwie przyczynia się do szkodliwego działania na środowisko naturalne. Praca omawia uwarunkowania prawne recyklingu SWE (skrót samochody wycofane z eksploatacji), organizację systemu recyklingu, Systemy ewidencji pojazdów poddanych recyklingowi oraz propozycje uszczelnienia systemu w celu zwiększenia jego efektywności.

WSTĘP

Recykling samochodów wyłączonych z eksploatacji to złożony proces umożliwiający ponowne wykorzystanie surowców oraz bezpieczną utylizację poszczególnych elementów pojazdów. Krajowe regulacje prawne oraz przepisy europejskie dokładnie opisują warunki funkcjonowania punktów recyklingu, odpowiedzialność prawną oraz sposoby postępowania podczas przetwarzania SWE. Bezpieczny i efektywny recykling samochodów wyłączonych z eksploatacji pozwala na odzyskiwanie wciąż sprawnych, używanych części samochodu lub odzyskanie surowców w celu ich ponownego przetworzenia. Poprzez odzysk gotowych, pełnowartościowych części, możemy taniej naprawiać samochody a z punktu widzenia społecznego zaoszczędzić energię potrzebną do ich wytworzenia [1, 2]. W przypadku recyklingu surowcowego – odzyskujemy surowce wtórne, ale przede wszystkim, mamy szansę na zredukowanie ilości odpadów. W przypadku SWE prawie w 100% zagospodarujemy masę samochodu. Właściwy sposób postępowania po wyłączeniu pojazdu z eksploatacji pozwala ograniczyć szkodliwość przemysłu dla środowiska, co w obecnych czasach jest szczególnie ważnym aspektem. Już początkowy proces

* Politechnika Wrocławska

projektowania pojazdu uwzględnia recykling jako końcowy, jednocześnie bardzo istotny etap eksploatacji. Jednymi z problemów jakie pojawiają się w praktyce, są wysokie wymogi prawne stawiane punktom recyklingu oraz znaczna ilość pojazdów, która mimo wyłączenia z eksploatacji nie trafia do owych punktów. Skutkuje to przerwaniem pełnego cyklu ekologicznego i wiąże się z zanieczyszczeniem środowiska, m.in. przenikaniem płynów eksploatacyjnych do gleby. W pojeździe pozostaje również znaczna ilość surowców – szkła, stali, aluminium oraz innych metali czy tworzyw sztucznych, które po przetworzeniu mogą zostać wykorzystane ponownie. Praktyka pokazuje, że w Polsce aktualnie w eksploatacji znajduje się ok. 25 mln samochodów osobowych. Jeśli założymy, że średni okres ich eksploatacji wynosi 20 lat, oznacza to, że rocznie wycofywanych jest ponad milion dwieście tys. samochodów. Przez certyfikowane punkty utylizacji SWE przechodzi ok. 600 tys. samochodów rocznie. Warto poszukać przyczyn takiego stanu rzeczy. Obecnie, odzyskiwanie materiałów oraz ochrona środowiska to wyjątkowo ważne kwestie, dlatego też warto pochylić się nad zagadnieniem skutecznego, sprawnego systemu recyklingu samochodów wyłączanych z eksploatacji.

1. ANALIZA PRZEPISÓW PRAWNYCH (UNIJNYCH I KRAJOWYCH) W ZAKRESIE RECYKLINGU SWE

Recykling jest istotnym etapem w cyklu „życia” każdego samochodu. Polska, znajdując się w czołówce Europy pod względem stopnia zmotoryzowania, jednocześnie nazywana jest „złomowiskiem Europy”. Na Polski rynek trafia duża ilość samochodów, które ulegają częściowej rozbiórce, a następnie zostają porzucane, tworząc szkodę dla środowiska. Dlatego istotne jest, by regulacje prawne jasno określały sposób postępowania z samochodami wyłączonymi z eksploatacji przy zminimalizowaniu szkodliwości dla środowiska naturalnego. Regulacje prawne, dotyczące recyklingu samochodów wyłączonych z eksploatacji w Polsce, są zawarte w dwóch głównych, obecnie obowiązujących dokumentach: Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie pojazdów wycofanych z eksploatacji z dn. 18 września 2000 r. oraz Ustawie o recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji z dn. 20 stycznia 2005 r., wraz z wprowadzanymi później poprawkami.

Dyrektywa Unijna z 2000 r. [3] zawiera wskazania dla wszystkich państw członkowskich Wspólnoty oraz nakłada na nie obowiązki regulacji i kontroli systemu recyklingu SWE. Głównym celem Dyrektywy jest zmniejszenie ilości odpadów - redukcja jej poprzez odzysk i ponowne wykorzystanie, recykling oraz zapobieganie powstawaniu nowych. Działania te mają na celu przede wszystkim ochronę środowiska naturalnego. Znaczącym aspektem jest również zapewnienie właściwego funkcjonowania rynku motoryzacyjnego wewnątrz Wspólnoty Europejskiej. Na jej podstawie stanowione są zapisy prawa krajowego – precyzyjne zasady

działania krajowego systemu recyklingu - przede wszystkim Ustawa o recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji. [4]

We wszystkich krajach Unii Europejskiej, każdego roku generowane jest średnio około 9 mln. ton odpadów pochodzących z SWE. Dlatego też, niezbędne jest narzucenie kategoriycznych kroków w celu minimalizowania ich ilości oraz nacisk na ponowne użycie i recykling. Rolą państw członkowskich jest więc zapewnienie odpowiednich warunków do realizacji powyższych założeń – wdrożenie właściwych środków w zakresie organizacji systemu i egzekwowania przepisów na podstawie wewnętrznych ustaw i rozporządzeń. Kluczowe – wg Dyrektywy – są spójne działania realizowane we wszystkich krajach członkowskich. Dotyczą one zarówno projektowania pojazdów z uwzględnieniem późniejszego przetwarzania, ustalenia wymagań dotyczących działania podmiotów zajmujących się przetwarzaniem odpadów z SWE jak i realizacji ustalonych celów dotyczących poziomów odzysku i recyklingu. Na podstawie Dyrektywy, we wszystkich państwach członkowskich obowiązkowe jest zapewnienie możliwości bezpłatnego dostarczenia pojazdu wycofanego z eksploatacji do przeznaczonego mu punktu. Pojazdu wyłączony z eksploatacji, a więc nie posiadającego wartości rynkowej (lub wartość ujemną) jak również jego części zamiennych lub zapasowych. Jako finansujących (całkowicie lub częściowo) działanie sieci recyklingu wskazano producentów pojazdów. Z zakresu stosowania Dyrektywy są wyłączone pojazdy historyczne, posiadające wartość kolekcjonerską lub przeznaczone do muzeum – utrzymywane w bezpieczny dla środowiska sposób. [5]

Kolejnymi z założeń jest stałe rozwijanie i doskonalenie technologii recyklingu odpadów pochodzących z pojazdów wyłączonych z eksploatacji. Należy również pamiętać, że środki zapobiegawcze powinny być stosowane już na początku - podczas projektowania i produkcji pojazdów. Kontrola i nałożone ograniczenia powinny więc sięgać już tego początkowego etapu „życia” pojazdu. Głównym założeniem jest redukcja odpadów niebezpiecznych oraz zaplanowanie i ułatwienie recyklingu już na etapie. Wprowadzający pojazd są również obowiązani do zapewnienia sieci punktów odbioru pojazdów. Sieć ta, również powinna spełniać zadane kryteria – w każdym województwie, powinny znajdować się przynajmniej trzy stacje demontażu lub punkty zbierania pojazdów, przy czym stacja demontażu musi być przynajmniej jedna. Wszystkie punkty powinny znajdować się w różnych miejscowościach. Sieć może być zapewniona w ramach punktów prowadzonych przez wprowadzającego lub na podstawie umów z innymi przedsiębiorcami. [6] [7]

Aby móc monitorować stan systemu recyklingu pojazdów w Europie oraz realizację założeń, niezbędne jest gromadzenie danych w tym zakresie na terenie całej Wspólnoty. Według założeń, każde Państwo Członkowskie ma obowiązek przesyłać – co trzy lata - sprawozdania z wdrażania zapisów Dyrektywy w życie.

Celem artykułu jest analiza i diagnoza efektywności systemu recyklingu w Polsce. Przede wszystkim usprawnienie i „uszczelnienie” systemu zbierania pojazdów SWE – tak, by jak największa ilość trafiała do legalnie działających stacji demontażu.

2. ORGANIZACJA SIECI RECYKLINGU W POLSCE

2.1. STACJE DEMONTAŻU, PUNKTY ZBIERANIA I STRZĘPIARKI

Zarejestrowane stacje demontażu działając na mocy Ustawy [8] w swoim działaniu mają na celu usunięcie substancji niebezpiecznych z pojazdu oraz bezpieczny i efektywny demontaż - przede wszystkim elementów przeznaczonych do recyklingu, odzysku lub ponownego użycia. Przepisy Unijne wskazują, by obiekty zajmujące się demontażem pojazdów działały na podstawie pozwoleń, które uzyskać mogą po spełnieniu warunków dotyczących bezpiecznego demontażu oraz magazynowania. W Polsce, pozwolenie na prowadzenie stacji demontażu jest wydawane przez marszałka województwa lub regionalnego dyrektora ochrony środowiska, właściwego lokalizacji. „Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy w sprawie minimalnych wymagań dla stacji demontażu oraz sposobu demontażu pojazdów wycofanych z eksploatacji” wskazuje szczegółowe wymagania techniczne, jakie musi spełniać zakład, gdy przedsiębiorca chce uzyskać taką zgodę. Teren stacji powinien być ogrodzony, zabezpieczony przed dostępem osób postronnych oraz podzielony na trzy sektory organizacyjne – przyjmowania pojazdów, magazynowania przyjętych pojazdów oraz usuwania z nich elementów i substancji niebezpiecznych. Stacja powinna być wyposażona w separator substancji ropopochodnych i mieć wyznaczone pomieszczenie do obsługi przekazujących. Stacja ma obowiązek prowadzenia ewidencji przyjętych pojazdów oraz posiadania bezpiecznej, metalowej szafy na dokumenty. Ustawa nakłada również na przedsiębiorców obligatoryjny obowiązek przekazywania zużytych akumulatorów i baterii samochodowych właściwemu zakładowi przetwarzania. [9]

Przedsiębiorca prowadzący stację demontażu jest zobowiązany przyjmując każdy pojazd wycofany z eksploatacji, również nieposiadający cech identyfikacyjnych pojazdu (numer nadwozia, podwozia, ramy) lub dowodu rejestracyjnego. Powinien również przyjmować odpady powstałe w trakcie dokonywanych napraw. Przyjęcie pojazdu nie może wiązać się z pobieraniem opłat od właściciela, jeśli pojazd ten jest kompletny. Opłata może być jednak pobierana za przyjęcie pojazdu, szczególnie precyzuje ustawa [10]. W przypadku pojazdu niekompletnego, opłata za przyjęcie może wynosić maksymalnie 10zł za każdy kilogram brakującej masy. Oddanie pojazdu do stacji demontażu musi wiązać się z wydaniem przez stację świadectwa złomowania – dokumentu niezbędnego do wyrejestrowania pojazdu – unieważniając przy tym również dowód rejestracyjny pojazdu oraz tablice rejestracyjne (o ile „Ustawa prawo o ruchu drogowym.” nie stanowi w ich kwestii inaczej). [11]

Przedsiębiorcy prowadzący stacje demontażu są zobowiązani do osiągnięcia poziomu odzysku równego 95% masy przyjętych pojazdów w danym roku oraz recyklingu 85% przyjętej masy. [12]

Lista wszystkich zarejestrowanych stacji demontażu oraz punktów zbierania pojazdów jest stale aktualizowana przez marszałka województwa na stronie internetowej Biuletynu Informacji Publicznej. [13]. Aktualnie na terenie kraju działa 993 stacje demontażu SWE, 9 zakładów wyposażonych w strzępiarki - o łącznej mocy przerobowej na jedną zmianę przez 5 dni w tygodniu przeszło ok. 1,15 mln ton. Biorąc pod uwagę możliwość uruchomienia pracy na dwie zmiany- potencjał ten jest wystarczający jak na potrzeby kraju.

