

NAUKA DLA ZRÓWNOWAŻONEJ PRZYSZŁOŚCI

Odkrycia i wyzwania młodych naukowców
współpracujących
w ramach Politechnicznej Sieci Via Carpatia

Pod redakcją
Jakuba Bisa



NAUKA DLA ZRÓWNOWAŻONEJ PRZYSZŁOŚCI

Zapraszamy do naszej księgarni internetowej
www.wydawnictwo.tnoik.torun.pl/sklep/



prawolubni

Książka, którą nabyłeś, jest dziełem twórcy i wydawcy. Prosimy, abyś przestrzegał praw, jakie im przysługują. Jej zawartość możesz udostępnić nieodpłatnie osobom bliskim lub osobiście znanym. Ale nie publikuj jej w internecie. Jeśli cytujesz jej fragmenty, nie zmieniaj ich treści i koniecznie zaznacz, czyje to dzieło. A kopiując jej część, rób to jedynie na użytek osobisty.

SZANUJMY CUDZĄ WŁASNOŚĆ I PRAWO!



POLITECHNICZNA SIEĆ
VIA CARPATIA



Politechnika
Białostocka



POLITECHNIKA
LUBELSKA



POLITECHNIKA
RZESZOWSKA
DLA IZACJÓW I INŻYNIERÓW

NAUKA DLA ZRÓWNOWAŻONEJ PRZYSZŁOŚCI

Odkrycia i wyzwania młodych naukowców
współpracujących
w ramach Politechnicznej Sieci Via Carpatia

Pod redakcją
Jakuba Bisa



www.viacarpatia.pro

Finansowane ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego
w ramach zadania zleconego pn. „Politechniczna Sieć VIA CARPATIA
im. Prezydenta RP Lecha Kaczyńskiego”.



Minister Nauki
i Szkolnictwa Wyższego



Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego

wydawca

© Copyright by

Towarzystwo Naukowe Organizacji i Kierownictwa • Stowarzyszenie Wyższej Użyteczności

„DOM ORGANIZATORA”

87-100 Toruń, ul. Czerwona Droga 8

tel. (+ 48 56) 622 38 07, 622 28 98

<http://www.tnoik.torun.pl>; e-mail wydawnictwo@tnoik.torun.pl

Unikatowy identyfikator wydawnictwa
TNOiK - „Dom Organizatora” w Toruniu
55800



Wydawnictwo
„Dom Organizatora”
jest członkiem
Polskiej Izby Książki

Recenzenci:

Dr hab. inż. Jacek Czarnigowski

Politechnika Lubelska

Dr hab. inż. Arkadiusz Gola

Politechnika Lubelska

Dr hab. Adam Kiersztyn

Politechnika Lubelska

Dr hab. inż. Barbara Szymoniuk

Politechnika Lubelska

e-ISBN 978-83-67153-84-3

Printed in Poland

Toruń

Wydanie I, 2025 r.

przygotowanie do druku

Projekt okładki

Piotr Kabaciński

Grafiki na okładce © Chaosamran_Studio – Adobe Stock

Studio KROPKA dtp • Piotr Kabaciński

tel. kom. 602 303 814; e-mail: biuro@swk.com.pl

Wszystkie prawa zastrzeżone. Żadna część tej książki nie może być powielana ani rozpowszechniana za pomocą urządzeń elektronicznych, mechanicznych, kopiujących, nagrywających i innych, bez uprzedniego wyrażenia zgody przez wydawcę i autora.

Spis treści

Wstęp	9
Zastosowanie koncepcji CliftonStrengths w rozwoju działalności koła naukowego	13
Ekologiczne rozwiązania dla zrównoważonego transportu drogowego . .	29
Social media jako narzędzie promocji instytucji branży bankowej – na przykładzie ING Banku Śląskiego	43
Hybrydowy system napędowy wysokosprawnego pojazdu prototypowego.	55
Akwizycja danych pomiarowych w pojeździe typu Formuła Student na podstawie magistrali CAN	69
Badanie wpływu rodzaju oraz wysokości rdzenia, grubości i ułożenia tkanin na wyniki trzypunktowego zginania próbek kompozytowych z włókna węglowego	85
Modyfikacja gąsienic pojazdu półgąsienicowego „Polonez 6 × 2 Halftrack”	95
Mapy ciepła jako metoda kwantyfikacji ludzkiego zainteresowania modelami 3D w wirtualnej rzeczywistości	103
Robot mobilny do eksploracji przestrzeni z regulatorem rozmytym . . .	113

Układy i stanowiska pomiarowe do badań właściwości struktur wykazujących zjawisko gigantycznego magnetooporu	125
Geopolimery – przykłady zastosowań w budownictwie	137
Porównawcza ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach na przykładzie wybranej sali dydaktycznej	149
Badanie efektywności wzmacniania nośności belek z drewna klejonego prętami kompozytowymi GFRP.	163
Rower elektryczny z możliwością szybkiego ładowania na publicznych stacjach ładowania	185
W jaki sposób molekularni architekci natury inspirują projektowanie nowych organokatalizatorów do zrównoważonej syntezy asymetrycznej	197
Studium przypadku wybranych filii miejskich bibliotek publicznych w rzeszowie jako funkcji miejskich	207
Wybrane alternatywne ekologiczne metody budowy ścian – analiza porównawcza	229
Koncept mikroprocesorowego sterownika CNC.	241
Ocena wpływu nierównomiernego rozłożenia masy na stabilizację śmigłowca czterowirnikowego w fazie startu i lądowania	253
Badania aerodynamiki kłap szczelinowych na potrzeby zawodów Air Cargo Challenge 2024	271
Wykorzystanie technik analizy danych do badania lotnych związków organicznych w próbkach perfum oraz ich zamienników	285

Propozycja inteligentnego urządzenia rehabilitacji ruchowej.	303
Cytotoksyczność produktów uzyskanych w efekcie pirolizy biomasy w różnych modelach biologicznych	313
Gen Z a prowadzenie własnej działalności gospodarczej	325
Czynniki wpływające na decyzję o kontynuacji studiów na II stopniu w ocenie studentów Wydziału Zarządzania Politechniki Lubelskiej	341
Wykorzystanie sztucznej inteligencji w zarządzaniu projektami IT – perspektywy, oczekiwania i realia	355

WSTĘP

INTRODUCTION

W czasach, kiedy wiedza i umiejętności stanowią najcenniejsze aktywa, inicjatywy takie jak projekty współpracy międzyuczelnianej nabierają szczególnego znaczenia. Koncentrując się na talentach i naturalnym potencjale jednostek, można zauważyć, że współpraca przynosi więcej korzyści niż konkurowanie. Dzięki takiemu podejściu w ramach Politechnicznej Sieci Via Carpatia udało się zorganizować wyjątkowe wydarzenie, które stanowi forum wymiany wiedzy i doświadczeń pomiędzy studentami i opiekunami reprezentującymi wybrane koła naukowe. W niniejszej monografii opublikowano artykuły prezentujące wyniki prac badawczych odzwierciedlających różnorodność i głębię badań prowadzonych przez studentów z Politechniki Białostockiej, Politechniki Lubelskiej oraz Politechniki Rzeszowskiej.

Monografia zapewnia bogaty przekrój badań interdyscyplinarnych. Wśród artykułów zawartych w tej publikacji możemy wyróżnić kilka obszarów. Pierwsza część prac skupia się na zagadnieniach związanych z zarządzaniem wiedzą, rozwojem kompetencji oraz transformacją cyfrową. Autorzy analizują tu m.in. wykorzystanie koncepcji CliftonStrengths jako narzędzia wspierającego rozwój talentów studentów i ich wpływu na funkcjonowanie instytucji akademickich. Pojawiają się również rozważania nad rolą mediów społecznościowych w kreowaniu marki instytucji finansowych, postawy Generacji Z wobec przedsiębiorczości, czynniki wpływające na decyzję o kontynuowaniu edukacji na studiach drugiego stopnia oraz możliwości zastosowania sztucznej inteligencji w zarządzaniu projektami IT. Wspólnym mianownikiem tych analiz jest przekonanie, że rozwój

technologiczny powinien iść w parze ze wzmacnianiem kompetencji miękkich oraz tworzeniem środowiska sprzyjającego kreatywności i wymianie informacji zwrotnej.

Drugą grupą autorów są badacze koncentrujący się na tematyce zrównoważonej mobilności i konstrukcji pojazdów przyszłości. Podejmowane przez nich zagadnienia obejmują zarówno strategie planowania transportu z uwzględnieniem aspektów ekologicznych, jak i konkretne rozwiązania techniczne wdrażane w pojazdach prototypowych. Opisano tu m.in. studia przypadków dotyczące układów hybrydowych, gromadzenia danych w bolidach typu Formula Student, modyfikacji pojazdów specjalistycznych takich jak Polonez 6×2 Halftrack oraz koncepcji elektrycznego roweru z możliwością szybkiego ładowania. Całość ukazuje, że transformacja transportu wymaga jednoczesnego rozwoju w obszarach źródeł energii, projektowania konstrukcyjnego i algorytmów optymalizujących zużycie zasobów.

Trzecia grupa prac dotyczy zagadnień inżynierii mechanicznej, robotyki oraz lotnictwa. Studenci i ich opiekunowie prezentują tu projekty koncentrujące się na precyzyjnym sterowaniu i analizie dynamiki obiektów ruchomych. Wśród nich znalazły się między innymi opracowania dotyczące mobilnych robotów wykorzystujących logikę rozmytą, mikroprocesorowych układów sterowania CNC, badania nad stabilizacją wirników przy nierównomiernym rozkładzie mas oraz analizę aerodynamiki klap szczelinowych, przygotowaną w kontekście zawodów Air Cargo Challenge. Artykuły te potwierdzają, że integracja modelowania numerycznego z doświadczeniem praktycznym przyspiesza wdrażanie innowacji przemysłowych.

Kolejna grupa artykułów skupia się na materiałach i konstrukcjach przyjaznych środowisku. Przedstawione prace obejmują badania nad właściwościami włókien węglowych, struktur wykazujących gigantyczny magnetoopór, zastosowaniem geopolimerów jako bardziej ekologicznej alternatywy dla cementu portlandzkiego, a także metody wzmacniania belek z drewna klejonego prętami GFRP. Autorzy porównują także metody budowy ścian pod kątem ich wpływu na środowisko oraz analizują, jak drgania konstrukcyjne wpływają na komfort użytkowników budynków. Łączy je wspólna myśl – dążenie do uzyskania maksymalnej trwałości

materiałów i konstrukcji przy jednoczesnym minimalizowaniu ich śladu węglowego.

Inna grupa autorów koncentruje się na chemii, biotechnologii i inżynierii środowiska jako dziedzinach wspierających proces zielonej transformacji. Znajdują się tu opracowania dotyczące projektowania organokatalizatorów inspirowanych strukturami naturalnymi, analizy lotnych związków organicznych występujących w perfumach z wykorzystaniem metod data science oraz badań cytotoksyczności produktów pirolizy biomasy prowadzonych na różnych modelach biologicznych. Prace te dowodzą, że precyzyjna diagnostyka i analiza chemiczna stanowią niezbędny element oceny bezpieczeństwa technologii, które mają na celu ochronę środowiska.

Ostatni blok tematyczny łączy zagadnienia związane z relacją człowieka i technologii oraz z rozwiązaniami prozdrowotnymi. Na łamach niniejszej publikacji zaprezentowano m.in. badania wykorzystujące mapy ciepła w analizie zainteresowania użytkowników modelami 3D oraz projekt inteligentnego urządzenia wspierającego rehabilitację ruchową. Autorzy pokazują, że współczesna inżynieria wykracza poza ramy czysto techniczne – obejmuje również analizę percepcji użytkownika oraz poszukiwanie rozwiązań, które realnie wpływają na jakość życia.

Całość publikacji tworzy bogaty obraz współczesnej nauki – interdyscyplinarnej, odpowiedzialnej społecznie i zorientowanej na rozwiązywanie konkretnych problemów gospodarczych i środowiskowych. Każdy z zamieszczonych tekstów stanowi samodzielny wkład w rozwój swojej dziedziny, a razem pokazują one, jak twórcze i zintegrowane środowisko trzech Politechnik – Białostockiej, Lubelskiej i Rzeszowskiej – potrafi generować wartościowe i innowacyjne rozwiązania. Mamy nadzieję, że lektura tej monografii stanie się dla czytelników źródłem inspiracji, zachętą do współpracy i impulsem do odważnego przekraczania granic między dziedzinami wiedzy – z myślą o bardziej zrównoważonej przyszłości.

Te rozległe obszary badań, od inżynierii i technologii przez nauki środowiskowe i materiałowe aż po zarządzanie, odzwierciedlają dynamiczny i wielowymiarowy charakter współczesnej nauki uprawianej na Politechnikach. Pokazują, jak ważne jest poszukiwanie nowych ścieżek rozwoju, które są równocześnie zrównoważone, innowacyjne i skuteczne

w rozwiązywaniu rzeczywistych problemów. Niniejsza monografia ukazuje, jak wielką rolę polskie uczelnie techniczne odgrywają w rozwoju nauki i edukacji. Artykuły zawarte w tej publikacji dowodzą, że Politechniczna Sieć Via Carpatia sprzyja wymianie wiedzy i doświadczeń oraz współpracy międzyuczelnianej, co jest kluczowe dla rozwoju zarówno regionów Polski Wschodniej, jak i całego kraju.

Jakub Bis

Paula Korszla

Politechnika Lubelska | Koło Naukowe Menedżerów

Marcin Kościacz

Politechnika Lubelska | Koło Naukowe Menedżerów

Katarzyna Skwarczyńska

Politechnika Lubelska | Koło Naukowe Menedżerów

dr inż. Jakub Bis

Politechnika Lubelska | Katedra Ekonomii, Innowacji i Kapitału Społecznego

ZASTOSOWANIE KONCEPCJI CLIFTONSTRENGTHS W ROZWOJU DZIAŁALNOŚCI KOŁA NAUKOWEGO

APPLICATION OF THE CLIFTONSTRENGTHS CONCEPT IN THE DEVELOPMENT OF A STUDENT RESEARCH GROUP'S ACTIVITIES

S U M M A R Y

The article focuses on the importance of leveraging the strengths and talents of individuals. The CliftonStrengths Assessment, a tool developed by the Gallup Institute, helps identify talents and strengths, resulting in increased performance in organizations. The strengths-based approach has also found application in education, contributing to greater self-awareness among students and better development of their potential. In addition, a characteristic of effective teams that allows them to achieve a competitive advantage is agility, i.e. rapid response to change. The authors conducted an analysis of the potential of the Scientific Circle of Managers based on the talents and strengths of its members. In addition, members of the Scientific Circles of Lublin University of Technology evaluated the organizational culture of the circles to which they belong according to characteristics related to strengths-based development and agility.

Keywords

student scientific circle, CliftonStrengths, agile organisation

1. Wstęp

W obecnych czasach zasoby ludzkie, a więc wiedza, doświadczenie i umiejętności, stanowią niewątpliwie najcenniejsze aktywo. Na przestrzeni lat można zaobserwować rosnące zainteresowanie samorozwojem i kwestiami świadomości człowieka. Coraz częściej akcentuje się pozytywne aspekty działania człowieka, koncentruje się na talentach i naturalnym potencjale jednostek, odkrywając, że rozwój talentów przynosi więcej korzyści aniżeli pokonywanie słabości. Silne jednostki będą budować silne zespoły i czynić je bardziej efektywnymi.

Autorzy podjęli się rozpoznania niniejszego tematu, ponieważ chcieli poprawić jakość wzajemnych relacji i funkcjonowania Koła Naukowego Menedżerów. Za cel postawiono określenie potencjału zespołu dzięki identyfikacji talentów i naturalnych predyspozycji jego członków. Dodatkowo zbadano, jak członkowie kół naukowych Politechniki Lubelskiej postrzegają grupy, do których należą. Ocena miała mierzyć przede wszystkim natężenie obecności cech kultury organizacyjnej charakterystycznej dla organizacji wykorzystujących silne strony swoich członków oraz działających w sposób zwinny.

Sformułowano hipotezę badawczą następującej treści: koła naukowe działające na Politechnice Lubelskiej są organizacjami zwinnymi wykorzystującymi mocne strony swoich członków.

2. Koncepcja mocnych stron

Nauki psychologiczne przez długi czas koncentrowały się na badaniu negatywnych i patologicznych aspektów życia człowieka (lęki, choroby psychiczne, słabe strony). Jednocześnie marginalnie podchodziły do badania pozytywnych cech ludzi, wykorzystywania ich potencjału i mocnych stron [1].

Badacz D. Clifton stworzył filozofię wykorzystywania mocnych stron jako podstawy osiągania doskonałości. Koncepcja ta opiera się na założeniu, że jednostki mogą zyskać znacznie więcej, kiedy skoncentrują się na rozwijaniu swoich talentów, zamiast na pokonywaniu słabości i braków [2].

Analitycy Gallupa pod kierownictwem D. Cliftona przeprowadzili ponad 2 mln wywiadów jakościowych. Ich celem było znalezienie odpowiedzi na pytanie, co sprawia, że poszczególne osoby są tak dobre w tym, co robią, jak to się dzieje, że pewne rzeczy robią niemal w perfekcyjny sposób. Efektem przeprowadzanych badań było dostrzeżenie pewnych powtarzalnych wzorców zachowań, osobliwych cech, które reprezentowały dane osoby [3]. Odkryte prawidłowości pozwoliły na zdefiniowanie pojęcia talentu jako powtarzalnego sposobu myślenia, zachowania czy odczuwania, który może przynosić jakąś praktyczną użyteczność [4]. Wrodzone zdolności człowieka stanowią pewną podstawę. Jednak skuteczny rozwój możliwy jest dopiero poprzez przekształcenie się talentu w mocną stronę. Dokonuje się tego poprzez połączenie talentu z odpowiednią wiedzą (zawierającą przyswojone informacje i fakty) oraz umiejętnościami (nadającymi strukturę wiedzy, przekształcającymi ją na konkretne czynności i działania) [5].

Na podstawie przeprowadzonych badań Instytut Gallupa zaprojektował narzędzie pozwalające ludziom na identyfikację ich talentów i mocnych stron. Pierwotnie nazwano je oceną Clifton StrengthsFinder®, później nazwę zmieniono na ocenę CliftonStrengths® Assessment [6]. Narzędzie to składa się z 177 par stwierdzeń, spośród których badana osoba wskazuje to, które bardziej do niej pasuje. Pytania dotyczą m.in. preferowanego stylu pracy, motywacji, relacji z innymi ludźmi, umiejętności interpersonalnych, a także sposobu podejmowania decyzji. Na odpowiedź respondent ma 20 sekund, co umożliwia udzielenie najbardziej intuicyjnych odpowiedzi, ujawniających naturalne, wrodzone reakcje i wzorce myślenia. Za pomocą tego narzędzia dokonywany jest pomiar 34 cech talentu [7]. A więc najbardziej dominujących wzorców zachowań, obszarów, które mają największy potencjał do rozwinięcia mocnej strony. Trzydzieści cztery talenty zostały podzielone na cztery główne obszary: *influencing* – cechy związane z komunikacją i oddziaływaniem na innych, ułatwiają motywowanie i zarządzanie zespołem; *executing* – talenty w obszarze wykonywania,

szybkiego przechodzenia do działania; *relationship building* – osoby z takimi talentami scalają zespół i wpływają na przyjazną atmosferę w pracy; oraz *strategic thinking* – predyspozycje do analizowania, tworzenia różnych wariantów rozwiązania danego problemu [8].

Badacz J. Asplund podkreśla, że najlepsze zespoły zdają sobie sprawę z wyjątkowości każdego członka i jego indywidualnych mocnych stron. Wykorzystanie narzędzia CliftonStrengths pozwala na odkrycie ich i na użycie w sposób skuteczny, co przekłada się na zwiększenie efektywności, lepsze wyniki i większą satysfakcję pracowników [9]. Przeprowadzone w wielu przedsiębiorstwach badania wykazały, że organizacje, których zespoły wykorzystują swoje mocne strony, osiągają średnio o 29% większe zyski, o 19% wyższą sprzedaż oraz o 7% większe zaangażowanie klientów [10].

Podejście oparte na silnych stronach w ostatnich latach zyskało na znaczeniu w dziedzinie edukacji [11]. Ponad 1 tys. uczelni wyższych i szkół korzystało z oceny CliftonStrengths, co powoduje, że rokrocznie ponad 700 tys. osób odkrywa swoje talenty [12]. A. Schreiner i M. C. Louis uważają, że wsparcie uczelni w identyfikacji talentów studentów może być katalizatorem rozwoju ich mocnych stron oraz pomocą, aby w najlepszy możliwy sposób wykorzystali czas studiów [13]. Ponadto wdrożenie narzędzia CliftonStrengths w edukacji wyższej może spowodować wzrost samoświadomości studentów oraz ułatwić im proces planowania kariery i określania celów zawodowych [14]. Wyniki badań potwierdzają również, że podejścia oparte na mocnych stronach przyczynia się do zwiększenia wskaźników ukończenia studiów [15]. Natomiast A. Tomkovick i S. Swanson twierdzą, że absolwenci *college'u*, którzy wykorzystywali swoje mocne strony w pracy, mieli znacząco wyższą jakość życia, zaangażowanie w organizację i satysfakcję z pracy w porównaniu z tymi, którzy nie wykorzystywali swoich mocnych stron [16].

Naukowiec A. Vaccaro opisuje badanie przeprowadzone w St. John Fisher College w Rochester na grupie 190 studentów. Wykazało ono, że program CliftonStrengths był skuteczny w zwiększeniu samoświadomości studentów na temat ich talentów oraz wzbudził w nich chęć rozwijania mocnych stron. Ponadto wykonanie testu okazało się pomocne w budowaniu więzi społecznych i komunikacji w grupie, co pozytywnie wpłynęło na zdolność studentów do pracy w zespole. Osoby, które wzięły udział

w badaniu, zgłosiły również większą satysfakcję z procesu edukacji na swojej uczelni [17].

3. Koncepcja zwinnej organizacji

Zwinność rozumieć można jako umiejętność szybkiej reakcji, która prowadzi do odpowiedniego przystosowania się do nowych warunków w odpowiedzi na ciągłe, zaskakujące zmiany w otaczającym nas środowisku. Zwinna organizacja musi reagować na te zmiany najszybciej, jak to możliwe, elastycznie dostosowując do nich ludzi, cele oraz technologię [18]. Główne wyznaczniki zwinnej organizacji wyodrębnił Y. Y. Yusuf [19]. Są to:

- szybkość i elastyczność,
- odpowiedź na zmiany i niepewność,
- wysoka jakość i bardzo zindywidualizowane produkty,
- produkty i usługi o dużej zawartości informacji i wartości,
- uruchomienie kluczowych kompetencji,
- reakcja na kwestie społeczne i środowiskowe,
- synteza różnych technologii,
- integracja zarówno wewnątrz przedsiębiorstwa, jak i między firmami.