Stacje demontażu mogą przekazywać odpady do strzępienia przedsiębiorcom prowadzącym strzępiarki (młyny przemysłowe). Jak określa Ustawa [5] jest to instalacja rozdrabniająca odpady powstałe z demontażu SWE. Przy strzępieniu następuje podział materiałów na trzy frakcje - metali żelaznych, metali nieżelaznych oraz tworzyw sztucznych, szkła i innych pozostałości. Minimalne warunki techniczne, jakie musi spełniać zakład posiadający młyn przemysłowy również określa „Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy w sprawie wymagań dla strzępiarek oraz metod rozdziału odpadów na frakcje materiałowe”. Strzępiarki muszą być umieszczone na szczelnej, twardej powierzchni. Powinny też być wyposażone w urządzenia odpylające i separujące. Metale żelazne oddzielane są metodą magnetyczną, metale nieżelazne – metodą elektrodynamiczną a pozostałe frakcje metodą mechaniczno-pneumatyczną (dopuszczalne jest również oddzielanie ręczne). Zezwolenie na działanie strzępiarki wydaje marszałek województwa. Przedsiębiorca prowadzący strzępiarkę musi wykonać próbę strzępienia odpadów z pojazdów - po raz pierwszy przy rozpoczęciu działalności, po każdych zmianach konstrukcyjnych i technologicznych, a także okresowo, raz na pięć lat. Celem badania jest określenie zawartości uzyskiwanych frakcji. Na prowadzących strzępiarki spoczywa również obowiązek składania corocznych sprawozdań dotyczących ilości przetworzonych odpadów, ich uzysku a także sposobach ich zagospodarowania bądź unieszkodliwienia. W ciągu 30 dni od dostarczenia odpadów, przedsiębiorca prowadzący stację demontażu musi otrzymać informację o zawartości uzyskanych frakcji. [5]

2.2. OBOWIĄZKI KUPUJĄCYCH SAMOCHODY ORAZ SPRZEDAJĄCYCH

Właściciel pojazdu wycofanego z eksploatacji przekazuje go do punktów uprawnionych – są to wyłącznie stacje demontażu i punkty zbierania pojazdów - wraz z okazaniem dowodu rejestracyjnego oraz dokumentu tożsamości. Stacja demontażu jest zobowiązana do unieważnienia dowodu rejestracyjnego, tablic rejestracyjnych, karty pojazdu (o ile istnieje) oraz wydania zaświadczenia o demontażu. Zaświadczenie to jest sporządzane w trzech egzemplarzach – dla właściciela, dla przedsiębiorcy przyjmującego oraz trzeci, przekazany przez niego organom właściwym ostatniej rejestracji, w ciągu 7 dni. Świadczenie złomowania jest niezbędnym warunkiem wy-

rejestracji pojazdu. Właściciel pojazdu wycofanego z eksploatacji jest zobowiązany to złożenia wniosku o wyrejestrowanie pojazdu, w czasie 30 dni od otrzymania zaświadczenia. [5]

Co ważne, przepisy przewidują również karę grzywny dla właścicieli pojazdów, które nie zostają oddane do zdemontowania. Zabronione jest usuwanie substancji niebezpiecznych, części wyposażenia (również tych nadających się do ponownego użycia) poza stacją demontażu.

Wprowadzający pojazd jest zobowiązany do zapewnienia sieci odbioru, złożonej z punktów zbierania pojazdów oraz stacji demontażu. Obowiązkiem jest również zapewnienie dostępu do informacji dotyczących zastosowanych w pojeździe materiałów, sposobu ich demontażu, magazynowania oraz oceny przydatności do ponownego użycia – w okresie 30 dni od złożenia zapytania ze strony stacji demontażu. Obowiązek zapewnienia sieci odbioru pojazdów przez wprowadzającego jest ściśle regulowany Ustawą [5]

2.3. EWIDENCJA POJAZDÓW DROGOWYCH W POLSCE

System recyklingu pojazdów wyłączanych z eksploatacji opiera się na trzech głównych filarach – punktach odbioru SWE, stacjach demontażu i młynach przemysłowych zwanych strzępiarkami. Przedsiębiorcy zajmujący się wprowadzaniem pojazdów mogą wywiązać się z obowiązku, zapewniając sieć własnych stacji i punktów zbierania lub zawierając umowy bezpośrednio ze stacjami demontażu, z czego drugie rozwiązanie jest o wiele bardziej powszechne. Przykładem kompleksowej obsługi przedsiębiorców w zakresie zapewnienia sieci recyklingu jest firma Ambient, zajmująca się zbieraniem pojazdów wyłączonych z eksploatacji poprzez wdrożony w 2000 roku system ARES. Firma ta - współpracując na stałe z ponad 30 legalnie działającymi stacjami demontażu w Polsce, spełniającymi ustalone standardy ochrony środowiska – obsługuje obecnie ponad 50 przedsiębiorców wprowadzających pojazdy, działając na terenie całego kraju.

W obowiązkach stacji demontażu jest przyjęcie każdego pojazdu i wystawienie świadectwa przyjęcia pojazdu do złomowania. Oprócz tego, w każdej stacji musi być prowadzona dokumentacja potwierdzająca zawarcie umów z zakładami przetwarzania odpadów niebezpiecznych a także poświadczenie przekazania wytwarzanych przez przedsiębiorstwo odpadów do należytych temu obiektów. Każda stacja sporządza również coroczne sprawozdanie z działalności, zawierające informacje o przyjętych pojazdach a także poziomach recyklingu i odzysku. Wspomaganie cyfrowe sieci jest obecnie nieodłącznym elementem jej organizacji. Pozwalają one na sprawne prowadzenie rejestru przyjęć, dokumentowanie kolejnych etapów demontażu czy gromadzenie danych magazynowych. Przykładem systemu stosowanego w Polsce jest program SIRS, który wspomaga pracę stacji – generując zaświadczenia o przyjęciu pojazdu, sprawozdania dotyczące zagospodarowania odpadów, faktury,

ale również gromadząc w swojej bazie dane o zasobach stacji i jej wydajności. System ten pozwala również na sprawne magazynowanie części zamiennych znajdujących się na stanie, zapisując miejsce ich składowania oraz dokładne parametry. ARES natomiast, jest oprogramowaniem firmy Ambient – szeroko stosowaną bazą informacji o przyjmowanych pojazdach, posiadanych podzespołach i częściach zamiennych, ujednoliconą dla wszystkich współpracujących stacji. Za pomocą sieci internetowej wszystkie stacje należące do Ares posiadają dostęp do bazy danych. Obecnie baza części wymiennych ARES jest największym sklepem internetowym tego typu w kraju, oferującym kilkaset tysięcy części do różnych modeli aut, pochodzących ze stacji demontażu w całej Polsce. Istnieje również Międzynarodowy System Demontażu Pojazdów IDIS (International Dismantling Information System). Jest to kompleksowa, międzynarodowa baza danych, zbudowana na podstawie informacji dostarczanych przez producentów pojazdów. Zawiera on informacje o budowie, wstępnej obróbce i demontażu SWE, wskazówki dla zajmujących się nim pracowników. Dostęp do niej ma każda firma zajmująca się przetwarzaniem SWE w Unii Europejskiej. Sam system powstał z potrzeby spełnienia zobowiązań Dyrektywy przez wszystkie kraje członkowskie. Współpracują z nim wszyscy międzynarodowi producenci aut na całym Świecie. [2]

3. SZARA STREFA UTYLIZACJI SWE

Mimo obowiązujących - stale modernizowanych - przepisów dotyczących recyklingu SWE i podnoszenia standardów ochrony środowiska, należy mieć świadomość istnienia „szarej strefy” i problemów związanych z nielegalnym demontażem pojazdów.

Pojazdy takie demontowane są poza systemem recyklingu, często w sposób niebezpieczny dla środowiska i niezgodny z obowiązującymi normami a części z nich pochodzące – bez gwarancji zachowania ich bezpieczeństwa – trafiają na rynek, głównie poprzez sprzedaż internetową oraz giełdy samochodowe. Elementy nielegalnie demontowanych pojazdów mogą być również stosowane w celu legalizacji aut kradzionych lub odbudowywania aut powypadkowych, doszczętnie zniszczonych, których dalsze użytkowanie jest niedopuszczalne i niebezpieczne. Pozostałe w pojazdach m.in. odpady niebezpieczne – oleje, płyny eksploatacyjne – mogą przedostawać się do wód gruntowych a surowce zawarte w takich pojazdach nie mają szans na ponowne wykorzystanie. Nielegalna działalność związana z demontażem pojazdów jest zazwyczaj uwarunkowana ekonomicznie. Uzyskanie zezwolenia na prowadzenie legalnej działalności wiąże się z inwestycją finansową oraz włożeniem wysiłków, w celu spełnienia norm zawartych w przepisach krajowych i europejskich (zakup specjalistycznych sprzętów, bezpieczne powierzchnie składowania czy odprowadzania substancji niebezpiecznych). Według badań FORS, demontaż pojazdu w szarej strefie jest średnio o 500 - 600zł tańszy niż w legalnie działającej stacji [4].

Wiążą się z tym gorsze, niespełniające standardów warunki w jakich demontaż jest wykonywany, często przez nieprzeszkolony personel. Prowadzenie nielegalnej działalności wiąże się również z brakiem odprowadzania podatków oraz nielegalnym zatrudnianiem pracowników. Niestety, wyższe koszty legalnej działalności przekładają się również na wyższe ceny części zamiennych pochodzących z takich przedsiębiorstw w porównaniu do tych z „czarnego rynku”. Jest to kolejnym – negatywnym – czynnikiem napędzającym działalność szarej strefy. Poza pojazdami demontowanymi w szarej strefie, znacząca ilość pojazdów w kraju jest porzucana przez właścicieli – na pasach drogowych, parkingach czy też prywatnych terenach. Często są to samochody niesprawne technicznie. O ile na terenach dróg publicznych Ustawa z dnia 2 czerwca 1997 r. - Prawo o ruchu drogowym pozwala na odholowanie pojazdu bez tablic rejestracyjnych lub pojazdu długotrwale porzuconego, o tyle samochody na posesjach prywatnych mogą pozostawać bez kontroli przez wiele lat. Odholowaniem porzuconego pojazdu zajmuje się straż miejska – jeśli po sześciu miesiącach właściciel pojazdu nie zgłosi się po pojazd, przechodzi on w ręce gminy a ta może odesłać go do legalnego zezłomowania.

4. STRUKTURA WIEKOWA POJAZDÓW DROGOWYCH W POLSCE

Według danych Głównego Urzędu Statystycznego park pojazdów zarejestrowanych w Polsce w 2019 roku wynosił prawie 31,4 mln egzemplarzy. Bardziej miarodajnym sposobem określenia ilości aut, jakie są obecnie w użyciu w naszym kraju, może być analiza ilości przeprowadzonych badań technicznych pojazdu lub wykupionych polis ubezpieczenia OC komunikacyjnego. Oba należą bowiem – na mocy Ustawy prawo o ruchu drogowym - do obowiązkowych dla każdego pojazdu dopuszczonego do ruchu. Liczba obowiązkowych badań technicznych, jakie zostały wykonane w tym samym roku to nieco ponad 18,5 mln. Dane dotyczące liczby badań technicznych, pochodzące z bazy Centralnej Ewidencji Pojazdów i Kierowców przedstawia (tabela 5.1.). Wynika z nich, że przeszło pół miliona pojazdów otrzymało negatywny wynik badania. Właściciel pojazdu może w takiej sytuacji podjąć się naprawy pojazdu, by uzyskać ponowne dopuszczenie do ruchu. Część z tych pojazdów - ze względu na zły stan techniczny – pozostaje jednak w stanie niedopuszczenia do ruchu. Taki pojazd może zostać przez właściciela wyrejestrowany i trafić do legalnej stacji demontażu lub też zostać porzucony, zalegać w stanie „zawieszenia” przez wiele lat. Przyczyną takiego negatywnego postępowania może być często niedbałość oraz brak konsekwencji prawnych, jakie mógłby ponosić właściciel takiego pojazdu. Dane dotyczące corocznych badań technicznych pojazdów zaczęły być gromadzone w bazie CEPiK (Centralna Ewidencja Pojazdów i Kierowców) dopiero w 2018 roku, po wprowadzeniu nowego sposobu organizacji i rozwinięciu bazy.

Tab. 1. Liczba badań technicznych pojazdu wykonanych w 2019 roku . [10]
 Tab. 1. Amount of technical tests made in 2019 [12]

Badania techniczne	Liczba [tys.]
Pozytywne	18 037
Negatywne	546
Razem	18 583

Odnosząc liczbę wykonanych badań – a więc i przybliżoną liczbę pojazdów, jakie są w bieżącym użyciu – do całkowitej liczby aut zarejestrowanych należy wspomnieć, że pierwszy przegląd techniczny po zakupie auta z salonu należy wykonać dopiero po trzech latach, a kolejny - po pięciu. Ze względu na to, w 2019 roku z obowiązkowego badania technicznego zwolnione było 2,32 mln pojazdów. Zestawienie ilości kupowanych fabrycznie nowych aut, z jakich wynika ta wartość przedstawia (tabela 5.2.). Porównanie ilości wykonanych badań technicznych (oraz pojazdów zwolnionych z badania) z całkowitą liczbą aut zarejestrowanych w kraju przedstawia tabela 5.3. Liczba pojazdów, jakie są zarejestrowane, a których przegląd techniczny nie został wykonany to – w 2019 roku - prawie 10,5 mln egzemplarzy. Do tej grupy zaliczają się do niej m.in. pojazdy zabytkowe z przeglądem bezterminowym czy też takie, których właściciele świadomie nie zgłosili się na badanie w terminie – jednak stanowią oni tylko niewielką część przedstawionej wartości. Jak przedstawia rys. 5.1. różnica ta stanowi około 30% całego parku motoryzacyjnego i jest na tyle istotna, że świadczy o znaczącym problemie – zarówno w systemie ewidencji jak i sieci recyklingu.