Początkowo pojęcie zwinności odnosiło się głównie do obszaru produkcji. W tym wypadku cecha ta rozumiana jest jako organizacja systemu wytwórczego, dzięki której jest on zdolny do szybkiego dostarczenia produktów w pełni dostosowanych do potrzeb i oczekiwań klienta. W obszarze tym powstało wiele narzędzi, takich jak *Just-in-time* (JIT) czy *Lean Production* (produkcja odchudzona). W błyskawicznie zmieniających się warunkach produkcji metody te mogą znacznie przyspieszyć proces przystosowania się do nowego środowiska. Z czasem zaczęto dostrzegać potencjał wykorzystania tych sposobów w organizacjach pozaprodukcyjnych [20]. Zarówno w kontekście przetwórstwa produkcyjnego, jak i zarządzania organizacją zwinność utożsamiać można z szybkością wykonywania działań. Warto zadać sobie jednak pytanie: czy możemy ją rozumieć tylko w ten sposób? Zdaniem P. Kidda zwinność zawiera szybkość, ale jest ona czymś znacznie więcej. Zwinność to zsyntetyzowane wykorzystanie rozwiniętych

i znanych technologii oraz metod wytwarzania. Oznacza to, że jest wzajemnie kompatybilna z Lean Manufacturing, CIM, TQM, MRP II, BPR, Employee Empowerment i OPT [21]. M. Crocitto i M. Youssef zwracają również uwagę na ogrom warunków, które muszą zostać spełnione, aby organizacja mogła skutecznie reagować na zmiany w środowisku. Ogromnie ważna okazuje się ludzka strona zwinności organizacyjnej. Zwinna organizacja łączy proces organizacyjny i ludzi z zaawansowaną technologią, aby sprostać wymaganiom klientów w zakresie proponowania zindywidualizowanych produktów i świadczenia usług wysokiej jakości w stosunkowo krótkim czasie. Możliwe jest to tylko wtedy, gdy zwinność zostanie uznana za systemową wartość organizacyjną i strategię forsowaną przez kierownictwo, zatem ważną rolę odgrywa tu też zaspokojenie potrzeb pracowników [22].

Lata badań oraz doświadczeń pozwoliły na zrozumienie, jak duża jest rola zwinności w kontekście osiągnięcia trwałej przewagi konkurencyjnej. A. Gunasekaran zidentyfikował najważniejsze kompetencje jako czynniki umożliwiające zwinność, wśród których szczególną uwagę zwrócił na całkowite wzmocnienie pozycji pracowników. Niezbędna jest zmiana struktur pionowych firm na poziome, w których konsensus wśród profesjonalistów i grup roboczych staje się nadrzędny wobec formalnej władzy. Upodmiotowienie pracowników wymaga zatem całkowitej zmiany relacji władzy, w ramach której menedżerowie podkreślają interdyscyplinarną współpracę i przywództwo, wspólne wartości i motywację do różnorodności wiedzy. Za sposób na konkurencyjność zwinna organizacja uznaje doskonałość w szerokim zakresie celów, a nie tylko pod względem kosztów lub jakości [23].

4. Metodologia i wyniki badań

Przy opracowywaniu artykułu zastosowano metodę sondażu diagnostycznego. Metoda ta jest jednym z narzędzi badań ilościowych, którego podstawową funkcją jest gromadzenie danych o przedmiotach strukturalnych i funkcjonalnych czy dynamice pewnych zjawisk społecznych, będących przedmiotem zainteresowania badacza. Zbieranie informacji dokonuje się w wyniku relacji, jaka zachodzi pomiędzy badaczem a badanymi, nazywanymi respondentami. Kolejną metodą wykorzystaną przy opracowywaniu

1. Zastosowanie koncepcji CliftonStrengths w rozwoju działalności koła naukowego

P. Korszla, M. Koślacz, K. Skwarczyńska, J. Bis

tekstu był *case study*, a więc analiza pojedynczego przypadku, przedstawiająca konkretną problematykę, pozwalająca wyciągnąć wnioski co do przyczyn i uzyskanych rezultatów. Celem studium przypadku jest pokazanie koncepcji wartych skopiowania i potencjalnych błędów, których należy unikać.

Przy prowadzeniu badań sondażowych autorzy zdecydowali się na zastosowanie techniki ankiety internetowej. We wrześniu 2022 r. dziewięciu członków Koła Naukowego Menedżerów (KNM) oraz jego opiekun wzięli udział w badaniu CliftonStrengths (wyniki zaprezentowano w tabeli 1). Ponadto na przełomie marca i kwietnia przeprowadzono badania ankietowe wśród studentów działających w kołach naukowych na Politechnice Lubelskiej. Kwestionariusz ankiety, umieszczony na platformie Microsoft Forms, wypełniły 74 osoby. Spośród respondentów największą grupę stanowili studenci Wydziału Mechanicznego (23) oraz Wydziału Zarządzania (20), następnie studenci z Wydziałów: Elektrotechniki i Informatyki (12), Inżynierii Środowiska (9), Podstaw Techniki (7) oraz Budownictwa i Architektury (3). Mężczyźni stanowili 59% badanych, a kobiety 41%.

	WYKONYWANIE									WPŁYWANIE							BUDOWANIE RELACJI							MYŚLENIE STRATEGICZNE											
	Osoby z cechami dominującymi w tym obszarze wiedzą jak zrealizować coś w praktyce. Kiedy potrzebujesz kogoś do wdrożenia rozwiązania, to są to ludzie, którzy będą pracować bez wycieńczenia, aby wykonać zadanie. Osoby te mogą w naturalny sposób wykorzystać swoje silne strony do zrozumienia koncepcji oraz wdrożenia jej w życie.									Talenty w obszarze wpływania na innych pozwalają zespołowi łatwiej dotrzeć do szerokiego grona odbiorców. Ludzie ci zawsze z łatwością sprzedają pomysły zespołu wewnątrz i na zewnątrz organizacji. Jeżeli potrzebujesz kogoś, kto może dodać twojemu zespołowi energii, będzie potrafili przemawiać oraz upewnić się, że twoja grupa jest słyszalna i widoczna, rozlej się za kimś z tego obszaru.							Ci, u których przeważają silne strony z obszaru budowania relacji międzyludzkich są jak klej, który trzyma zespół razem. Bez tego typu osób w zespole, jest on tylko zbiorowością indywidualności, bez ducha zespołu. Osoby z silnie rozwiniętymi talentami budowania relacji międzyludzkich mają unikalną możliwość tworzenia grup i organizacji, które są o wiele większe niż suma ich członków.							Osoby z silnie rozwiniętymi talentami w obszarze myślenia strategicznego są tymi, którzy utrzymują naszą koncentrację na tym co się może wydarzyć. Osoby te nieustannie pochłaniają i analizują informacje oraz pomagają zespołowi podejmować lepsze decyzje. Ludzie ci starają się stale kierować nasze myślenie ku przyszłości.											
	Osiąganie	Organizator	Pryncypialność	Bezstronność	Rozwaga	Dyscyplina	Ukierunkowanie	Odpowiedzialność	Naprawianie	Aktywator	Dowodzenie	Komunikatywność	Rywalizacja	Maksymalista	Wiara w siebie	Poważanie	Czar	Elastyczność	Współzależność	Rozwijanie innych	Empatia	Zgodność	Integrator	Indywidualizacja	Optymista	Bliskość	Analityk	Kontekst	Wizjoner	Odgrywczość	Zbieranie	Intelekt	Uczenie się	Strateg	
S1									1										2		5		3					4							
S2	1				4																						3				5		2		
S3	2					1						5			4										1		5					3			
S4	2						4																												
S5											2					5								1				5							
S6										5											4			1	2						3	4			3
S7																						3		1				5				4		2	
S8	2												3		4												6								1
S9														3				1					2								5				4
O			5													3			4					1	2			3	1	1	2	4	0	2	3
	4	0	0	1	0	1	1	1	1	2	0	0	2	1	0	3	1	1	0	3	0	2	2	5	2	1	3	1	1	2	4	0	2	3	

Rys. 1. Ocena CliftonStrengths członków Koła Naukowego Menedżerów

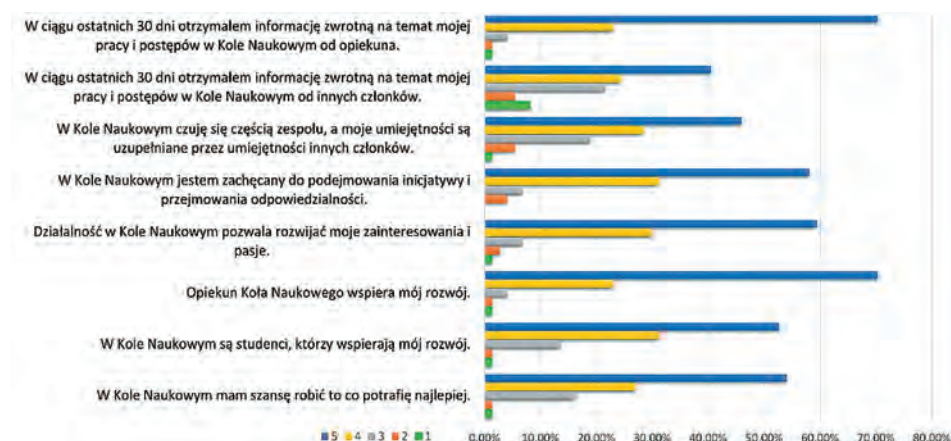
Źródło: opracowanie własne.

Wyniki badań ujawniły możliwości, jakie dają mocne strony poszczególnych członków KNM. Najwięcej talentów zidentyfikowano w obszarach relacji międzyludzkich (17) oraz myślenia strategicznego (16). Aż pięciu członków wykazuje talent indywidualizacji, czyli zdolność do rozpoznawania unikalnych cech i potencjału jednostek oraz kształtowania relacji międzyludzkich na podstawie tych cech. W kontekście funkcjonowania KNM pozwala to na dostrzeżenie predyspozycji każdej osoby, właściwe przydzielanie zadań oraz budowanie silnych i trwałych relacji. Dzięki temu koło staje się bardziej zgraną i zmotywowaną grupą, a członkowie odczuwają większą satysfakcję z pracy oraz bardziej angażują się w działania koła. Cztery osoby mają również talenty „osiąganie” i „zbieranie”. Te cechy przyczyniają się do motywowania pozostałych członków do stawiania ambitnych celów i dążenia do ich realizacji. Koło może zwiększać swoją efektywność i osiągać lepsze wyniki, podejmując działania zgodne z mocnymi stronami poszczególnych członków. Talent „zbieranie” jest cenny przy prowadzeniu badań naukowych oraz zgłębianiu różnych tematów związanych z działalnością koła. Badanie ujawniło także, że KNM ma mniej silnych stron z obszaru „wykonywanie” (9), takich jak organizator, pryncypialność i rozważa, oraz z „wpływanie” (9) – dowodzenie, komunikatywność i wiara w siebie. Zidentyfikowane braki w talentach mogą być użyteczne podczas rekrutacji nowych członków, skierowanej na uzupełnienie brakujących mocnych stron w zespole.

Podsumowując, przeprowadzenie oceny CliftonStrengths przez członków KNM pozwoliło na identyfikację predyspozycji oraz lepsze zrozumienie naturalnych automatyzmów poszczególnych osób. Dzięki temu członkowie koła mają szansę na podejmowanie aktywności, które są z nimi spójne, w obszarze których mogą działać najskuteczniej. Dodatkowo przeanalizowanie wyników wpływa korzystnie na komunikację i współpracę dzięki zrozumieniu wzajemnych różnic, co może stanowić wartość dodaną dla całego zespołu i umożliwiać świadome uzupełnianie się członków w wykonywaniu różnych zadań.

Uczestnicy badania pozytywnie oceniają funkcjonowanie kół naukowych, których są członkami. Wyniki badań pokazują, że 70% respondentów zdecydowanie zgadza się ze stwierdzeniem, że w ciągu ostatnich 30 dni otrzymali informację zwrotną na temat swojej pracy od opiekuna

koła. Ponad 20% wskazało na skali 4. Pojedynczy studenci ocenili, że nie dostali informacji zwrotnej dotyczącej ich postępów od swojego opiekuna. Większość członków koła naukowego uważa, że opiekun jest dla nich wsparciem w ich rozwoju. Najczęściej wystawianą oceną jest 5, co wskazuje na wysoką jakość opieki i wsparcia ze strony opiekuna koła. Jednocześnie warto zwrócić uwagę, że występują również oceny 4 i 3, co sugeruje, że nie wszyscy członkowie w równym stopniu odczuwają wsparcie ze strony opiekuna lub że potrzebują większej uwagi. Niemniej jednak wyniki wskazują, że opiekun koła naukowego odgrywa ważną rolę w rozwoju studentów.



Rys. 2. Ocena kluczowych czynników wpływających kulturę organizacyjną kół naukowych Politechniki Lubelskiej

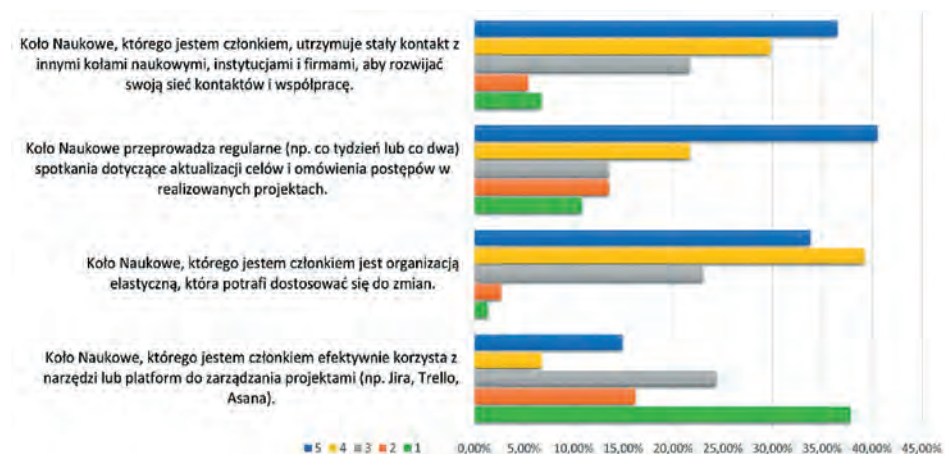
Źródło: opracowanie własne.

Jeśli chodzi o relacje poziome, pomiędzy członkami koła, to sytuacja wygląda nieco gorzej w porównaniu z relacją opiekun–student. W przypadku otrzymania informacji zwrotnej w ciągu ostatnich 30 dni od innych członków zespołu 40% ankietowanych zaznaczyło na skali 5, a ponad 20% dało odpowiedź 3 i 4. Ponadto członkowie koła nie są dla siebie wsparciem w rozwoju w takim samym stopniu jak opiekun. Co więcej, 50% respondentów zdecydowanie się zgodziła, że w kole naukowym są studenci, którzy wspierają ich rozwój. Nieco ponad 30% wskazała na skali 4, a ok. 15% zaznaczyło 3.

W ocenie studentów koła naukowe są miejscem, gdzie ich członkowie mogą rozwijać swoje zainteresowania i pasje – łącznie blisko 90% ankietowanych zdecydowanie zgodziło się z tym stwierdzeniem, wskazało bowiem na skali odpowiedzi 5 i 4. Dodatkowo wysoki odsetek respondentów bardzo dobrze ocenił kwestie podejmowania inicjatywy i brania odpowiedzialności. Blisko 60% studentów zgodziło się, że są zachęceni do podejmowania inicjatywy, a ponad 30% wskazało na skali 4. Mniej niż 10% zupełnie nie zgodziło się z tym stwierdzeniem.

Większość badanych członków kół zgadza się z tym, że są one miejscem, gdzie mają szansę robić to, co potrafią najlepiej. W tym przypadku 55% studentów przyznało ocenę 5, a 28% wskazało na skali 4, ok. 15% dało ocenę 3. Wynik ten sugeruje, że koło naukowe oferuje swoim członkom okazję do wykorzystania ich mocnych stron i umiejętności w ramach działań grupy. Tylko nieliczne osoby oceniły to nisko, czyli wskazały, że w kole naukowym nie mają możliwości wykorzystania swoich talentów.

Prawie 75% studentów odpowiedziało, że w kole naukowym czują się częścią zespołu, a ich umiejętności są uzupełniane przez innych członków (46% dało odpowiedź 5, a 28% wskazało 4). Natomiast 19% ankietowanych nie do końca czuje się częścią zespołu i nie uważa, że ich umiejętności są uzupełniane przez umiejętności innych członków koła.



Rys. 3. Ocena czynników mających wpływ na zwinność organizacji według członków kół naukowych Politechniki Lubelskiej

Źródło: opracowanie własne

Zdecydowana większość uczestników badania stopień utrzymywania kontaktu z innymi kołami naukowymi, instytucjami i firmami w kontekście współpracy ocenia bardzo dobrze lub dobrze. Wyniki te wskazują na to, że przeważająca część respondentów uważa, że koła naukowe, do których należą, przykładają dużą wagę do rozwoju sieci kontaktów i współpracy. Ponad 20% badanych przyznało ocenę 3, co pozwala wnioskować, że istnieje pole do poprawy w tym aspekcie. Należy jednak zauważyć, że występują również oceny 1 i 2, a to oznacza, że niektórzy respondenci uważają, że ich koło naukowe nie podejmuje wystarczająco dużo starań, aby poprawić swoje działania w zakresie nawiązywania i utrzymywania kontaktów.

Na podstawie przedstawionej skali ocen można stwierdzić, że większość kół naukowych regularnie organizuje spotkania dotyczące aktualizacji celów i omówienia postępów w realizowanych projektach. Wysoka liczba piątek w skali ocen świadczy o pozytywnym odbiorze tych spotkań przez członków koła. Jednakże warto zwrócić uwagę, że prawie 25% respondentów przyznało ocenę 1 lub 2, które sugerują, że w dużej części kół naukowych brakuje regularnych spotkań. Można więc wnioskować, że nie wszyscy członkowie wyrażają chęć regularnego udziału w spotkaniach, a także że spotkania te nie zawsze spełniają ich oczekiwania. Może to wynikać z braku jasno określonych celów, nieodpowiedniego czasu trwania zadań czy złej organizacji. Warto zatem, aby koła naukowe na Politechnice Lubelskiej zwróciły na ten aspekt większą uwagę.

Badane koła naukowe w opinii ich członków wydają się otwarte i potrafią dostosować się do zmian. Niemniej jednak co czwarty respondent nie ocenił tego obszaru wysoko. Może to sugerować, że w niektórych sytuacjach koła naukowe mają trudności z dostosowaniem się do zmian. Budujący może być fakt, że oceny niskie (1 i 2) występują w bardzo niewielkim stopniu. W opinii badanych koła naukowe są w stanie elastycznie reagować na nieprzewidziane czynniki ze strony otoczenia czy też problemy w samej organizacji.

Niestety z przeprowadzonych badań wynika, że koła naukowe Politechniki Lubelskiej nie korzystają efektywnie z narzędzi lub platform do zarządzania projektami. W całym badaniu ten obszar został oceniony najgorzej, co sugeruje, że instrumenty te w wielu kołach w ogóle nie

są stosowane. Jednakże na podstawie kilku ocen wyższych niż 3 można wnioskować, że w niektórych przypadkach koła naukowe stosują odpowiednie metody i platformy do zarządzania projektami.

Podsumowując: analiza wyników wskazuje na to, że koła naukowe Politechniki Lubelskiej mają wiele cech, które świadczą o ich zwinności i elastyczności. Niemniej jednak istnieją również obszary, które wymagają poprawy, takie jak prowadzenie regularnych spotkań dotyczących aktualizacji celów oraz efektywne korzystanie z narzędzi i platform do zarządzania projektami. Podniesienie ich jakości może przyczynić się do dalszego rozwoju i sukcesu kół naukowych na Politechnice Lubelskiej.

5. Podsumowanie

W niniejszym artykule przedstawiono dwie koncepcje: mocnych stron oraz zwinnej organizacji. Pierwsza opiera się na idei koncentrowania się na rozwoju talentów i predyspozycji jednostek zamiast skupiania się na słabościach. Badania wykazują, że wykorzystywanie mocnych stron przynosi większe korzyści, zarówno w kontekście indywidualnym, jak i organizacyjnym. Narzędzie CliftonStrengths® Assessment pozwala na identyfikację talentów i mocnych stron, co może przyczynić się do zwiększenia efektywności i satysfakcji pracowników.

Druga koncepcja dotyczy zwinnej organizacji, która cechuje się szybkością i elastycznością w reagowaniu na zmiany i niepewność. Zwinna organizacja dopasowuje się do nowych warunków pod względem ludzi, celów i technologii. Zwinność jest także związana z wysoką jakością i dostosowaniem produktów oraz zdolnością do integracji różnych technologii. Badania pokazują, że zwinne organizacje osiągają lepsze wyniki, a wykorzystanie zasady zwinności może mieć korzystny wpływ na różne obszary, takie jak produkcja, zarządzanie czy edukacja.

Autorzy dokonali pomiaru oraz analizy potencjału Koła Naukowego Menedżerów. Dzięki temu członkowie mają możliwość angażowania się w działania, które są zgodne z ich cechami i umożliwiają im najbardziej skuteczną pracę. Dodatkowo analiza wyników ma pozytywny wpływ na komunikację i współpracę poprzez zrozumienie wzajemnych różnic,

co może przynieść dodatkową wartość dla całego zespołu w postaci świadomego uzupełniania się członków w różnorodnych zadaniach.

Natomiast przeprowadzenie badań ankietowych wśród członków kół naukowych Politechniki Lubelskiej pozwoliło ocenić, czy studenckie organizacje w działaniach opierają się na wykorzystywaniu mocnych stron swoich członków oraz czy korzystają z rozwiązań charakterystycznych dla zwinnych organizacji. Wyniki badań ujawniły m.in., że koła naukowe są miejscem, gdzie student może rozwijać swoje zainteresowania, robić to, co potrafi najlepiej, a jego samokształcenie jest wspierane przez opiekuna i – w nieco mniejszym stopniu – pozostałych członków zespołu. Jednak wyniki badań pokazały także obszary, które wymagają poprawy. Dotyczą one kwestii zwinności, takich jak prowadzenie regularnych spotkań odnośnie do aktualizacji celów oraz efektywne korzystanie z narzędzi i platform do zarządzania projektami.