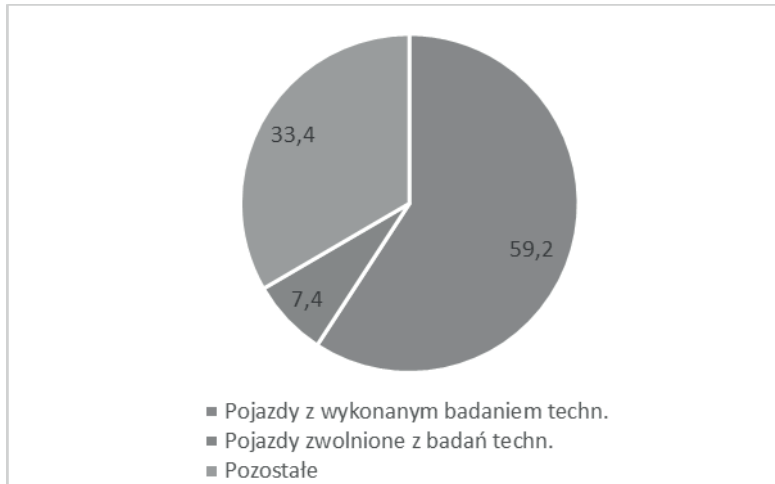
Tab.2. Liczba pojazdów samochodowych fabrycznie nowych, rejestrowanych po raz pierwszy w Polsce [12]

Tab.2. Number of brand new motor vehicles registered for the first time in Poland [12]

Rok rejestracji	Liczba [tyś.]
2015	435
2017	582
2018	644
2019	662
Razem	2 323

Tab. 3. Pojazdy zarejestrowane a poddane badaniom technicznym w Polsce w 2019 roku [10, 12]
 Tab.3. Vehicles registered and technically tested in Poland in 2019 [10, 12]

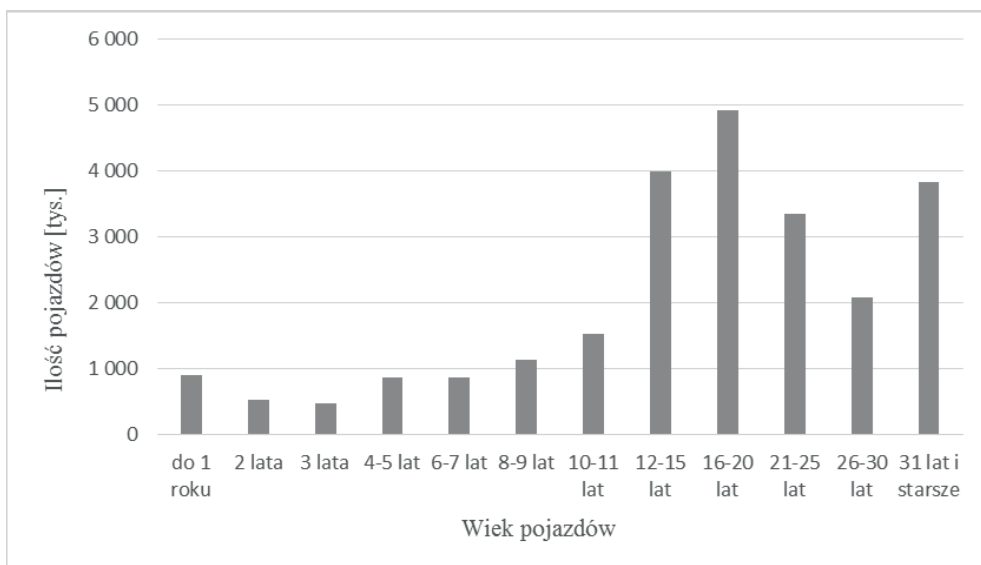
	Liczba [tyś.]
Park pojazdów w Polsce	31 389
Pojazdy z wykonanym badaniem techn.	18 583
Pojazdy zwolnione z badań techn.	2 323
Różnica	10 483



Rys. 5.1. Udział procentowy pojazdów poddanych badaniom technicznym i zwolnionych z niego w 2019 roku w całkowitej liczbie pojazdów zarejestrowanych. Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS [10] i CEPiK [12]

Fig. 5.1. The percentage of vehicles subjected to and exempted from technical inspection in 2019 in the total number of vehicles registered. Source: Own elaboration based on GUS [Polish Central Statistical Office] [10] and CEPiK [Central Vehicle and Driver Register] [12] data.

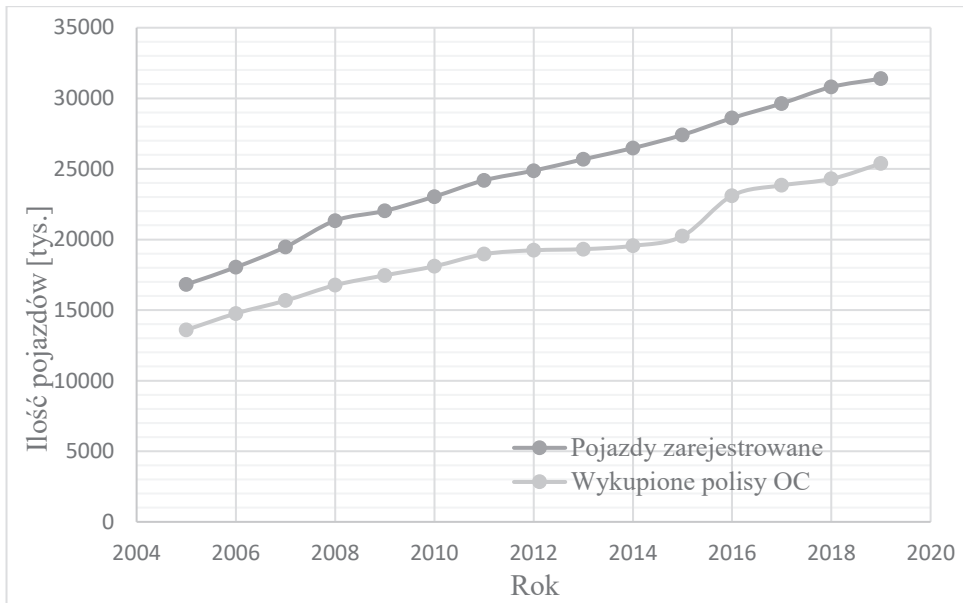
Przyglądając się bliżej danym dotyczącym wieku pojazdów z rys. 5.2., w 2019 roku zarejestrowanych było prawie 4 mln aut wyprodukowanych w roku 1988 i wcześniej. Tych z latami produkcji 1989 - 1993 przeszło 2 mln. Porównując te wartości do ogólnej struktury wiekowej parku pojazdów oraz obserwacji tego, jakie samochody spotykamy w ruchu drogowym w naszym otoczeniu – mało prawdopodobne jest rzeczywiste istnienie takiej ilości bardzo starych. Wiek przeważającej ilości pojazdów, jakie trafiają obecnie do demontażu to 20 lat – jest to średnia długość eksploatacji samochodu w Polsce. Skąd więc tak znacząca ilość pojazdów ponad trzydziestoletnich?auta osiągnące 30 lat mogą być rejestrowane jako zabytkowe – obecnie, takich pojazdów jest w Polsce jedynie około 50 tysięcy. Nie każdy właściciel może wyrażać chęć, by nadać taki status swojemu samochodowi – jednakże, ta tartość jak i codzienne obserwacje wskazują na znaczny dysonans między stanem rzeczywistym a tym, co znajduje się w ewidencji pojazdów. Najprawdopodobniej, większość tak wiekowych pojazdów – mimo, że nadal zarejestrowana - już dawno przestała istnieć. Część jeszcze przed 2004 rokiem, kiedy to Polska przystępując do Unii Europejskiej musiała zacząć sprawować kontrolę nad systemem recyklingu SWE. Pewna ilość zalega również na posesjach prywatnych właścicieli – nieużytkowana, niszcząca.



Rys. 5.2. Udział pojazdów ze względu na wiek. Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS [10] i CEPiK [12]

Fig. 5.2. Share of vehicles by age. Source: Own elaboration based on GUS [Polish Central Statistical Office] [10] and CEPiK [Central Vehicle and Driver Register] [12] data.

Innym sposobem oszacowania rzeczywistej ilości pojazdów używanych w naszym kraju jest zbadanie rynku sprzedaży polis ubezpieczenia odpowiedzialności cywilnej kierowcy. Każdy pojazd musi posiadać taką polisę – wykupowaną co roku - aby legalnie poruszać się po drogach. Z corocznych raportów Polskiej Izby Ubezpieczeń wynika, że w 2019 roku zawarto prawie 25,4 mln umów ubezpieczenia OC kierowcy. Rok wcześniej było to o ponad milion mniej – 24,3 mln. Rys. 5.3. obrazuje stale rosnącą liczbę kupowanych polis OC, która związana jest z dynamicznie rosnącą ilością zarejestrowanych w naszym kraju pojazdów.



Rys. 5.3. Ilość umów ubezpieczenia OC kierowcy zawieranych każdego roku w porównaniu z ilością zarejestrowanych aut w Polsce w latach 2005-2019. Źródło: Opracowanie własne na podstawie GUS [11] i PIU

Fig. 5.3. The number of third-party insurance contracts a driver concludes each year compared to the number of registered cars in Poland between 2005 and 2019. Source: Own elaboration based on GUS [Polish Central Statistical Office] [11] and PIU [Polish Chamber of Insurance] data.

Widoczna na rys. 5.3. dysproporcja między ilością zawartych umów a parkiem samochodowym w 2019 roku liczy około 6 mln egzemplarzy. W 2018 roku natomiast wartość ta stanowiła ponad 6,5 miliona. Jest to wynik niższy w porównaniu do wartości przeszło 10 mln aut, jaka wynika z wcześniejszej oceny na podstawie ilości badań technicznych. Chcąc jednak odnieść dane ubezpieczeniowe do ilości użytkowanych pojazdów, w analizie danych trzeba przyjąć znaczny margines błędu. Między innymi - ze względu na sprzedaż aut używanych na terenie kraju. Przepisy prawne dotyczące ubezpieczeń w Polsce wskazują, że umowa ubezpieczenia OC może zostać zerwana przed czasem – między innymi - w przypadku zmiany właściciela pojazdu. Kupujący może zawrzeć wówczas nową, kolejną w ciągu roku umowę dla danego pojazdu. Polisy ubezpieczenia odpowiedzialności cywilnej nie muszą być wykupione dla pojazdu, który nie jest obecnie w użytkowaniu (dotyczy to m.in. pojazdów zabytkowych).

Jak wynika z wcześniejszej analizy a także z szacunków CEPiK, około 6 mln aut powinno być wyrejestrowane - a nie jest. Dotychczas, prawo nie regulowało ścisłego obowiązku rejestracji i wyrejestrowania auta. Jednak wraz z początkiem 2020 roku zaczęły obowiązywać zmiany w Ustawie z dn. 20 czerwca 1977 roku Prawo o ruchu

drogowym. Nałożony został obowiązek przerejestrowania pojazdu - powiadamiania urzędu o zakupie i sprzedaży pojazdu w ciągu 30 dni od daty znajdującej się w umowie kupna - sprzedaży.

5. EFEKTYWNOŚĆ ODZYSKU I RECYKLINGU ODPADÓW Z SWE W POLSCE

Narzucone przez Dyrektywę UE [5] minimalne poziomy odzysku i recyklingu pojazdów od 2015 r. wynoszą odpowiednio 95% i 85% dla wszystkich krajów członkowskich. Z danych Eurostat przedstawionych na rys. 5.7. i rys. 5.8. wynika, że w 2018 roku wskaźnik skuteczności odzysku odpadów pochodzących z SWE w Polsce wyniósł 95,3%. Dla procesów recyklingu było to 93,4%. W tym samym roku, średnia europejska równa była odpowiednio 92,9% oraz 87,3% [5, 1]. Sposób obliczania poziomów odzysku jak i recyklingu został opisany w rozdz. 1.2. pracy.

Porównując wyniki osiągnięte w kraju w zestawieniu z wartościami z innych państw europejskich można stwierdzić, że skuteczność przetwarzania i recyklingu odpadów SWE w Polsce jest zadowalająca i wypada stosunkowo dobrze na tle reszty. Głównym problemem systemu recyklingu jest przede wszystkim jego organizacja i „szczelność” – odpady pochodzące z pojazdów, trafiające do stacji demontażu działających zgodnie z prawem ulegają skutecznemu przetworzeniu.

W Polsce działa obecnie dziewięć młynów przemysłowych. Zakładając, że średnia wydajność strzeżniarki to 70 ton na każdą godzinę pracy - rocznie każda z nich przetwarza około 140 tys. ton złomu (osiem godzin pracy dziennie, przez 5 dni w tygodniu). Osiem strzeżniarek o wydajności na tym poziomie to już ponad 1,1 mln ton, a oprócz nich działa również dziewiąty młyn o wydajności do 400 ton/h (i sam pracując w pełni swojej wydajności może w ciągu roku przetworzyć prawie 1 mln ton odpadów). Warto dodać, że do strzeżenia nie trafia cały oddanego do demontażu – około 20 – 50% jego masy jest usuwane w stacji demontażu. Pomimo, że złom trafiający do strzeżniarek nie pochodzi jedynie z pojazdów wycofanych z eksploatacji można stwierdzić, że obecna liczba przedsiębiorstw w tym sektorze jest wystarczająca i jest w stanie sprostać rosnącej liczbie pojazdów złomowanych każdego roku.