Zarówno koncepcja silnych stron, jak i idea zwinnej organizacji mają duże znaczenie w dzisiejszych czasach. Skupianie się na rozwoju talentów i wykorzystanie mocnych stron przynosi korzyści zarówno dla jednostek, jak i dla zespołów. Zwinność natomiast umożliwia dostosowanie się do dynamicznie zmieniającego się otoczenia, co jest współcześnie niezbędne. Zastosowanie tych założeń w praktyce może przyczynić się do rozwoju kół naukowych, a tym samym rozwoju ruchu studenckiego na Politechnice Lubelskiej.

Literatura

- [1] Seligman M., Csikszentmihalyi M., *Positive psychology – an introduction*, “American Psychologist” 2000, no. 55 (1), pp. 5–14.
- [2] Clifton D. O., Harter J. K., *Strengths investment*, in: *Positive organizational scholarship*, eds. Cameron K. S., Dutton J. E., Quinn R. E., San Francisco 2003, pp. 111–121.
- [3] Buckingham M., Clifton D., *Now, discover your strengths*, New York: Free Press 2001, pp. 22–23.
- [4] Hodges T. D., Clifton D. O., *Strengths-based development in practice*, in: *International handbook of positive psychology in practice: From research to application*, eds. Linley P. A., Joseph S., New York 2004, p. 257.
- [5] Buckingham M., Clifton D., *Now, discover your strengths*, Buckingham M., Clifton D., *Now, discover your strengths*, New York: Free Press 2001, p. 40–41.

- [6] Clifton, D. O., & Anderson, E., *StrengthsQuest: Discover and Develop Your Strengths in Academics, Career, and Beyond*. New York 2001: Gallup Press.
- [7] Asplund J., Agrawal S., Hodges T., Harter J., Lopez S. J., *The Clifton StrengthsFinder® 2.0 Technical Report: Development and Validation*, 2014, ss. 2–3.
- [8] <https://www.gallup.com/cliftonstrengths/en/253715/34-cliftonstrengths-themes.aspx> [dostęp: 25.02.2023 r.].
- [9] <https://www.gallup.com/cliftonstrengths/en/402578/best-teams-people-know-makes-person-unique.aspx> [dostęp: 25.02.2023 r.].
- [10] <https://www.gallup.com/cliftonstrengths/en/253808/cliftonstrengths-for-organizations.aspx> [dostęp: 25.02.2023 r.].
- [11] Louis M. C., *The Clifton StrengthsFinder® and Student Strengths development*, New York 2012, p. 4.
- [12] <http://www.strengthsquest.com/home.aspx> [dostęp: 5.03.2023 r.].
- [13] *Thriving in transitions: A research-based approach to college student success*, eds. Schreiner A., Louis M., Nelson D., 2012, p. 19–40.
- [14] Seemiller C., Clayton J., *Developing the strengths of Generation Z college students*, “Journal of College and Character” 2019, vol. 20, no. 3, p. 270.
- [15] Soria K. M., Stubblefield R., *Building a strengths-based campus to support student retention*, “Journal of College Student Development” 2015, vol. 56, no. 6, pp. 626–631.
- [16] Tomkovick C., Swanson S., *Using Strengthsfinder to identify relationships between marketing graduate strengths and career outcomes*, “Marketing Education Review” 2014, vol. 24, no. 3, pp. 197–211.
- [17] Dwyer T., Wenner B., Vaccaro A. i inni, *The implementation of Clifton-Strengths in a university setting*, “Journal of College and Character” 2018, vol. 19, no. 4, pp. 277–288.
- [18] Raport amerykański, [cyt. za:] Olak A., *Organizacja zwinna – wyznaczniki oraz kierunki strategii prowadzące do zwinności przedsiębiorstwa*, „E-mentor” 2017, nr 1 (68), ss. 48–52.
- [19] Yusuf Y. Y., Sarhadi M., Gunasekaran A., *Agile manufacturing: The drivers, concepts and attributes*, “International Journal of Production Economics” 1999, no. 62, pp. 35–36.
- [20] Olak A., *Organizacja zwinna – wyznaczniki oraz kierunki strategii prowadzące do zwinności przedsiębiorstwa*, „E-mentor” 2017, nr 1 (68), ss. 48–52.
- [21] Kidd P. T., *Agile manufacturing – Forging New Frontiers*, [cyt. za:] Yusuf Y. Y., Sarhadi M., Gunasekaran A., *Agile manufacturing: The drivers,*

concepts and attributes, “International Journal of Production Economics” 1999, no. 62, p. 36.

- [22] Crocitto, M., & Youssef, M. (2003). *The human side of organizational agility*. *Industrial Management & Data Systems*, 2003/103(6), ss. 388–395.
- [23] Gunasekaran, A., Yusuf, Y. Y., Adeleye, E. O., Papadopoulos, T., Kovvuri, D., & Geyi, D. G. (2019). Agile manufacturing – an evolutionary review of practices. *International Journal of Production Research*, 2019/57(15–16), ss. 5120–5140.

Angelika Remiszewska

Politechnika Białostocka | Studenckie Koło Naukowe Logistyki „LogiSQUAD”

Beata Grodzka

Politechnika Białostocka | Studenckie Koło Naukowe Logistyki „LogiSQUAD”

Natalia Kościuk

Politechnika Białostocka | Studenckie Koło Naukowe Logistyki „LogiSQUAD”

Mateusz Roszkowski

Politechnika Białostocka | Studenckie Koło Naukowe Logistyki „LogiSQUAD”

dr Marta Jarocka, prof. PB

Politechnika Białostocka | Międzynarodowa Katedra Logistyki i Inżynierii Usług

EKOLOGICZNE ROZWIĄZANIA DLA ZRÓWNOWAŻONEGO TRANSPORTU DROGOWEGO

ECOLOGICAL SOLUTIONS FOR SUSTAINABLE ROAD TRANSPORT

S U M M A R Y

The concept of sustainable transportation has become a priority within the framework of environmental policy, both in Poland and in the countries of the European Union. Accordingly, the development of solutions is observed, the application of which is aimed at reducing the harmfulness of the use of means of transport. The article attempts to identify and classify such pro-environmental solutions for road transport. In addition, the author's tool, developed in MS Excel, supporting the planning and organization of road transport in such a way as to minimize the emission of pollutants produced by cars, is described. It implements methods for optimizing travel routes, as well as a method with which transportation resources can be assigned to transportation tasks.

K e y w o r d s

sustainable transportation, ecology, route optimization

1. Wstęp

Nieustanny postęp cywilizacyjny jest ściśle związany z rozwojem transportu, który odgrywa kluczową rolę w globalnej gospodarce. Umożliwia on przemieszczanie w przestrzeni zarówno ludzi, jak i towarów na różne odległości, przy wykorzystaniu odpowiednich środków [1]. Wraz z rosnącymi potrzebami transportowymi zwiększa się również zapotrzebowanie na infrastrukturę komunikacyjną, w tym drogi, lotniska, porty czy linie kolejowe [2]. Ponadto rozwój transportu prowadzi do zwiększenia popytu na paliwo oraz związane z nim usługi, takie jak wydobywanie, przetwarzanie i dystrybucja paliw kopalnych. Jednakże tradycyjne środki transportowe emitują dużą ilość gazów cieplarnianych i innych związków chemicznych, szkodliwych oddziałujących na środowisko naturalne i zdrowie ludzi [3]. W związku z tym duże znaczenie zyskał zrównoważony transport drogowy, w którym zakłada się minimalizację negatywnego wpływu transportu na środowisko i zdrowie publiczne poprzez wykorzystanie ekologicznych rozwiązań komunikacyjnych, jednocześnie zapewniając skuteczne, bezpieczne i oszczędne przemieszczanie osób i towarów [4].

2. Zrównoważony transport drogowy

Transport drogowy jest jednym z głównych źródeł emisji zanieczyszczeń powietrza [5]. Z badań przeprowadzonych w Unii Europejskiej wynika, że odpowiada on za antropogeniczną emisję do atmosfery [6]:

- 32% wszystkich tlenków azotu,
- 23% tlenku węgla,
- 12% pyłów PM_{2.5},
- 10% związków organicznych,
- 8% pyłów PM₁₀.

Próba odpowiedzi na konflikty między środowiskiem naturalnym a działalnością człowieka podejmowana jest od lat 80. XX wieku w Europie w ramach polityki zrównoważonego rozwoju [7]. Stawia sobie ona

za cel zaspokojenie potrzeb i oczekiwań dzisiejszego społeczeństwa, nie ograniczając przy tym możliwości przyszłych pokoleń co do zaspokajania ich własnych. Oznacza to, że rozwój gospodarczy, społeczny i ekologiczny powinien być zrównoważony w taki sposób, aby nie przekroczyć granic zasobów naturalnych oraz nie zagrażać zdrowiu i dobrobytowi ludzi [8]. Elementem tej polityki jest zrównoważony transport drogowy, który zapewnia przemieszczanie się ludzi i towarów w sposób efektywny, ale przy minimalnym wpływie na środowisko oraz z uwzględnieniem potrzeb społecznych i ekonomicznych [4]. Skupia się ona w perspektywie długookresowej na przejściu z pojazdów napędzanych paliwami kopalnymi na te wykorzystujące energię odnawialną [9]. Ponadto zrównoważone podejście do komunikacji ma na celu zmniejszenie skali i wpływu indywidualnego transportu samochodowego na przestrzeń miejską, by powstrzymać takie zjawiska jak np. eksurbanizacja [10].

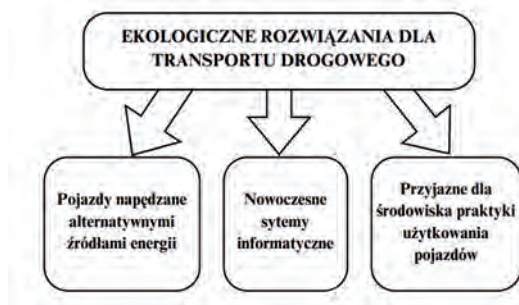
Zrównoważony transport odgrywa również ważną rolę z punktu widzenia polityki unijnej. Unia Europejska od wielu lat podejmuje wiele inicjatyw i działań na rzecz jego rozwoju. Jednym z jej głównych celów jest redukcja emisji gazów cieplarnianych [11]. W tym miejscu warto wspomnieć o normach Euro, czyli o europejskim standardzie emisji spalin. Norma Euro 1 zaczęła obowiązywać od 1993 roku i dotyczyła aut osobowych oraz lekkich ciężarówek. W kolejnych latach wprowadzano coraz surowsze zasady, zmuszające producentów silników do obniżenia emisji spalin i częstokształtów [12]. Obecnie obowiązuje norma Euro 6d [13], która jest modyfikacją standardu o tym samym numerze z 2014 roku [14]. W planach jest już norma Euro 7, która ma zacząć obowiązywać od lipca 2025 roku. Jest ona innowacyjna, gdyż po raz pierwszy wprowadza identyczne normy emisji dla pojazdów bez względu na rodzaj paliwa, z którego korzystają. Zmusi to producentów silników o zapłonie samoczynnym do ograniczenia emisji [15].

Ponadto w ramach europejskiego zielonego ładu Unia dąży do zerowej emisji w nowych samochodach osobowych i dostawczych do 2035 roku, co ma być osiągnięte m.in. poprzez zakaz sprzedaży aut spalinyowych [16]. Ta inicjatywa jest częścią pakietu działań politycznych, który ma na celu ograniczenie o 90% uwalniania gazów cieplarnianych przez transport do 2050 roku [17].

3. Ekologiczne rozwiązania dla transportu drogowego

Ekologia w transporcie stanowi kluczowy element współczesnej logistyki. Dotyczy ona pojazdów osobowych, transportu publicznego oraz towarowego, a także infrastruktury komunikacyjnej. W ramach działań proekologicznych poszukiwane i wdrażane są rozwiązania, które pozwolą na ograniczenie zanieczyszczenia powietrza, hałasu oraz negatywnych skutków związanych z transportem, takich jak: zanieczyszczenie wód, zanieczyszczenie i degradacja gleby, wyczerpywanie zasobów naturalnych. W celu redukcji powyższych problemów wykorzystywane są ekologiczne rozwiązania dla transportu drogowego [18].

Na rys. 1 przedstawiono klasyfikację omawianych rozwiązań.



Rys. 1. Klasyfikacja ekologicznych rozwiązań dla transportu drogowego

Źródło: opracowanie własne.

Jedną z grup proekologicznych rozwiązań dla transportu drogowego stanowią pojazdy napędzane alternatywnymi źródłami energii. Ich silniki są zasilane przez inne źródła energii niż paliwa kopalne. Emitują one mniej szkodliwych i trujących substancji do atmosfery, co przyczynia się do zmniejszenia negatywnego wpływu transportu na środowisko [19]. Zalicza się do nich pojazdy elektryczne i hybrydowe, pojazdy na biopaliwa, wodorowe oraz środki transportu z napędem gazowym CNG i LPG [20].

Innymi narzędziami sprzyjającymi rozwojowi ekologicznego transportu są nowoczesne systemy informatyczne, które wspomagają zarządzanie

procesami przewozowymi i magazynowymi. Dzięki odpowiednim aplikacjom możliwe jest precyzyjne planowanie tras przejazdu lub też optymalny przydział środków transportowych do zadań przewozowych, co w konsekwencji przyczynia się do minimalizacji liczby przejechanych kilometrów, a tym samym do zmniejszenia emisji szkodliwych spalin do atmosfery [21].

Na ekologiczny transport ma również wpływ zachowanie i styl jazdy kierowców, którzy też mogą zadbać o środowisko naturalne. W ostatnich latach modny stał się tzw. *ecodriving*, oznaczający styl jazdy, który w założeniu ma przekładać się na mniejsze zużycie paliwa oraz minimalizację emisji spalin [22]. Kierowcy coraz częściej doskonalą tę technikę ze względu na korzyści ekologiczne, ekonomiczne oraz eksploatacyjne [23]. Koncepcja ta znalazła zastosowanie m.in. w przedsiębiorstwach logistycznych, gdzie jej zasady są przekazywane podczas szkoleń dla zawodowych kierowców [22]. Ekojazda umożliwiła przedsiębiorstwom zmniejszenie kosztów, dzięki ograniczeniu zużycia paliwa czy poszczególnych części pojazdu (np. klocki hamulcowe). Ponadto ekokierowca powinien również poznać optymalną technikę zmiany biegów. Zaleca się zmianę biegu na wyższy w przedziale 2000–2500 obrotów na minutę dla pojazdów z silnikiem typu diesel. Ważne jest także, aby jak najdłużej utrzymywać stałą prędkość (stałe obroty), dzięki czemu praca silnika będzie równa i płynna. Kolejnym elementem *ecodrivingu* jest odpowiednie hamowanie. Przydatna w tym celu jest metoda zwana „hamowaniem silnikiem”, która polega na zwolnieniu pedału przyspieszenia i stopniowej redukcji biegów. Istotne jest także właściwe rozmieszczenie ładunku. O ile jest to możliwe, towar należy umieszczać w środku pojazdu, a nie na zewnątrz [24].

Inną ekologiczną praktyką użytkowania pojazdów jest korzystanie z systemu „parkuj i jedź”, który jest połączeniem podróży odbywanych indywidualnie i transportem zbiorowym. Kierowcy samochodów osobowych zostawiają pojazd na wyznaczonym parkingu i kontynuują podróż komunikacją publiczną (np. autobusem, tramwajem) [25].

Podobnym rozwiązaniem jest system *kiss and ride*, który polega na krótkim postoju (1–2 min) samochodu osobowego w wyznaczonym do tego miejscu. System ten ma ułatwić szybką przesiadkę pasażera do zbiorowego środka transportu [26]. Tego typu parkingi znajdują się zwykle przy lotniskach bądź dworcach.

4. Autorskie narzędzie wspomagające planowanie transportu drogowego

Transport drogowy odgrywa znaczącą rolę w globalnej gospodarce, co z kolei wiąże się z emisją dużych ilości szkodliwych substancji do atmosfery. W związku z tym opracowano narzędzie, które mogłoby wspomóc proces planowania komunikacji w taki sposób, aby zminimalizować liczbę przejechanych kilometrów celem ograniczenia emisji spalin. Zaimplementowano w nim metodę ewolucyjną względem problemu komiwojażera oraz metodę zadania przydziału, z wykorzystaniem której można przydzielić środki transportowe do zadań przewozowych.

4.1. Metoda ewolucyjna rozwiązująca problem komiwojażera

Problem komiwojażera (ang. *Travelling Salesman Problem* – TSP) jest jedną z najbardziej znanych trudności optymalizacyjnych, polegającą na znalezieniu najkrótszej zamkniętej trasy przechodzącej przez wszystkie wierzchołki w pełnym grafie ważonym, czyli na znalezieniu minimalnego cyklu Hamiltona [27, 28]. Komiwojażer musi przejechać przez n miast i na końcu wrócić do miejsca startowego. Odnalezienie cyklu Hamiltona o minimalnej sumie wag krawędzi jest wymagające obliczeniowo, ponieważ w grafie pełnym istnieje $n - 1$ (!) możliwych cykli Hamiltona. Na przykład dla grafu o sześciu wierzchołkach liczba tych cykli wynosi 120, a dla 10 wierzchołków już 362 880 [29]. Dlatego TSP jest zaliczany do klasy problemów NP-trudnych, co oznacza, że nie istnieje znany algorytm, który byłby w stanie znaleźć najlepsze rozwiązanie w czasie wielomianowym. Jednakże są różne metody heurystyczne, które pozwalają na znalezienie wyjścia zbliżonego do optymalnego [30].

W opracowanym narzędziu optymalna trasa została wyznaczona z wykorzystaniem metody ewolucyjnej, zaimplementowanej w programie Solver MS Excel. Metoda bazuje na zasadach selekcji naturalnej. W tym przypadku populacja składa się z możliwych tras, które są ewaluowane

pod kątem ich długości. Następnie najlepsze trasy są wybierane i krzyżowane, aby wygenerować kolejne populacje. Proces ten powtarzany jest wielokrotnie aż do osiągnięcia zbieżności [30].

Funkcjonalność opracowanego narzędzia przedstawiono na przykładzie, założywszy, że punkt startowy znajduje się w Białymstoku, a kierowca musi pojechać do klientów w Gdańsku, Krakowie, Warszawie, Łodzi oraz Lublinie. Użytkownik w pierwszej kolejności wprowadza miasta lub adresy, które powinny znaleźć się na trasie. Następnie w wygenerowanej macierzy wpisuje odległości pomiędzy poszczególnymi miastami (rys. 3). W oknie dialogowym „parametry” dodatku Solver klika pole „rozwiąż”. Po dokonaniu wyżej opisanych kroków otrzyma tabelę z kolejnością miejsc, ustaloną tak, aby trasa przejazdu była najkrótsza (rys. 4).

**1. Wypisz miasta, które chcesz odwiedzić
zaczynając od lokalizacji startowej**

Indeks	Miasto
1	Białystok
2	Gdańsk
3	Kraków
4	Warszawa
5	Łódź
6	Lublin

2. Macierz z uzupełnionymi odległościami pomiędzy poszczególnymi miastami.

Miasto	Białystok	Gdańsk	Kraków	Warszawa	Łódź	Lublin
Białystok	0	397	494	199	324	249
Gdańsk	397	0	557	417	327	507
Kraków	494	557	0	298	244	328
Warszawa	199	417	298	0	136	172
Łódź	324	327	244	136	0	298
Lublin	249	507	328	172	298	0

Rys. 2. Widok panelu dla użytkownika (macierz odległości)

Źródło: opracowanie własne.

Opracowane narzędzie ma także funkcję obliczenia ilości dwutlenku węgla emitowanego podczas danej trasy. Dla analizowanego przypadku wynosi ono 263,89 kg przy założeniu, że podróż odbywa się nowym

samochodem dostawczym, który emituje 157,7 g CO₂/km [31]. Dzięki zastosowaniu narzędzia i zoptymalizowaniu trasy można minimalizować liczbę przejechanych kilometrów, co wiąże się z mniejszą emisją dwutlenku węgla do środowiska.

OPTIMALNA TRASA PRZEJAZDU			
Trasa przejazdu			Pokonana odległość
Białystok	→	Gdańsk	397
Gdańsk	→	Łódź	327
Łódź	→	Kraków	244
Kraków	→	Lublin	328
Lublin	→	Warszawa	172
Warszawa	→	Białystok	199
Łączna liczba pokonanych kilometrów			1667
Emisja CO ₂ [kg]			262,89

Rys. 3. Widok panelu końcowego przedstawiającego kolejność miast optymalnej trasy

Źródło: opracowanie własne.

4.2. Zadanie przydziału

Ekologiczne podejście do organizacji komunikacji może mieć również związek z przydzielaniem środków transportu do realizacji przewozu w taki sposób, aby uniknąć pustych przebiegów. W związku z tym w narzędziu zaproponowano wykorzystanie zadania przydziału, polegającego na optymalnej alokacji zasobów transportowych do zadań przewozowych tak, aby zminimalizować koszty transportu, a tym samym zmniejszyć emisję zanieczyszczeń do atmosfery.

Omawiany problem oraz sposób jego rozwiązania przedstawiono na poniższym przykładzie.

Przedsiębiorstwo transportowe dysponuje trzema typami taboru, przy czym ma 5 pojazdów o ładowności 10 t, 4 pojazdy o ładowności 13 t oraz 2 pojazdy o ładowności 30 t. Ich jednostkowy koszt eksploatacji wynosi odpowiednio 6 zł/km, 9 zł/km i 12 zł/km. W analizowanym okresie przedsiębiorstwo powinno zrealizować pięć zadań przewozowych o wielkości

41 t, 9 t, 33 t, 15 t i 37 t do klientów oddalonych odpowiednio o 400 km, 320 km, 244 km, 150 km i 630 km. Użytkownik opracowanego narzędzia zaczyna od wpisania liczby zadań przewozowych, następnie określa ich wielkości. Potem wpisuje długości tras. W kolejnym kroku określa, ile ma rodzajów środków transportu i w jakiej ilości. Następnie wyszczególnia pojemność pojazdów i koszty eksploatacji (rys. 5). W oknie dialogowym „parametry” dodatku Solver klika pole „rozwiąż”. Dzięki zaimplementowanym ograniczeniom otrzymuje tabelę z optymalnym rozwiązaniem (rys. 5), ilustrującą liczbę środków transportowych przydzielonych do poszczególnych zadań przewozowych.