6. SFORMUŁOWANIE KIERUNKÓW DZIAŁANIA ZWIĘKSZAJĄCYCH EFEKTYWNOŚĆ SYSTEMU

Kluczowym aspektem w podniesieniu jego efektywności jest przede wszystkim usprawnienie i „uszczelnienie” systemu zbierania pojazdów SWE – tak, by jak największa ilość trafiała do legalnie działających stacji demontażu. Działania w tym kierunku można ująć w kilku punktach [1]:

1. Uporządkowanie i rozbudowa systemu CEPiK. Aktualna baza CEPiK wydaje się być skutecznym narzędziem do sprawowania skuteczniejszego nadzoru nad pojazdami wyłączanymi z eksploatacji – po wprowadzeniu stosownych zmian organizacyjnych i rozbudowaniu działania:

2. Bieżąca kontrola nad stanem użytkowania – poprzez stały nadzór nad pojazdami, które nie dotarły na przegląd techniczny – na przykład, po upływie roku od utraty ważności badania. Obecnie w ewidencji pojazdów znajduje się najprawdopodobniej kilka milionów pojazdów, które zostały zdemontowane już kilka- kilkanaście lat temu. Weryfikacja statusu pojazdów (szczególnie tych wiekowych, ponad 25-letnich) przeprowadzona na szeroką skalę pozwoliłaby na uporządkowanie systemu i zasobów ewidencji, która nie została zaktualizowana m.in. po dołączeniu Polski do UE i zorganizowaniu systemu recyklingu pojazdów. Powinien być to pierwszy krok w kierunku polepszenia skuteczności systemu CEPiK.

3. Aby uniknąć sprzedaży na rynku wtórnym aut doszczętnie zniszczonych, powypadkowych a także handlu samymi dokumentami, należałoby również rozszerzyć bazę danych o informacje pochodzące od policji czy też ubezpieczycieli. W przypadku spalenia pojazdu, zajścia wypadku skutkującego szkodą całkowitą pojazdu i tym podobnych zdarzeniach, zakład ubezpieczeń mógłby orzekać o zakwalifikowaniu pojazdu jako odpad i skierowaniu go do złomowania.

4. Częściowy dostęp do baz CEPiK udzielony stacjom demontażu, umożliwiający wyrejestrowanie pojazdu na miejscu byłby zarówno ułatwieniem dla właścicieli pojazdów jak i dodatkowym ogniwem nadzoru nad systemem ewidencji pojazdów. Przyjmujący pojazd do złomowania byłby w stanie zweryfikować, czy – na przykład - pojazd jest zarejestrowany w Polsce lub czy nie został niedawno sprzedany. Wyrejestrowanie pojazdu na stacji demontażu wiązałoby się z pozostawieniem tam również tablic rejestracyjnych pojazdu – unieważnionych w chwili zdania pojazdu.

5. System kaucji recyklingowej - w postaci opłaty depozytowej w wysokości 1000 do 2000 zł, pobieranej przy zakupie nowego auta, która podlegałaby zwrotowi przy kasacji auta w autoryzowanej stacji demontażu lub punkcie zbierania aut. Taka forma „premi” za złomowanie pojazdu w legalnych punktach motywowałaby właścicieli do oddania pojazdu od razu po zakończeniu jego eksploatacji. Opłata taka byłaby także pobierana przy rejestracji aut sprowadzanych z zagranicy.

6. Podniesienie świadomości obywateli. Ostatni właściciel pojazdu jest odpowiedzialny za to, dokąd trafi pojazd kończący swoją eksploatację. Zwiększenie świadomości obywateli w zakresie recyklingu pojazdów mogłoby się przyczynić m.in. do zmniejszenia skali działalności „szarej strefy”.

7. PODSUMOWANIE

Skuteczny system recyklingu samochodów wyłączanych z eksploatacji jest obecnie niezbędny, by sprostać coraz większej liczbie pojazdów użytkowanych zarówno

w kraju, jak i w całej Europie. W Polsce ogólny, coroczny wzrost liczby zarejestrowanych pojazdów utrzymuje się od kilku lat na poziomie około miliona egzemplarzy. Samochody te, po zakończeniu eksploatacji stanowią odpad – niebezpieczny dla środowiska, zarówno ze względu na substancje w nim zawarte, ale również całościowo, przyczyniając się do wzrostu liczby odpadów zanieczyszczających nasze otoczenie. Niezbędne jest więc skuteczne przetwarzanie wszystkich złomowanych pojazdów w taki sposób, by ograniczyć ilość składowanych odpadów do niezbędnego minimum. Biorąc pod uwagę rosnącą od kilkunastu lat liczbę użytkowanych pojazdów oraz średni, obecny wiek złomowania pojazdu (20 lat) system recyklingu SWE stoi obecnie przed dużym wyzwaniem. Skuteczne przetwarzanie powstających w ten sposób odpadów jest jedynym sposobem uchronienia środowiska przed „zasypaniem” go wrakami wyeksploatowanych samochodów. Działaniom tym służą odpowiednie przepisy [13, 8]. Mimo tego istnieje tzw. „szara strefa”, która w pewnym stopniu niweczy podejmowane działania w zakresie ochrony środowiska naturalnego. W pracy zaproponowano kilka rozwiązań (punkt 6), których celem jest uszczelnienie systemu recyklingu SWE.

LITERATURA

- [1] Ochocka A.: Analiza i diagnoza systemu recyklingu samochodów wycofanych z eksploatacji(SWE) w Polsce. Praca inżynierska wykonana pod kier. Dr inż. S. Kwaśniewskiego. Politechnika Wrocławska, Wrocław 2021.
- [2] Rečko K. Recykling metali żelaznych i nieżelaznych pozyskanych z demontażu pojazdów wycofanych z eksploatacji. Autobusy 6/2014
- [3] Szoltysek J. - Logistyka zwrotna- Revers Logistics. Wyd. ILiM Poznań 2009
- [4] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2000/53/WE z dnia 18 września 2000r. w sprawie wyeksploatowanych pojazdów.
- [5] Ustawa z dnia 20 stycznia 2005 r. o recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji. Dz. U. z 2015 r. poz. 140. (Tekst ujednolicony Dz. U. z 2019 r. poz. 1610, z 2020 r. poz. 284.)
- [6] Ustawa z dnia 2 czerwca 1997 roku. Prawo o ruchu drogowym. Dz. U. 2005 nr 108 poz. 908
- [7] Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 28 lipca 2005 r. w sprawie minimalnych wymagań dla stacji demontażu oraz sposobu demontażu pojazdów wycofanych z eksploatacji. Dz.U. 2005 nr 143 poz. 1206
- [8] Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 12 października 2005 r. w sprawie minimalnych wymagań dla strzępiarek oraz metod oddziaływanie odpadów na frakcje materiałowe. Dz.U. 2005 nr 214 poz. 1807
- [9] Baza danych Centralnej Ewidencji Pojazdów i Kierowców CEPiK. Dostęp 29.11.2020r. pod adresem <http://www.cepik.gov.pl/>
- [10] Baza danych Eurostat. End-of-life vehicles – reuse, recycling and recovery (2020). Dostęp 30.11.2020r. pod adresem: http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_waselvt&lang=en
- [11] Baza danych Głównego Urzędu Statystycznego – „Bank Danych Lokalnych. Transport i łączność – Pojazdy” Dostęp 29.11.2020 pod adresem: <https://bdl.stat.gov.pl/BDL/dane/podgrup/temat/8/239/2825>

- [12] Strona internetowa Głównego Urzędu Statystycznego – „Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej 2019”. Dostęp 29.11.2020r. pod adresem: <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/roczniki-statystyczne/roczniki-statystyczne/rocznik-statystyczny-rzeczypospolitej-polskiej-2019,2,19.html>
- [13] Strona internetowa „Kapral – Car”. Dostęp 20.11.2020r. pod adresem: <http://kapral-car.pl>

ANALYSIS AND DIAGNOSIS OF THE END-OF-LIFE VEHICLE (EOL) RECYCLING SYSTEM IN POLAND

Keywords: *transport, EOL, system efficiency in Poland*

The paper presents an analysis and diagnosis of the end-of-life vehicle recycling system in Poland. The problem is that a significant percentage of vehicles are disposed of outside the system, which undoubtedly contributes to the harmful effects on the environment. The paper discusses the legal conditions of end-of-life car recycling, the organization of the recycling system, recycled vehicle registration systems and proposals for improving the system in order to increase its efficiency.

Corresponding author:
e-mail: ochocka.adrianna@gmail.com

Ewa MARDEUSZ¹

DOI: https://doi.org/10.37190/JoT2022_09

SILNIKI SPALINOWE W DOBIE ELEKTROMOBILNOŚCI

Słowa kluczowe: *silniki spalinowe, silniki elektryczne, elektromobilność, metody szeregów czasowych*

W artykule zostały omówione główne źródła napędu pojazdów osobowych stanowiących element transportu drogowego. Dokonano klasyfikacji silników spalinowych i elektrycznych ze względu na wybrane kryteria. Dokonano przeglądu regulacji prawnych skorelowanych z rozwojem elektromobilności. Na podstawie dostępnych danych w oparciu o model regresji liniowej oszacowano liczbę zarejestrowanych pojazdów elektrycznych i urządzeń wyposażonych w silniki spalinowe na okres listopad 2022 – styczeń 2023. Po przeprowadzonym przeglądzie literaturowym i analizie wyciągnięto wnioski.

1. WSTĘP

Pojęcie transportu jest definiowane jako „*proces technologiczny wszelkiego przenoszenia na odległość, czyli przemieszczania osób przedmiotów lub energii*” [1]. Integracja elementów tworzących systemy transportowe pobudza rozwój gospodarczy regionów, maksymalizuje poziom życia mieszkańców i przyczynia się do wzrostu PKB. W literaturze przedmiotu identyfikuje się zdywersyfikowane grupy klasyfikacji systemów transportowych. Ze względu na kryterium środowiskowe można wyróżnić systemy transportu drogowego, wodnego i powietrznego. Transport drogowy jest uznawany za najczęściej wykorzystywaną metodę translokacji. Średni udział transportu drogowego w przewozach towarowych w latach 2017 – 2021 wynosił 88,8 %. Elementem warunkującym dynamikę udziału systemów transportu drogowego jest koncentracja na rozwoju obszarów ekonomicznych, prawnych i technicznych. Globalizacja rynku i uwarunkowania środowiskowe wymagają wprowadzania nieustannych zmian w obszarze technicznym transportu drogowego. Istotną rolę odgrywają aspekty związane z elektryfikacją pojazdów eksploatowanych w ramach realizacji zadań transportowych. W ostatnich latach na rynku transportowym można zaobserwować systematyczny wzrost liczby pojazdów wyposażonych w silniki elektryczne, które stanowią element konkurencyjny dla tradycyjnych (spalinowych) roz-

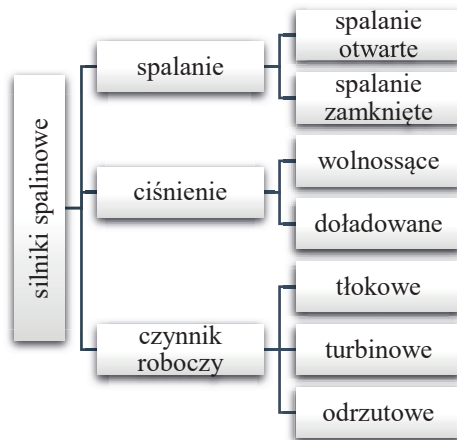
¹ Politechnika Wrocławska, KN Logistics

wiązań. Podstawowym celem artykułu było zidentyfikowanie głównych źródeł napędu pojazdów osobowych i regulacji prawnych skorelowanych z ich rozwojem. Dodatkowo zaprezentowano prognozę ilościową wybranych źródeł napędu na trzy kolejne okresy.

2. SILNIKI SPALINOWE I ELEKTRYCZNE JAKO GŁÓWNE ŹRÓDŁA NAPĘDU W POJAZDACH OSOBOWYCH

Przemysł motoryzacyjny jest uznawany za jedną z najważniejszych gałęzi przemysłu ze względu na kryterium przychodów. Zmianie ulega nie tylko wygląd zewnętrzny, ale także wyposażenie. Jednym z elementów będących przedmiotem badań w zakresie konstrukcyjnym samochodów osobowych jest źródło napędu.