METODA PRZYDZIAŁU

Liczba zadań przewozowych do wykonania:	5
--	---

Wielkość zadań transportowych [t]				
nr 1	nr 2	nr 3	nr 4	nr 5
41	9	33	15	37

Długość tras przewozu				
nr 1	nr 2	nr 3	nr 4	nr 5
400	320	244	150	630

Liczba rodzajów środków transportu:	3
--	---

Liczba dostępnego taboru nr 1:	5
---------------------------------------	---

Liczba dostępnego taboru nr 2:	4
---------------------------------------	---

Liczba dostępnego taboru nr 3:	2
---------------------------------------	---

Pojemność pojazdów [t]		
nr 1	nr 2	nr 3
10	13	30

Koszty transportu zł/km		
nr 1	nr 2	nr 3
6	9	12

Rys. 4. Widok panelu dla użytkownika do wprowadzania wymaganych danych dotyczących zadań przewozowych

Źródło: opracowanie własne.

	Liczba odpowiednich środków transportu		
	Pojazd typu 1 [10 t]	Pojazd typu 2 [13 t]	Pojazd typu 3 [30 t]
Zadanie przewozowe nr 1	0	1	1
Zadanie przewozowe nr 2	1	0	0
Zadanie przewozowe nr 3	2	1	0
Zadanie przewozowe nr 4	1	1	0
Zadanie przewozowe nr 5	1	0	1
Przewidywany koszt wykonania zleceń transportowych			29 034,00 zł
Emisja CO ₂ [kg]			1218,29

Rys. 5. Widok panelu końcowego przedstawiającego optymalne rozwiązanie dotyczące odpowiedniego przydzielenia środków transportu do zadań przewozowych

Źródło: opracowanie własne.

Zastosowanie powyższego narzędzia pozwala na efektywne wykorzystanie zasobów, skuteczne zminimalizowanie kosztów (w szczególności tych związanych z eksploatacją) oraz poprawę wydajności. W przykładzie, podobnie jak w przypadku problemu komiwojażera, obliczona została emisja dwutlenku węgla podczas wykonywania zadań przewozowych, która wyniosła 1218,29 kg. Szczególnie istotne jest to, że dzięki eliminacji pustych przebiegów redukowane jest wydzielanie gazów cieplarnianych, a także minimalizowany jest poziom kongestii drogowej.

5. Podsumowanie

W artykule zidentyfikowano oraz sklasyfikowano różne proekologiczne rozwiązania dla transportu drogowego, których zastosowanie ma na celu zmniejszenie negatywnego wpływu tego sektora usług na środowisko. Do omawianych rozwiązań zaliczają się m.in. pojazdy napędzane alternatywnymi źródłami energii, w tym z napędem elektrycznym i hybrydowym, pojazdy wykorzystujące biopaliwa, wodór oraz środki transportu z napędem gazowym opartym na CNG i LPG. Ponadto to tych sposobów zaliczyć można innowacyjne systemy informatyczne oraz praktyki użytkowania pojazdów, które są przyjazne dla środowiska. W tekście przedstawiono także autorskie narzędzia opracowane w MS Excel, wspomagające planowanie i organizację komunikacji drogowej, z myślą o minimalizowaniu

emisji zanieczyszczeń produkowanych przez pojazdy. Zaimplementowano w nim metodę ewolucyjną rozwiązującą problem komiwojażera, a także zadanie przydziału, które umożliwia przydzielenie środków transportowych do zadań przewozowych w sposób zoptymalizowany, pozwalający uniknąć pustych przebiegów.

Literatura

- [1] Banister D., *The trilogy of distance, speed and time*, "Journal of Transport Geography" 2011, no. 19 (4).
- [2] Wróbel I., *Kierunki zmian polskiej infrastruktury transportowej ze szczególnym uwzględnieniem transportu kolejowego – część I*, „Prace Instytutu Kolejnictwa” 2020, z. 163.
- [3] Ministerstwo Infrastruktury, *Polityka transportowa Państwa na lata 2006–2025*, Warszawa 2005.
- [4] Miłaszewicz D., Ostapowicz B., *Warunki zrównoważonego rozwoju transportu w świetle dokumentów UE*, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Studia i Prace Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania” 2011, nr 24.
- [5] Chudy A., *Rola elektromobilności w ograniczaniu emisji zanieczyszczeń powietrza i gazów cieplarnianych*, Wybrane Zagadnienia z Zakresu Ochrony i Zagrożeń Środowiska, red. M. Babicz, B. Nowakowicz-Dębek, 2021.
- [6] Wojtal R., *Zanieczyszczenie powietrza w miastach w aspekcie ruchu samochodowego*, „Transport Miejski i Regionalny” 2018, nr 1.
- [7] Gadziński J., *Rozwój transportu drogowego jako zagrożenie dla środowiska przyrodniczego – przykład aglomeracji poznańskiej*, „Journal of Ecology and Health” 2011, R. 15, nr 4.
- [8] Kostecka J., Podolak A., Pączka G., Mazur-Pączka A., Garczyńska M., *Nowe ujęcie wartościowania zasobów środowiska (powiązania problemów ekonomicznych i ochrony środowiska w kontekście OOS)*, „Polish Journal for Sustainable Development” 2019, t. 23, nr 1.
- [9] Komisja Europejska, *Sustainable transport*, https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/sustainable-transport_en [dostęp: 13.04.2023].
- [10] Brzeziński A., Rezwow M., *Zrównoważony transport – ekologiczne rozwiązania transportowe*, „Ekorozwój i Agenda” nr 21, 2007.
- [11] Paradowska M., *Polityka zrównoważonego rozwoju transportu UE w kontekście wybranych aspektów ekonomiki polskich miast*, „Ekonomia i Środowisko” 2013, nr 3 (46).

- [12] Eur-Lex. Baza aktów prawnych Unii Europejskiej, Dyrektywa Rady 93/59/EWG z dnia 28 czerwca 1993 r., <https://eur-lex.europa.eu> [dostęp: 13.04.2023].
- [13] Eur-Lex. Baza aktów prawnych Unii Europejskiej, Rozporządzenie Komisji (UE) 2023/443 z dnia 8 lutego 2023 r., <https://eur-lex.europa.eu> [dostęp: 13.04.2023].
- [14] Eur-Lex. Baza aktów prawnych Unii Europejskiej, Rozporządzenie Komisji (UE) nr 459/2012 z dnia 29 maja 2012 r., <https://eur-lex.europa.eu> [dostęp: 13.04.2023].
- [15] Eur-Lex. Baza aktów prawnych Unii Europejskiej, Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie homologacji typu pojazdów silnikowych i silników oraz układów, komponentów i oddzielnych zespołów technicznych przeznaczonych do tych pojazdów w odniesieniu do emisji i trwałości akumulatorów (Euro 7) oraz uchylecia rozporządzeń (WE) nr 715/2007 i (WE) nr 595/2009, <https://eur-lex.europa.eu> [dostęp: 13.04.2023].
- [16] Parlament Europejski, *Unijny zakaz sprzedaży nowych samochodów spalinowych od 2035 r. – co to oznacza?*, <https://www.europarl.europa.eu/> [dostęp: 6.04.2023].
- [17] Komisja Europejska, *Transport a zielony ład*, <https://commission.europa.eu> [dostęp: 13.04.2023].
- [18] United Nations Economic Commission for Europe, United Nations Regional Commissions with support from the International Road Transport Union and the International Union of Railways, *Transport for sustainable development, United Nations*, 2015.
- [19] Wornalkiewicz W., *Zasilanie alternatywne pojazdów samochodowych*, „Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Technicznej w Katowicach” 2022, t. 15.
- [20] Ehrenberger S., Dunn J., Jungmeier G., Wang H., *An international dialogue about electric vehicle deployment to bring energy and greenhouse gas benefits through 2030 on a well-to-wheels basis*, “Transportation Research Part D: Transport and Environment” 2019, no. 19.
- [21] de la Torre R., Corlu C. G., Faulin J., Onggo B. S., Juan A. A., *Simulation, optimization, and machine learning in sustainable transportation systems: models and applications*, “Sustainability” 2021, nr 13 (3), pp. 1–21.
- [22] Auerbach P., Kukla W., *Istota i zasady ekofazdy, czyli integralna część szkolenia w przedsiębiorstwach świadczących usługi transportowe*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej” 2013, nr 60.
- [23] Caban J., Sopoćko M., Ignaciuk P., *Ecodriving, przegląd stanu zagadnienia*, „Autobusy” 2017, R. 18, nr 6.
- [24] Zgodziński T., *Ewolucja stosowania paliwa gazowego do napędu pojazdów samochodowych i związane z tym zagrożenia dla użytkownika*, „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza. Kwartalnik CNBOP” 2012.

- [25] Ortega J., Toth J., Peter T., *Planning a park and ride system: a literature review*, "Future Transportation" 2021, nr 1 (1).
- [26] Śliwka M., Łyko P., Pomykała R., *Aspekty ekonomiczne i ekologiczne wybranych alternatywnych źródeł zasilania samochodów osobowych*, „Logistyka” nr 4/2015.
- [27] Sharma R. K., Kumar S., *Impact of transportation system on environment in developing countries "a review"*, "International Journal of Research Review in Engineering Science and Technology" 2012.
- [28] Węgrzyn J., *Rozwiązywanie problemu komiwojażera za pomocą metody ewolucyjnej z Excela 2010*, „Gospodarka Materiałowa i Logistyka” 2013, t. 12.
- [29] Baj-Rogowska A., *Planowanie tras z wykorzystaniem narzędzia Solver jako zadanie logistyczne w małej firmie*, „Prace Naukowe Wyższej Szkoły Bankowej w Gdańsku” 2013, t. 28.
- [30] Jakubowska A., Piechocka K., *W poszukiwaniu optymalnej trasy – wybrane algorytmy w zastosowaniu do problemu komiwojażera*, „Journal of TransLogistics” 2015, t. 1, nr 1.
- [31] European Parliament, *CO₂ emission standards for new cars and vans 'Fit for 55' package*, <https://www.europarl.europa.eu/> [dostęp: 6.04.2023].

Ernest Dąbrowski

Politechnika Rzeszowska | Studenckie Koło Naukowe Komunikacji Marketingowej „Brief”

Gabriela Józefczyk

Politechnika Rzeszowska | Studenckie Koło Naukowe Komunikacji Marketingowej „Brief”

Julia Dyląg

Politechnika Rzeszowska | Studenckie Koło Naukowe Komunikacji Marketingowej „Brief”

dr Hanna Hall

Politechnika Rzeszowska | Katedra Marketingu

mgr Ewelina Nycz

Politechnika Rzeszowska | Katedra Marketingu

SOCIAL MEDIA JAKO NARZĘDZIE PROMOCJI INSTYTUCJI BRANŻY BANKOWEJ – NA PRZYKŁADZIE ING BANKU ŚLĄSKIEGO

SOCIAL MEDIA AS A PROMOTIONAL TOOL FOR BANKING INSTITUTIONS – THE CASE OF ING BANK ŚLĄSKI

S U M M A R Y

The aim of the article *Social media as a tool for promoting institutions in the banking industry – the case of ING Bank Śląski* is to present the significance of social media in promoting banking services using the example of the activities of ING Bank Śląski. The authors also draw attention to ways of using social media in creating relationships with bank clients and their positive image. They give particular attention to the necessity of professional planning of promotional campaigns based on social media, given that such actions ultimately affect the success of the organizations concerned, as evidenced by the effects of the activities of ING Bank Śląski presented in the empirical part of the article.