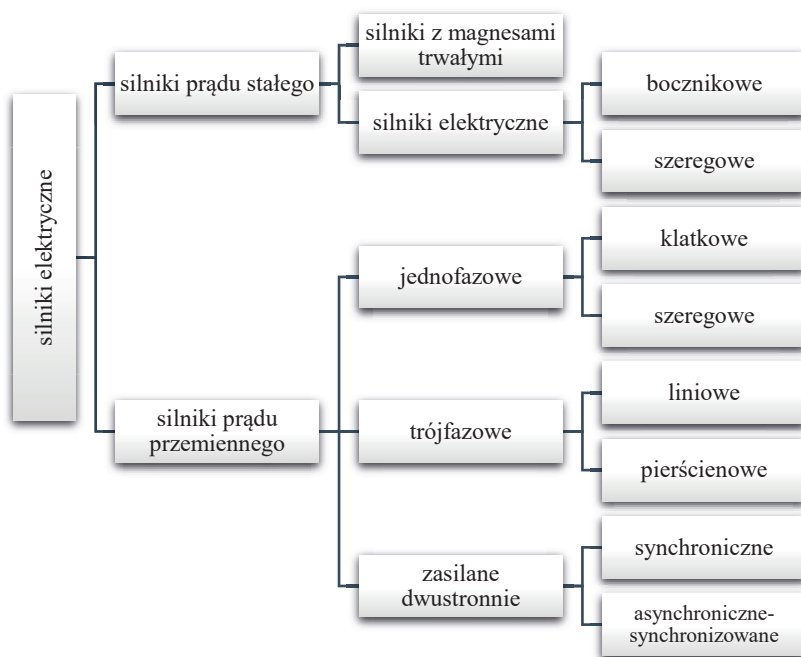
Za podstawowe źródło napędu w pojeździe uznaje się silniki spalinowe. Pierwsze silniki spalinowe znajdowały zastosowanie na przełomie XVII wieku. Wzrost zainteresowania omawianym elementem konstrukcyjnym był jednym z czynników wspierających rewolucję przemysłową. W 1892 roku została opracowana zasada funkcjonowania silnika spalinowego przez Rudolfa Diesel [2]. Silniki spalinowe są definiowane jako grupa silników cieplnych, w których zachodzi przemiana energii cieplnej na energię mechaniczną. Na rysunku 1 zaprezentowano podstawowe rodzaje omawianych urządzeń.



Rys. 1. Klasyfikacja silników spalinowych [2]
Fig. 1. Classification of internal combustion engines [2]

Klasyfikacja zaprezentowana na rysunku 1 obejmuje trzy kategorie silników spalinowych, w których uwzględniono rodzaj spalania, ciśnienie w kolektorze ssącym i czynnik roboczy.

W ostatnich latach na rynku można zaobserwować wzrost zainteresowania silnikami elektrycznymi. Pierwsze modele omawianego typu rozwiązania pojawiły się już 1837 roku [3]. W silniku elektrycznym zachodzi przemiana energii elektrycznej na energię mechaniczną. Podstawową klasyfikację silników elektrycznych ze względu na sposób zasilania zaprezentowano na rysunku 2.



Rys. 2. Klasyfikacja silników elektrycznych ze względu na sposób zasilania [4]

Fig. 2. Classification of electric motors by power source [4]

Klasyfikacja silników elektrycznych ze względu na rodzaj zasilania obejmuje dwie główne kategorie omawianych urządzeń: silniki prądu stałego i silniki prądu przemiennego.

Silniki spalinowe mogą stanowić główne źródło napędu w pojazdach osobowych. Charakteryzują się wysoką sprawnością, prostą budową i gotowością do pracy w krótkim czasie. Niemniej jednak powszechne stosowanie omawianej kategorii napędu powoduje emisję szkodliwych substancji do środowiska. Dyrektywy unijne wymuszają stosowanie technologii ograniczających emisję szkodliwych substancji. Zadania te mogą być realizowane przez reaktory trójfunkcyjne, układy recyrkulacji spalin i filtry cząstek stałych. Silniki eklektyczne znajdują również powszechne zastosowanie w przemyśle motoryzacyjnym. Producenci z uwagi na liczne wytyczne Unii Europejskiej coraz częściej podejmują działania mające na celu elektryfikację

floty transportowej. Maksymalizacja zainteresowania silnikami elektrycznymi koreluje także ze wsparciem finansowym poszczególnych krajów w obszarze zakupu. Przykładowo Francja pokrywa około 30% kosztu nabycia pojazdu z silnikiem elektrycznym. Dodatkową zaletą jest stosowanie wsparcia finansowego w postaci likwidacji opłat drogowych i parkingowych.

3. UWARUNKOWANIA PRAWNE ROZWOJU ŹRÓDEŁ NAPĘDU

Aspekty środowiskowe w znaczący sposób wpływają na rodzaj wykorzystywanych źródeł napędu w pojazdach. Elementem wspierającym działania w zakresie ekologii są krajowe i europejskie regulacje prawne.

W tabeli 1 zaprezentowano główne europejskie uwarunkowania prawne wpływające na rodzaj stosowanych źródeł napędów w pojazdach osobowych.

Tab. 2. Wybrane europejskie regulacje prawne dotyczące źródeł napędu w pojazdach osobowych [5, 6]

Tab. 2. Selected European regulations on power sources in passenger vehicles [5, 6]

Element	Opis
Europejski standard emisji spalin	Normy określające poziom dopuszczalnych emisji spalin w nowych pojazdach. Dotyczą głównie emisji tlenków azotu, cząstek stałych, węglowodorów i tlenków węgla. Znajdują zastosowanie od 1993 roku w oparciu o serię Dyrektyw Europejskich. Kolejne normy charakteryzują się zwiększeniem restrykcyjności.
Europejski Zielony Ład	Pakiet elementów ustawodawczych, których głównym celem jest dostosowanie obszarów energetycznych, klimatycznych, transportowych i podatkowych w celu ograniczenia emisji gazów cieplarnianych do poziomu 55%.
Biała Księga Transportu	Koncepcja utworzenia jednolitego europejskiego obszaru transportu – dążenie do osiągnięcia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu.
Elektromobilne plany Unii Europejskiej	Plany obejmujące zmiany w zakresie rozwoju elektromobilności. Głównym jej celem jest dekarbonizacja sektora transportu drogowego.

Przedstawione w tabeli 2 elementy prawne wpływają na rodzaj wykorzystywanego źródła napędu w pojazdach osobowych. W listopadzie 2022 roku Komisja Europejska zaprezentowała kolejną propozycję dla normy Euro 7. Koncentruje się ona na ograniczeniach emisji dla silników spalinowych jak również wyznaczeniu minimalnej trwałości baterii elektrycznych stosowanych w omawianych środkach transportu [5]. Dodatkowo 14 lipca 2022 roku opublikowane zostały kolejne akty prawne w zakresie Europejskiego Zielonego Ładu. Koncepcja Fit for 55 zakłada, że emisja

gazów ciepłarniach emitowanych przez pojazdy osobowe powinna zostać zredukowana o ponad 37%. Dokument ma wspierać także zastosowanie mechanizmów minimalizujących czas wymiany floty na niskoemisyjne środki transportu. Elektromobilne plany Unii Europejskiej obejmują m.in. aspekty związane z dyrektywą baterijną i rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych [6].

Zgodnie z raportem NIK opublikowanym w 2020 roku głównymi elementami ustawodawczymi w Polsce związanymi ze źródłem napędu są rządowe dokumenty strategiczne i ustawy oraz akty wykonawcze [7]. Wśród głównych Polskich regulacji prawnych skorelowanych z rodzajem wykorzystywanych źródeł napędu można wskazać [7]:

- Ustawę z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych – dokument opracowany z uwagi na dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE z dnia 22 października 2014 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych. W kontekście źródeł napędu omawiany dokument wspiera stosowanie elektrycznych silników spalinowych poprzez rozwój infrastruktury i wprowadzanie benefitów dla użytkowników niskoemisyjnych środków transportu.
- Plan Rozwoju Elektromobilności – opracowany przez Ministerstwo Energii, koncentruje się na upowszechnieniu stosowania pojazdów elektrycznych. Krajowe Plany Rozwoju Elektromobilności zakładają również stabilizację sieci elektroenergetycznej. Cele wskazane w omawianym dokumencie powinny zostać zrealizowane do końca 2025 roku.

Dodatkowymi regulacjami prawnymi wpływającymi na rodzaj stosowanych źródeł napędu w pojazdach osobowych są Krajowe Ramy Polityki. Elementy ustawodawcze koncentrują się nie tylko na popularyzacji silników elektrycznych. W zakresie wymogów dotyczących emisji zanieczyszczeń silników spalinowych istotnym dokumentem są m.in. Rozporządzenia Ministra Gospodarki w sprawie szczególnych wymagań dla silników spalinowych w zakresie ograniczenia emisji zanieczyszczeń gazowych i cząstek stałych przez te silnik.

4. PROGNOZA ILOŚCIOWA ŹRÓDEŁ NAPĘDU W POJAZDACH OSOBOWYCH W OPARCIU O MODEL REGRESJI LINIOWEJ

Przedmiotem analizy zostały pojazdy osobowe (zarejestrowane w Polsce) wyposażone w silniki z napędem elektrycznym i tradycyjne silniki spalinowe. Wnioskowanie poddano grupę samochodów elektrycznych obejmujących samochody typu BEV i PHEV. W przypadku pojazdów wyposażonych w silniki spalinowe uwzględniono urządzenia zasilane olejem napędowym i benzyną. Do prognozowania wykorzystano model regresji liniowej. Metoda znajduje zastosowanie w przypadku występowania trendu. Umożliwia zaprezentowanie prognozy w postaci funkcji liniowej. Model regresji liniowej zakłada, że zależność pomiędzy zmienną objaśnianą

a objaśniająca jest zależnością liniową [8]. Na podstawie danych zaprezentowanych w tabeli 4 została wyznaczona prognoza zgodnie z równaniem 1 [9].

$$y = \hat{a} + \hat{b}x \quad (1)$$

gdzie:

\hat{a} – wyraz wolny funkcji

\hat{b} – współczynnik kierunkowy funkcji

x – wartość niezależna wykorzystana do prognozowania cechy y

y – wartość prognozy dla zmiennej y

Wartości wyrazu wolnego funkcji i współczynnika kierunkowego wyznaczono na podstawie danych szeregów czasowych. Otrzymane wartości zaprezentowano w tabeli 3.

Tab. 3. Wartości wyrazu wolnego i współczynnika kierunkowego [opracowanie własne]

Tab. 3. Values of free expression and directional coefficient [opracowanie własne]

	Szacowana wartość wyrazu wolnego	Szacowana wartość współczynnika kierunkowego
Pojazdy z napędem spalinowym	1 869,59	147 581,03
Pojazdy z napędem elektrycznym	12 769,20	-377,535

Na podstawie dostępnych danych liczbowych wyznaczone zostały miesięczne wskaźniki sezonowości. Zestawienie wykonanych obliczeń zaprezentowano w tabeli 4.

Tab. 4. Prognoza liczby zarejestrowanych pojazdów w okresie listopad 2022 - styczeń 2023 [opracowanie własne na podstawie 10,11]

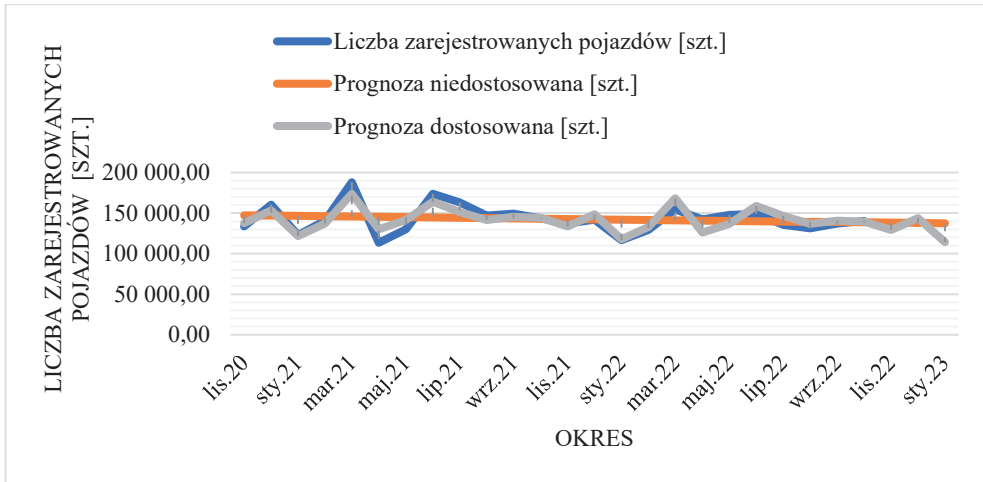
Tab. 4. Forecast of the number of registered vehicles between November 2022 - January 2023 [opracowanie własne na podstawie 10,11]

Okres	Pojazdy z napędem elektrycznym				Pojazdy z napędem spalinowym			
	Liczba zarejestrowanych pojazdów [szt.]	Prognoza niedostosowana [szt.]	Miesięczny wskaźnik sezonowości	Prognoza dostosowana [szt.]	Liczba zarejestrowanych pojazdów [szt.]	Prognoza niedostosowana [szt.]	Miesięczny wskaźnik sezonowości	Prognoza dostosowana [szt.]
lis.20	17 121	14 639	1,06	15 514	133 626	147 203	0,93	137 618
gru.20	18 875	16 508	1,06	17 491	160 577	146 825	1,05	153 474

sty.21	19 671	18 378	1,02	18 690	122 902	146 448	0,83	121 707
lut.21	20 504	20 248	1,01	20 382	140 608	146 070	0,94	136 915
mar.21	22 291	22 117	1,01	22 375	188 058	145 693	1,19	173 823
kwi.21	23 834	23 987	0,99	23 685	113 409	145 315	0,90	130 090
maj.21	25 407	25 856	1,00	25 734	129 964	144 938	0,97	141 311
cze.21	26 985	27 725	0,99	27 584	173 944	144 560	1,13	163 816
lip.21	28 301	29 595	0,99	29 190	163 018	144 183	1,05	151 464
sie.21	29 820	31 465	0,98	30 768	147 111	143 805	0,98	141 315
wrz.21	31 633	33 334	0,99	32 928	149 352	143 428	1,01	145 413
paź.21	33 143	35 204	0,99	34 761	143 568	143 050	1,01	144 180
lis.21	35 222	37 073	1,06	39 291	137 252	142 673	0,93	133 382
gru.21	38 001	38 943	1,06	41 263	141 855	142 295	1,05	148 738
sty.22	39 328	40 813	1,02	41 506	116 785	141 917	0,83	117 942
lut.22	42 711	42 682	1,01	42 967	129 092	141 540	0,94	132 669
mar.22	45 242	44 552	1,01	45 072	154 626	141 162	1,19	168 418
kwi.22	45 552	46 421	0,99	45 839	142 196	140 785	0,90	126 034
maj.22	48 675	48 291	1,00	48 063	147 888	140 407	0,97	136 894
cze.22	50 990	50 161	0,99	49 905	148 873	140 030	1,13	158 682
lip.22	52 881	52 030	0,99	51 317	135 515	139 652	1,05	146 705
sie.22	54 331	53 900	0,98	52 706	131 251	139 275	0,98	136 863
wrz.22	57 256	55 769	0,99	55 089	137 006	138 897	1,01	140 820
paź.22	59 564	57 639	0,99	56 914	140 208	138 520	1,01	139 614
lis.22		59 508	1,06	63 067		138 142	0,93	129 147
gru.22		61 378	1,06	65 035		137 765	1,05	144 003
sty.23		63 248	1,02	64 322		137 387	0,83	114 177

Zaprezentowana w tabeli 4 prognoza obejmuje okres 3 miesięcy: listopad 2022, grudzień 2022 i styczeń 2023.

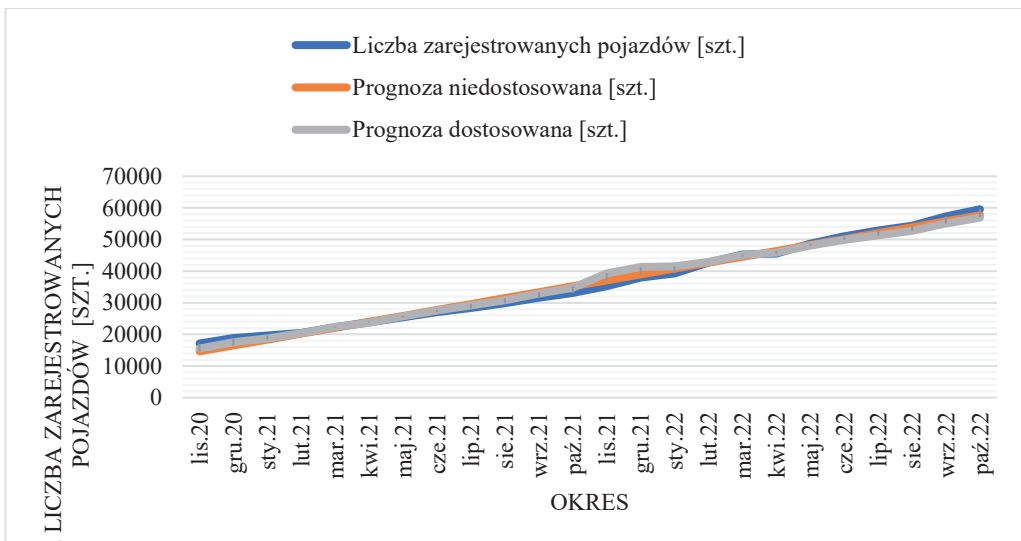
Zgodnie z modelem regresji liniowej prognoza liczby zarejestrowanych samochodów elektrycznych została zaprezentowana na rysunku 3 i 4.



Rys. 3. Prognoza liczby pojazdów spalinowych w Polsce (listopad 2020 – styczeń 2023) [opracowanie własne]

Fig. 3. Forecast of the number of internal combustion vehicles in Poland (November 2020 - January 2023) [opracowanie własne]

Dane zaprezentowane na rysunku 3 wskazują na znaczny wzrost liczby zarejestrowanych pojazdów spalinowych w Polsce do poziomu 114 tys. w styczniu 2023 roku.



Rys. 4. Prognoza liczby pojazdów spalinowych w Polsce (listopad 2020 – styczeń 2023) [opracowanie własne]

Fig. 4. Forecast of the number of internal combustion vehicles in Poland (November 2020 - January 2023) [opracowanie własne]

Dane zaprezentowane na rysunku 4 wskazują na znaczny wzrost liczby zarejestrowanych pojazdów elektrycznych w Polsce do 64 322 w styczniu 2023 roku.

5. PODSUMOWANIE

Silniki spalinowe i elektryczne są uznawane za główne źródła napędu w pojazdach osobowych. Podstawowym, elementem dywersyfikującym omawianą grupę urządzeń jest mechanizm przemian energetycznych. Elementem warunkującym stosowanie określonych źródeł napędu są regulacje prawne, zarówno w skali europejskiej jak i krajowej. Aspekty środowiskowe i energetyczne znacząco oddziałują na przemysł motoryzacyjny. Od kilku lat w Polsce można obserwować wzrost znaczenia pojazdów wyposażonych w silniki spalinowe. Średni wzrost liczby omawianej kategorii pojazdów w okresie listopad 2020 – październik 2022 wyniósł około 5%. Z kolei liczba zarejestrowanych pojazdów z silnikiem spalinowym jest znacząco większa w porównaniu do ich elektrycznych odpowiedników. W analizowanym okresie różnica liczby zarejestrowanych samochodów zasilanych tradycyjnymi źródłami napędu a alternatywnymi wynosiła około 74%. Przy czym średni wzrost liczby zarejestrowanych pojazdów spalinowych wyniósł około 3%. Zaprezentowane w pracy elementy mogą stanowić wstęp do dalszych rozważań obejmujących czynniki zewnętrznie wpływające na rodzaj stosowanych źródeł napędu w pojazdach osobowych.

LITERATURA

- [1] TARSKI I., *Ekonomika i organizacja transportu międzynarodowego*. Warszawa 1993, s. 11.
- [2] ZAJĄC P., *Silniki pojazdów samochodowych Budowa, obsługa, diagnostyka i naprawa*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2018.
- [3] DOPPELBAUER M., *The invention of the electric motor 1800-1854*, Karlsruhe Institute of Technology, 2018.
- [4] HUGHES A., *Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications*, Elsevier, 2006.
- [5] <https://ec.europa.eu/> (dostęp: 23.11.2022).
- [6] <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html?locale=pl> (dostęp: 23.11.2022).
- [7] <https://www.nik.gov.pl/> (dostęp: 23.11.2022).
- [8] <https://stat.gov.pl/metainformacje/szeregi-czasowe-4712/> (dostęp: 28.10.2022).
- [9] CHEN R. J. C., BLOOMFIELD P., FU J. S., *An Evaluation of Alternative Forecasting Methods to Recreation Visitation*, *Journal of Leisure Research*, 2003, Vol. 35, No. 4, 441 – 454.
- [10] pspa.com.pl (dostęp: 28.10.2022).
- [11] <https://www.pzpm.org.pl/> (dostęp: 28.10.2022).

INTERNAL COMBUSTION ENGINES IN THE AGE OF ELECTROMOBILITY

Key words: *internal combustion engines, electric engines, electromobility, time series methods*

The article discusses the primary sources of propulsion of passenger vehicles that are part of road transport. The classification of internal combustion engines and electric motors due to selected criteria was made. Legal regulations correlated with the development of electromobility were reviewed. Based on available data and a linear regression model, the number of registered electric vehicles and devices equipped with internal combustion engines was estimated for November 2022-January 2023. After the literature review and analysis, conclusions were drawn.

Corresponding author:

e-mail: ewa.mardeusz@pwr.edu.pl

Zofia PAPIEROWSKA*

DOI: https://doi.org/10.37190/JoT2022_10

INFORMATYCZNE TECHNOLOGIE WYKORZYSTYWANE W LOGISTYCE WOJSKOWEJ

Słowa kluczowe: ERP, BMS, Sztuczna Inteligencja, dron, wojsko

Celem artykułu jest przedstawienie wybranych technologii informatycznych wykorzystywanych w logistyce wojskowej. Są to między innymi: bezzałogowe statki powietrzne, systemy ERP i BMS, Sztuczna Inteligencja. Osiąganie celów militarnych bez narażania życia żołnierzy jest możliwe dzięki wykorzystaniu bezzałogowych statków powietrznych. Systemy ERP i BMS wspierają optymalizację procesów zarządzania zasobami i podejmowanie decyzji na polu bitwy. Z kolei stosowanie Sztucznej Inteligencji podnosi potencjał bojowy armii poprzez zautomatyzowanie systemów dowodzenia w trakcie prowadzenia działań wojennych. Niniejszy artykuł ma charakter przeglądowy.

1. WSTĘP

Logistyka w wojskowości ma ogromne znaczenie, ponieważ, między innymi, to od niej jest uzależniony przebieg wydarzeń na polu konfliktu. S. Koziej jest zdania, że “rozwój broni, rozwój technologii wojskowej, ciągła modernizacja techniczna była i jest przez całe wieki tym, co przesądza w głównej mierze o obliczu i nieustannej transformacji wojska” [1]. Termin “logistyka” ma wiele wspólnego z armią, a na samym początku zagadnienie to związane było tylko z wojskiem. Jedną z definicji logistyki w Słowniku Języka Polskiego to “teoretyczne i praktyczne przedsięwzięcia mające na celu utrzymanie gotowości sił zbrojnych” [2]. Jedno z założeń współczesnej logistyki mówi o tym, że logistykę należy traktować jako koncepcję planowania, sterowania, organizowania i kontrolowania fizycznego zarówno obiegu towaru, jak i informacji na jego temat [3]. S. Abt określa współczesną logistykę w wojskowości jako “jednolity proces, na który składa się przedmiot zaopatrywania (materiały, urządzenia, sprzęt), czynności (określenie potrzeb, dostawa, rozdział) oraz funkcje (organizowanie, planowanie, wykonawstwo, kontrola)” [4]. Z tej definicji nasuwa się wniosek, że wymienione w nim elementy procesu, jakim jest logistyka

* Koło Naukowe Transportu i Logistyki TRANSLOG, Uniwersytet Morski w Gdyni

wojskowa, są głównymi składowymi sukcesu podczas prowadzenia działań wojennych, gdy są ze sobą odpowiednio skoordynowane.

Bardzo ważnym, a jednocześnie mało podkreślanym elementem, który jest niezwykle istotny w logistyce, to informacja oraz jej przepływ. Aktualnie informacja jest zasobem strategicznym, jednakto jedynie wtedy, gdy niesie ze sobą istotne treści, które nie były modyfikowane, we właściwym terminie do właściwego adresata w sposób niezawodny [5]. Całokształt metod i narzędzi przetwarzania informacji, który obejmuje metody poszukiwania, selekcji, gromadzenia, zapisywania, przechowywania, przesyłania, a także usuwania informacji, jest nazywany technologiami informacyjnymi [6]. Technologie informacyjne są niezbędne w funkcjonowaniu działań militarnych i współcześnie są one mocno powiązane z technologiami informatycznymi.

Technologie informatyczne w logistyce wojskowej odgrywają bardzo kluczową rolę. Każde najnowsze rozwiązanie jest testowane w pierwszej kolejności w siłach zbrojnych, aby sprawdzić zastosowanie danej technologii w działaniach militarnych. W momencie, gdy rozwiązanie jest innowacyjne i dotychczasowo nieznanne, to można zyskać przewagę nad wrogią armią. Podobnego zdania jest R. T. Andrzejczak, który podkreśla, że dla sił zbrojnych ważna jest *“przede wszystkim możliwość wykorzystania i zastosowania przełomowych technologii na potrzeby wojska”* [7]. Część z tych technologii przenika później do użytku powszechnego. Najlepszymi przykładami takiego przejścia są Internet oraz GPS [8]. W niniejszym artykule przedstawione zostały takie rozwiązania informatyczne, które charakteryzuje wykorzystanie technologii informacyjnych na różne sposoby w logistyce wojskowej. Są to: bezzałogowe statki powietrzne, systemy ERP i BMS oraz Sztuczna Inteligencja.

2. BEZZAŁOGOWE STATKI POWIETRZNE

Bezzałogowy statek powietrzny jest to statek powietrzny, który nie wymaga załogi obecnej na pokładzie, a tym samym nie ma możliwości zabierania pasażerów w trakcie trwania lotu. Urządzenie jest pilotowane zdalnie lub, w niektórych przypadkach, wykonuje lot autonomicznie. Można też spotkać się z określeniem *dron* oraz *bezzałogowy system powietrzny*. Obiekty te są powszechnie wykorzystywane w celach militarnych jako wsparcie logistyki wojskowej [9]. Bezzałogowe statki powietrzne służą przede wszystkim jako narzędzie do zbierania informacji, które wspierają logistykę wojskową w planowaniu, sterowaniu, organizacji oraz kontroli przebiegu działań wojennych. Mogą służyć także jako przekaźnik komunikacyjny, co zalicza się do funkcji obiegu informacji w logistyce [3][4].

Najczęściej bezzałogowce są wykorzystywane w celu dostarczania różnych przedmiotów w wybrane miejsca. To pozwala na użycie tych urządzeń w celu np. transportowania, a tym samym uzupełniania sprzętu wojskowego, zapewnienia środków medycznych w akcjach humanitarnych, a także przenoszenia różnego rodzaju pocisków do przeprowadzania zdalnych ataków [3][4].

Przykładem bezzałogowego statku powietrznego, który jest najczęściej wykorzystywany w wojsku jest *MQ-1 Predator*. Jest produkowany przez amerykańskie przedsiębiorstwo *General Atomics Aeronautical Systems*. Początkowo służył do obserwacji przeciwnika za pośrednictwem zainstalowanych kamer, co wspierało logistykę wojskową poprzez zbieranie informacji, które usprawniały działania wojenne. W latach 2000-04 *MQ-1 Predator* został uzbrojony i obecnie jest używany w operacjach ofensywnych ze względu na możliwość transportowania dwóch kierowanych pocisków raketowych. *MQ-1 Predator* najczęściej jest wykorzystywany przez Siły Powietrzne Stanów Zjednoczonych. Urządzenie ma zasięg 1100 km, co można przedstawić jako dwukrotność odległości z Warszawy do Berlina [10][11]. Obiekt po raz pierwszy został wykorzystany w Afganistanie przez wojsko Stanów Zjednoczonych [12].

Drugim przykładem bezzałogowego systemu powietrznego, który jest używany w celach militarnych, jest *Yabhon United 40*. Został zaprojektowany w Zjednoczonych Emiratach Arabskich. Głównie wykorzystywany jest w celu oceny sytuacji na polu walki, ale również jako przekaźnik komunikacyjny w przypadku operacji specjalnych, dozoru granic i wsparcia misji humanitarnych. W taki sposób wspomaga logistykę wojskową w funkcji obiegu informacji oraz w transporcie środków medycznych i nie tylko. *Yabhon United 40* transportuje również ładunek wybuchowy - może być załadowany czterema pociskami raketowymi *Namrod*, co zachęciło w 2014 roku Rosyjskie Siły Powietrzne do przetestowania obiektu. To, co zostało docenione, to długa wytrzymałość bezzałogowca w powietrzu, ponieważ jest w stanie lecieć nieco ponad 4 dni bez przerwy [13][14]. Państwo, które najczęściej korzysta z tego bezzałogowego statku powietrznego to Algeria [15].

Kolejnym przykładem bezzałogowego systemu powietrznego wykorzystywanego militarnie jest *Bayraktar TB2* - turecki bezzałogowiec produkowany przez firmę *Baykar Technologies*, który zyskał rozgłos w czasie trwania inwazji rosyjskiej na Ukrainę w 2022 roku. To urządzenie jest w stanie transportować jednocześnie cztery inteligentne pociski naprowadzane laserowo. *Bayraktar TB2* charakteryzuje się w pełni automatyczną nawigacją i funkcją śledzenia trasy, czyli samodzielnie przetwarza informacje dotyczące geografii danego terenu. W ten sposób wspomaga logistykę wojskową w funkcji sterowania i planowania działań wojennych [16]. Obecnie jest aktywnie wykorzystywany przez armie: ukraińską, katarską, libijską oraz azerbejdżańską [17].

Powyżej opisane bezzałogowce to jedynie jedne z bardzo licznych bezzałogowych statków powietrznych wykorzystywanych w celach militarnych. Bezzałogowe statki powietrzne mają ogromne znaczenie w logistyce wojskowej, ponieważ wspierają obieg informacji oraz można za ich pomocą transportować różnego rodzaju ładunki. To usprawnia logistyczne planowanie, sterowanie i kontrolę przebiegu działań wojennych. Można zaryzykować stwierdzeniem, że bezzałogowe systemy powietrzne są najpopularniejszą technologią wykorzystywaną w logistyce wojskowej. Najprawdopodobniej dzieje się tak ze względu na to, że nie wymagają załogi do sterowania,

co redukuje koszty, a jednocześnie nie wymaga narażania życia żołnierzy. Można podejrzewać, że bezzałogowe statki powietrzne będą najszybciej rozwijającą się technologią wojskową ze względu na ich mobilność i możliwość zdobywania nowych informacji, przy obserwacji działań taktycznych przeciwnej armii.

3. SYSTEMY ERP I BMS

System ERP (ang. *Enterprise Resource Planning*) to system Planowania Zasobów Przedsiębiorstwa, który może być także wykorzystywany w celach wojskowych. Jest to informatyczna aplikacja, która integruje obszary działalności logistycznej, takie jak: planowanie potrzeb materiałowych, obsługa klientów, produkcja, finanse oraz transport [18]. System charakteryzuje ujednolicony sposób przeglądania informacji w jednej bazie danych dla przedsiębiorstwa. Aplikacje systemu ERP są powszechnie stosowane w przedsiębiorstwach na całym świecie.

Aby system ERP skutecznie wspierał procesy w logistyce wojskowej, należy na bieżąco aktualizować w nim dane oraz informacje w sposób jednolity. Jest to podstawa, która zapewnia właściwą użyteczność i koordynację operacji militarnych. Najważniejsze korzyści z stosowania ERP dla logistyki wojskowej to: aktualna i wiarygodna baza danych, prosty dostęp do informacji, sprawny proces konsolidacji danych, wzrost produktywności i efektywności wszystkich osób pracujących w wojsku, lepsze prognozowanie zapotrzebowania na bieżące zaopatrzenie, optymalizacja poziomu zapasów, ograniczenie kosztów magazynowania, skrócony czas kompletacji sprzętu wojskowego [19].

Program LMP (ang. *Logistic Modernization Program*) to zastrzeżone narzędzie wykorzystujące system ERP w sposób dostosowany do potrzeb militarnych. System LMP stosowany jest głównie w Stanach Zjednoczonych, gdzie stanowi jedyne źródło danych wojskowych w czasie rzeczywistym. Narzędzie to służy przede wszystkim do wsparcia produkcji, obsługi technicznej, napraw i remontów w wojskach lądowych [20][21]. W praktyce umożliwia, między innymi, zmniejszenie ilości zapasów, skrócenie czasu napraw sprzętu wojskowego oraz usprawnienie planowania podaży i popytu na wyposażenie armii amerykańskiej. Przeniesienie poufnych informacji wojskowych do sieci serwerów, które przechowują dane i pozwalają na zarządzanie nimi niezależnie od używanego urządzenia, sprawiło, że proces podejmowania decyzji przez dowódców na froncie stał się krótszy, a same decyzje skuteczniejsze. Dzięki temu amerykańskie wojsko ma zapewnioną gotowość bojową w ponad pięćdziesięciu miejscach na całym świecie, między innymi, w Afganistanie i Iraku [22][23].

W 2012 roku w Siłach Zbrojnych RP zostało wdrożone do użytku oprogramowanie *ZWSI RON*, tj. *Zintegrowany Wieloszczeblowy System Informatyczny Resortu Obrony Narodowej*, które jest oparte na systemie ERP. Działanie programu opiera się na integracji ewidencji logistycznej i finansowej w obrocie materiałowym. Taka

integracja dokumentów materiałowych z księgowymi w efekcie wpływa na szybsze oraz bardziej przemyślane podejmowanie decyzji dotyczących np. zakupu sprzętu wojskowego. Nie mniej jednak, K. Przybysz i N. Grzesik podkreślają, że *ZWSI RON* nie jest wystarczającym oprogramowaniem ze względu na brak aktualnej analizy podstawowych właściwości eksploatacyjnych technicznego wyposażenia wojska. Wskazują, że powodem tego jest brak wsparcia systemami informatycznymi w jednostkach wojskowych na najniższych poziomach zarządzania eksploatacją obiektów technicznych [24].

Jednym z uzupełnień oprogramowania *ZWSI RON* w Siłach Zbrojnych RP jest *BMS C3IS JAŚMIN*. Jest to program, który opiera się na systemie BMS.

System BMS (ang. *Battlefield Management System*) jest militarnym odpowiednikiem systemu ERP i jest wykorzystywany również przez np. organizację polityczno-wojskową NATO [25][26]. Inna nazwa oprogramowania *BMS C3IS JAŚMIN* to: *Zautomatyzowany System Zarządzania Walką Batalionu, Kompanii, Plutonu i Drużyny*. Dzięki temu, że NATO także używa systemu BMS, możliwa jest skuteczna integracja i współpraca. Poza możliwościami dostępnymi dla systemu ERP, wspomagającymi logistykę wojskową, oprogramowanie *BMS C3IS JAŚMIN* zapewnia dodatkowo wsparcie dowodzenia pododdziałami oraz automatyczną wymianę danych z systemami dowodzenia szczebla zarówno niższego, jak i wyższego. Program umożliwia wgląd w bieżące zobrazowanie sytuacji taktycznej oraz analizę warunków terenowych, również w formie wizualizacji przestrzeni trójwymiarowej. Dodatkowym atutem tego systemu jest także możliwość komunikacji z żołnierzami na froncie. Podobnie jak w przypadku ERP, aby system BMS działał skutecznie, należy na bieżąco uzupełniać w nim dane i informacje w jednolity sposób [27].

Nie ulega wątpliwości, że systemy ERP i BMS stanowią fundament w funkcjonowaniu logistycznym armii dzięki temu, że zapewniają jednolitą a także aktualną bazę danych. Aktualna baza danych jest istotna w wojskowości, ponieważ stanowi podstawę do podejmowania różnego rodzaju decyzji nawet w bardzo krótkim czasie. Można zaryzykować stwierdzeniem, że systemy ERP i BMS używane przez wojsko w najbliższych latach będą rozbudowywane, a dzięki temu niezastąpione. Nasuwa się wniosek, że możliwości optymalizacji procesów zarządzania zasobami są niezwykle potrzebne w logistyce wojskowej, a zatem systemy ERP i BMS pozostają niezwykle istotnym aspektem funkcjonowania organizacji militarnych.

4. SZTUCZNA INTELIGENCJA

Sztuczna Inteligencja, *SI* ma zastosowanie logistyczne w wojsku. Termin Sztuczna Inteligencja to po angielsku *Artificial Intelligence* i znacznie częściej można spotkać się ze skrótem *AI*. Serwis Rzeczypospolitej Polskiej definiuje Sztuczną Inteligencję jako “dziedzinę wiedzy obejmującą m.in. sieci neuronowe, robotykę i tworzenie modeli zachowań inteligentnych oraz programów komputerowych symulujących te zachowania, włączając w to również uczenie maszynowe, głębokie

uczenie oraz uczenie wzmocnione” [28]. W podobny sposób M. Chmielewski, Zastępca Dowódcy ds. Informatyki, wyjaśnia, że *“sztuczna inteligencja to zbiór wszystkich metod, które albo udają procesy myślowe mózgu, albo też imitują struktury i funkcje w mózgu występujące lub realizowane, np. sieci neuronowe, mechanizmy wnioskowania. W takim kontekście SI może wykonywać różne czynności, np. klasyfikować obiekty, badać podobieństwo rzeczy lub osób poprzez ekstrakcję cech, na których podstawie jesteśmy w stanie to podobieństwo oceniać”* [29].

Wykorzystanie SI w logistyce głównie polega na zautomatyzowaniu systemów dowodzenia w trakcie prowadzenia działań wojennych [30][31]. Jest to możliwe dzięki algorytmom Sztucznej Inteligencji, które analizują dane i przetwarzają informacje w większej ilości oraz znacznie szybciej niż jest w stanie zrobić to zespół ludzi. Wykorzystanie SI w armii znacznie podnosi potencjał bojowy, a tym samym zwiększa odporność na negatywne oddziaływanie przeciwnika [32][33]. Zautomatyzowanie systemów dowodzenia oznacza również zautomatyzowanie zadań, celów wojennych, ustalenie strategii, wyliczeniu kosztów całej inwestycji, zakupu maszyn i broni. To oznacza, że Sztuczna Inteligencja wspiera logistykę wojskową w usprawnianiu procesu zaopatrywania różnego rodzaju uzbrojenia oraz w funkcji organizacji, planowania i wykonawstwa działań wojennych. Umieszczenie komputerów ze Sztuczną Inteligencją w bezzałogowych samolotach znacząco przyspiesza identyfikację celów i optymalizuje użycie broni, a to wpływa na zmniejszenie kosztów zaopatrzenia, magazynowania oraz dystrybucji sprzętu wojskowego. Z reguły identyfikacja celu wygląda tak, że gdy zostanie on odnaleziony, to dyspozytor lotniczy otrzymuje informację i musi zatwierdzić namierzony obiekt. Po zatwierdzeniu celu, dopiero wtedy zostaje zlikwidowany. Atutem wykorzystania SI jest to, że system rozpoznaje i przetwarza twarze, dzięki czemu ryzyko przypadkowego zastrzelenia osób postronnych i własnych żołnierzy jest ograniczone. [34][35].

Amerykańska Agencja Zaawansowanych Projektów Badawczych w obszarze Obronności prowadzi program ACE (*AirCombarEvolution*). W ramach tego programu mają zostać wprowadzone bezzałogowe samoloty, które dzięki technologii SI będą w stanie nauczyć się stylu pracy konkretnego pilota, z którym będą współdziałać. To ma pozwolić, przede wszystkim, na optymalizację podejmowanych decyzji w trakcie trwania bitwy, ale również na zmniejszenie ilości zgonów wśród żołnierzy podczas trwania misji [36]. Z kolei Chiny pracują nad Sztuczną Inteligencją, która naprowadzałaby pocisk na wybrany cel, a także byłaby w stanie przenosić ładunki nuklearne.

Sztuczna Inteligencja jako technologia wykorzystywana w logistyce wojskowej jest niezwykle innowacyjnym narzędziem, który pozwala na efektywniejsze osiągnięcie celów militarnych w krótszym czasie. To ma wpływ, przykładowo, na zmniejszenie kosztów amortyzacji sprzętu wojskowego, a to wspomaga funkcję logistyki w zakresie zaopatrzenia. Nie mniej jednak, fakt, że SI nie jest programowana i kodowana, sprawia, że nie można mieć stuprocentowej pewności co do jej decyzji [34].

Z całą pewnością można stwierdzić, że Sztuczna Inteligencja wykorzystywana w celach militarnych jest niezwykle efektywna i daje przewagę nad przeciwnikiem w stosunkowo krótkim czasie. Należy jednak pamiętać, że użycie SI w celach militarnych przez nieodpowiednie państwa niesie za sobą ryzyko wybuchu wojny w skali globalnej. Z tego powodu na całym świecie odbywają się protesty przeciwko rozwijaniu tej technologii [34].

Można zatem zaryzykować stwierdzenie, że mimo protestów, Sztuczna Inteligencja nadal będzie rozwijana ze względu na to, że znacząco zwiększa efektywność przy osiąganiu wybranych celów przy optymalizacji kosztów i skróceniu czasu działań wojennych. Nasuwa się podejrzenie, że SI będzie jedną z wolniej rozwijających się technologii ze względu na wysoki stopień jej zaawansowania.

5. PODSUMOWANIE

Rozwój technologii informatycznych, które są wykorzystywane w logistyce wojskowej, jest niezwykle ważny dla każdego państwa, które dba o bezpieczeństwo obywateli i swoją suwerenność. Technologie informatyczne opisane w niniejszym artykule wspierają logistykę wojskową przede wszystkim w obiegu różnych informacji oraz w optymalizacji kosztów związanych z zaopatrzeniem. Bezzałogowe statki powietrzne dodatkowo umożliwiają dystrybucję różnych rodzajów ładunków, np. pocisków zbrojnych, dzięki czemu pojawia się niezwykle interesująca możliwość przeprowadzenia szybkich i zdalnych ataków.

Z kolei systemy ERP i BMS stanowią jednolitą i aktualną bazę danych, na podstawie których podejmowane są dalsze decyzje w działaniach taktycznych, a Sztuczna Inteligencja wspiera logistykę wojskową głównie od strony organizacyjnej i wykonawczej. Ze względu na to, że każde najnowsze rozwiązanie jest testowane w pierwszej kolejności w siłach zbrojnych, można śmiało zaryzykować stwierdzeniem, że bezzałogowe statki powietrzne, systemy ERP i BMS i Sztuczna Inteligencja są już bardzo dobrze znane wojsku. Z całą pewnością można wyrazić przekonanie, że technologie opisane w artykule będą z czasem coraz bardziej złożone i ciężko będzie je zastąpić kolejnymi, nowszymi rozwiązaniami.

LITERATURA

- [1] *Trzecia fala modernizacji Sił Zbrojnych RP*, Biuro Bezpieczeństwa Narodowego, maj 2014
- [2] <https://sjp.pwn.pl/slowniki/logistyka.html> (dostęp: 05.10.2022).
- [3] P. Blaik, *Logistyka*, PWE, Warszawa 2001.
- [4] S. Abt, *Logistyka w teorii i praktyce*, Wydawnictwo AE, Poznań 2001.
- [5] A. Wisz, *Bezpieczeństwo informacji w wojskowych sieciach teleinformatycznych* - www.bbn.gov.pl/download/1/1002/bezpieczenstwoinformacji.pdf
- [6] S. Juszczyk, *Edukacja na odległość. Kodyfikacja pojęć, reguł i procesów*, Multimedialna Biblioteka Pedagogiczna, Toruń 2002.

- [7] <https://www.wojsko-polskie.pl/sgwp/articles/aktualnosci-w/wykorzystanie-nowoczesnychtechnologii-w-rozwoju-sil-zbrojnych/> (dostęp: 05.10.2022).
- [8] <https://www.geekweb.pl/magazyn-dobrych-tresci/item/670-trzy-technologie-wojskowe-ktorych-uzywasz-obecnie-codziennie> (dostęp: 05.10.2022).
- [9] P. Bukowski, G. Szala, *Bezzałogowe statki powietrzne – geneza, teraźniejszość i przyszłość*, Postępy w inżynierii mechanicznej, Czasopismo naukowo-techniczne 11(6)/2018.
- [10] <https://warriorlodge.com/pages/general-atomics-mq-1-predator> (dostęp: 15.10.2022).
- [11] <https://www.trasa.info/wyznaczenie-trasy/warszawa-berlin> (dostęp: 15.10.2022).
- [12] M. Reisner, *Currentdronewarfare in the light of the prohibition of interventions: The use of drones in armedconflicts in Afghanistan, Iraq, Israel, Yemen, Libya, Mali, Pakistan, the Philippines, Somalia, and Syria*, University of Vienna Law Review 2018.
- [13] <https://www.infolotnicze.pl/2015/05/26/yabhon-united-40-uav/> (dostęp: 15.10.2022).
- [14] <https://www.deagel.com/Support%20Aircraft/United%2040/a002907> (dostęp: 15.10.2022).
- [15] <https://www.komputerswiat.pl/artykuly/redakcyjne/najgrozniejsze-drony-wojskowe-cisi-zabojcy-wspolczesnego-pola-walki-nie-tylko/s9m715l#slajd-1> (dostęp: 15.10.2022).
- [16] <https://time.com/6153197/ukraine-russia-turkish-drones-bayraktar/> (dostęp: 15.10.2022).
- [17] <https://www.turkishdefencenews.com/bayraktar-tb2-armed-unmanned-aerial-vehicle/> (dostęp: 15.10.2022).
- [18] J. Majewski, *Informatyka dla logistyki*, ILiM, Poznań 2002.
- [19] <https://www.dynamicsnav.pl/system-erp/korzysci-wdrozenia-systemu-erp/> (dostęp: 14.10.2022).
- [20] <https://erp24.pl/erp/16294-armia-usa-wybiera-system-erp-firmy-ifs.html> (dostęp: 14.10.2022).
- [21] <https://www.defensemianetwork.com/stories/logistics-modernization-program/> (dostęp: 14.10.2022).
- [22] <https://www.eis.army.mil/newsroom/news/logistics/lmp-becomes-third-army-erp-program-migrate-cloud> (dostęp: 14.10.2022).
- [23] <https://www.dvidshub.net/news/412170/lmp-becomes-third-army-erp-program-migrate-cloud> (dostęp: 14.10.2022).
- [24] K. Przybysz, N. Grzesik, *Koncepcja systemu informatycznego wspierającego procesy eksploatacji obiektów technicznych w wojsku*, Journal of KONBiN 2020.
- [25] A. Lamek, *Narzędzia wsparcia zarządzania we współczesnych organizacjach ERP a BMS - porównanie*, Zeszyty Naukowe WSOWL, Politechnika Wroclawska 2013.
- [26] <https://defence24.pl/sily-zbrojne-niemcy-wprowadzaja-bms> (dostęp: 14.10.2022)
- [27] <https://www.teldat.com.pl/oferta/produkty/systemy/96-c3is.html> (dostęp: 14.10.2022).
- [28] <https://www.gov.pl/web/ai/czym-jest-sztuczna-inteligencja2> (dostęp: 09.10.2022).
- [29] https://zbrojni.blob.core.windows.net/pzdata2/TinyMceFiles/pz4_2020.pdf (dostęp: 09.10.2022).
- [30] S. Skiba, *Model ewidencji kosztów logistyki*, Logistyka (6)/2013.
- [31] S. Skiba, *The impact of non-competition agreements on the career path of employees of TSL enterprises in Poland*, Economic and Social Development: Book of Proceedings, Moscow 2019
- [32] <https://www.wojsko-polskie.pl/wat/articles/aktualnosci-w/sztuczna-inteligencja-w-silach-zbrojnych-rp/> (dostęp: 09.10.2022).
- [33] G. Osiński, *Sztuczna Inteligencja w wojsku*, Myśl jest bronią, Nasz Dziennik, wydanie z 27 lipca 2021r.
- [34] <https://www.aimarketing.pl/sztuczna-inteligencja-w-wojsku/> (dostęp: 09.10.2022).
- [35] K. Sukiennik, *Koszty logistyki w przedsiębiorstwach produkcyjnych*, Politechnika Częstochowska 2011.
- [36] M. Kowalska-Sendek, R. Sendek, *Algorytm przyszłości - Sztuczna Inteligencja*, Polska Zbrojna, wydanie nr 4 (888), kwiecień 2020, ISSN 0867-4523.

INFORMATION TECHNOLOGY USED IN MILITARY LOGISTICS

Keywords: *ERP, BMS, Artificial Intelligence, drone, military*

The purpose of the article is to introduce certain information technologies used in military logistics, like drones, ERP and BMS systems and Artificial Intelligence. ERP and BMS systems support the process optimisation of resource management and decision-making on the frontline. The use of Artificial Intelligence increases the military's combat capability by automating command systems during wartime operations. The achievement of military objectives without putting soldiers' lives at risk is made possible through the use of drones. The article is intended as a review.

Corresponding author:

e-mail: zosia.papierowska@wp.pl

pracowników oprócz korzyści wynikających z oszczędności dla linii lotniczych, dzięki obniżeniu niezbędnej liczby pracowników oraz niższymi kosztami operacyjnymi, pasażerowie będą również korzystać z nowych technologii na lotnisku skrócenie czasu oczekiwania w kolejkach i możliwość sprawdzenia dostępnych na lotnisku udogodnień w kioskach samoobsługowych to tylko kilka z licznych nowości, jakie będzie miał do zaoferowania terminal przed oddaniem go do użytku odbędą się intensywne testy zintegrowanych systemów lotniskowych tak, aby niezbędne procedury od samego początku użytkowania były w pełni poprawne i satysfakcjonowały pasażerów, którzy bardzo cenią sobie terminal natomiast będzie gotowy w 2020 roku zostanie zbudowany na 180 hektarach gruntu Changi Airport posiadając 5 terminali będzie w stanie obsłużyć ponad 135 milionów osób w każdym roku planowana jest również poprawa infrastruktury drogowej, aby zapewnić wygodny dostęp do terminali oczekujących na lot w holu lotniska Changi znajduje się green wall, czyli ściana bujnej, egzotycznej roślinności, która ma 300 m szerokości jest wysoka na kilka pięter wysokości na lotnisku znajduje się też botanika, czyli dwupiętrowy ogród z wodospadem i ponad tysiącem gatunków rośliny różnych gatunków pasażerowie mają do dyspozycji ogrody: kaktusowy, słonecznikowy, orchidei czy też ogród paproci a zmęczeni podróżą mogą też odwiedzić specjalne sypialnie, centrum spa i baseny. Gracze gier mają szansę skorzystać ze strefy , gdzie filmy i gry wideo są prezentowane w trzech wymiarach dodatkową atrakcją dla pasażerów jest wielka zjeżdżalnia wysokości zainstalowane przyrządy służące do obsługi bezpiecznego lądowania samolotów w każdych warunkach pogodowych. Wskazują one na coraz to nowocześniejsze i większe rosnące również wymagania wobec ich miejsc



WUST Publishing House prints can be obtained via mailorder:

zamawianie.ksiazek@pwr.edu.pl

www.ksiegarnia.pwr.edu.pl

ISSN 2450-5870