Keywords

banking, bank promotion, promotion of banking services, social media platforms

1. Wprowadzenie

W obliczu rozwoju technologii informatycznych od początku XXI wieku tradycyjne metody marketingowego oddziaływania przedsiębiorstw na rynek stawały się mniej efektywne. Ze względu na coraz szerszy dostęp społeczeństwa do Internetu, a szczególnie wzrost popularności mediów społecznościowych firmy zaczęły dostrzegać ich użyteczność w wielu obszarach swojego funkcjonowania i przenosić coraz większą część swojej działalności promocyjnej do świata wirtualnego. Na szczególną uwagę pod tym względem zasługują instytucje branży bankowej ze względu na ich istotny wpływ na sytuację gospodarczą państwa.

Celem niniejszej publikacji było przedstawienie znaczenia mediów społecznościowych w procesie promowania usług bankowych na przykładzie działalności ING Banku Śląskiego. W teoretycznej części artykułu przedstawiono m.in. rozwój social mediów na przestrzeni lat, natomiast empiryczna część opiera się na analizie działalności ING Banku Śląskiego w sferze wirtualnej.

Punktem wyjścia do analizy podjętej przez autorów jest zaprezentowanie definicji, rozwoju i rodzajów portali społecznościowych. Zagadnieniom tym poświęcono kolejny punkt.

2. Definicje, rozwój i klasyfikacje współczesnych portali społecznościowych

Według definicji *Słownika języka polskiego* Polskiego Wydawnictwa Naukowego „Portal społecznościowy to serwis internetowy współtworzony przez społeczność internautów o podobnych zainteresowaniach, który umożliwia kontakt z przyjaciółmi i dzielenie się informacjami, zainteresowaniami itp.” [1].

Pierwsze portale społecznościowe powstały z końcem lat 90. XX wieku, jednak ze względu na stosunkowo niską informatyzację społeczeństwa ówczesnie nie cieszyły się zbyt dużą popularnością. Przełom w rozwoju tego typu platform przyniosło powstanie w 2004 roku Facebooka. Portal ten, założony przez Marka Zuckerberga, początkowo miał służyć jako platforma integracyjna dla studentów Harvardu. Z biegiem czasu ze względu na specyficzną budowę stał się popularny w Stanach Zjednoczonych, a następnie na całym świecie [2]. Polskojęzyczna wersja tej platformy pojawiła się w 2008 roku, w 2011 zaś powstała wersja mobilna, co dodatkowo wpłynęło na wzrost jej upowszechnienia. Warto również wspomnieć o internetowym komunikatorze Facebook Messenger, którego powstanie było następstwem działań twórców Facebooka, zmierzających do zwiększenia zainteresowania platformą. Łatwość w obsłudze była kluczowym czynnikiem zwiększającym sławę tego komunikatora [3]. Należy jednak wspomnieć, że mimo wieloletniego, systematycznego wzrostu zainteresowania Facebookiem w ostatnich latach proces ten wyhamował. W ostatnich trzech miesiącach 2021 roku odnotowano dzienną liczbę aktywnych osób na Facebooku na poziomie 1,929 mld, co oznaczało spadek w porównaniu z trzecim kwartałem o ok. 1 mln [4]. Zmiany te spowodowane były m.in. silną konkurencją ze strony innych serwisów oraz narastającymi kontrowersjami wokół Facebooka związanymi z bezpieczeństwem danych oraz dezinformacją. Jedną z najpopularniejszych kwestii dotyczących wykorzystania danych użytkowników było używanie Facebooka do oddziaływania na wynik wyborów prezydenckich w USA w 2016 roku. W odróżnieniu od wcześniejszych akcji dezinformacyjnych, które wiązały się z założeniem własnych kanałów komunikacji, działalność na portalach społecznościowych była bardzo prosta [5].

W literaturze wyróżnia się następujące rodzaje portali społecznościowych [6]:

- fora dyskusyjne,
- blogi,
- komunikatory internetowe,
- sieci P2P,
- kanały IRC,
- gry komputerowe zbudowane w wirtualnym świecie,
- miasta internetowe.

Dzięki forum dyskusyjnym możliwe jest dzielenie się wiedzą, doświadczeniami i opiniami w szerokim gronie użytkowników. Fora stanowią ważne źródło informacji, a także pozwalają na rozwijanie kompetencji społecznych oraz umiejętności interpersonalnych, empatii i krytycznego myślenia.

Blogi mogą mieć charakter osobisty, służyć do dzielenia się wiedzą lub do prowadzenia działań marketingowych. Są one także istotnym źródłem informacji dla internautów, jak również pozwalają na rozwijanie umiejętności pisarskich i twórczych.

Komunikatory internetowe umożliwiają nie tylko wymianę wiadomości tekstowych, ale także rozmowy głosowe i wideo. Dzięki nim łatwiej można utrzymywać kontakt z innymi osobami, a także prowadzić działania biznesowe czy edukacyjne.

Sieci P2P pozwalają na wymianę informacji między użytkownikami bez pośrednictwa serwera. Stosuje się je w celu udostępniania plików muzycznych, filmów, programów komputerowych oraz innych zasobów.

Kanały IRC umożliwiają prowadzenie rozmów w grupie na określony temat lub w ramach prywatnych wiadomości. Są często wykorzystywane w celach naukowych. Eksperci i badacze używają ich do dzielenia się swoją wiedzą i doświadczeniami.

Gry komputerowe zbudowane w wirtualnym świecie pozwalają na rozwijanie umiejętności społecznych, jakimi są m.in. współpraca, negocjacje i rozwiązywanie problemów.

W miastach internetowych użytkownicy mogą projektować budynki, organizować wydarzenia oraz rozwijać infrastrukturę. Pozwalają one na rozwijanie umiejętności zarządzania oraz kreatywności.

Reasumując, warto podkreślić, że z roku na rok rośnie liczba użytkowników korzystających z tych platform i z ich pomocą coraz częściej nawiązywane są nowe kontakty, relacje biznesowe oraz przyjaźnie. Z drugiej strony rozwój portali społecznościowych niesie ze sobą pewne zagrożenia, takie jak uzależnienie od mediów społecznościowych czy naruszenie prywatności. Z tego względu ważne jest, aby użytkownicy byli świadomi korzyści i ryzyka związanych z korzystaniem z portali społecznościowych oraz aby twórcy tych serwisów dbali o bezpieczeństwo swoich klientów.

Portale społecznościowe wciąż stanowią ważny element współczesnej kultury internetowej i mają potencjał do dalszego rozwoju. Są one również

platformą działań marketingowych w różnych branżach, o czym będzie mowa w kolejnych częściach artykułu.

3. Media społecznościowe jako narzędzie promocji usług bankowych

Będąc uczestnikiem rynku i chcąc sprzedać swoje produkty klientom, banki muszą zadbać o ich reklamę. Promocja usług bankowych związana jest z koniecznością przestrzegania zasad uczciwego obrotu, nad czym czuwa Komisja Nadzoru Finansowego. Określiła ona m.in. zbiór norm dotyczących reklamowania usług bankowych jako najszerszego obszaru działań promocyjnych, zgodnie z którymi reklama powinna być zgodna z zasadami uczciwej konkurencji oraz nie naruszać wizerunku banków jako instytucji zaufania publicznego [7]. Nie może ona wprowadzać klientów w błąd ani nawet stwarzać takiej możliwości. Mowa tutaj m.in. o cechach reklamowanej usługi, kosztach z nią związanych czy czasie dostępności.

Banki, chcąc reklamować swoje usługi w telewizji lub w Internecie, muszą zgodzić się na wszystkie zapisy uchwały KNF i do niej dostosować treść materiału promocyjnego. Każdego produktu bankowego dotyczą inne wymagania związane z przedstawieniem go w reklamie. Na przykład, jeśli odnosi się ona do rachunku bankowego, to konieczne jest zawarcie szczegółowych informacji podanych w uchwale, m.in. o nominalnym rocznym oprocentowaniu środków pieniężnych zgromadzonych na rachunku bankowym, jeśli zaś dotyczy kredytu czy pożyczki, to musi zawierać informację o rzeczywistej rocznej stopie oprocentowania.

W dzisiejszych czasach do promocji wszelkiego rodzaju produktów (w tym usług) niezbędne wydaje się wykorzystywanie social mediów, co wynika z ich rosnącej popularności wśród konsumentów ze wszystkich grup społecznych. Według analizy Kepios od początku pandemii liczba ta wzrosła o prawie 30%, co oznacza 1 mld nowych odbiorców w ciągu ostatnich trzech lat. Dane GWI z kolei pokazują, że społeczeństwo spędza obecnie aż 2,5 godziny dziennie w mediach społecznościowych, co jest następnym istotnym powodem, aby inwestować w promocję w tym obszarze.

Z mediów społecznościowych korzystać można w różnych celach i przy użyciu wielu platform, jednak – jak wynika z badań – użytkownicy Internetu najczęściej posiłkują się Facebookiem. Dane opublikowane w raporcie zysków inwestorów Meta za trzeci kwartał 2022 r. pokazują, że Facebook ma 2,958 mld aktywnych użytkowników miesięcznie (MAU), co odpowiada prawie 37% całej światowej populacji. Na drugim miejscu plasuje się platforma YouTube, przyciągająca obecnie każdego miesiąca ponad 2,5 mld użytkowników. Należy zwrócić uwagę, że WhatsApp pozyskuje ok. 2 mld aktywnych użytkowników dziennie, nie jest on jednak w tej samej kategorii, co wymienione wcześniej platformy, gdyż ma komunikacyjny (podobnie jak Messenger), a nie społecznościowy charakter [8].

Jak wynika z badań przeprowadzonych przez Instytut Badań Internetu i Mediów Społecznościowych, w Polsce w styczniu 2023 roku najbardziej aktywny pod względem interakcji z klientami na najpopularniejszej platformie, tj. Facebooku, był bank ING Polska [9]. Instytucja ta zamieściła wówczas 22 posty, co dało w sumie 23 tys. interakcji z klientami. Na drugim miejscu znalazł się Bank Ochrony Środowiska S.A. (BOŚ Bank) z wynikiem 18 tys. interakcji, a na trzecim mBank S.A. z 15 tys. interakcji. Jeśli chodzi zaś o liczbę dodanych postów, liderem okazał się mBank, który w styczniu wstawił ich aż 36. Zaraz za nim znajduje się Credit Agricole Bank Polska (30 wpisów), a na trzecim miejscu BOŚ Bank z 27 postami.

Skupiając się bezpośrednio na treściach udostępnianych przez banki, można zauważyć, iż największą popularnością cieszył się post dodany przez ING Polska, który zdobył aż 8,1 tys. interakcji. Wpis, który zapewnił bankowi ING taką popularność, informował o tym, że „4 lutego rusza drugi sezon Miasta ING w Roblox” [9] (kampanii tej poświęcono więcej miejsca w kolejnej części artykułu).

4. *Social media* w marketingowej działalności ING Banku Śląskiego

Historia ING Banku Śląskiego sięga 1988 roku, gdy Rada Ministrów wydała rozporządzenie w sprawie utworzenia Banku Śląskiego w Katowicach. W 1991 roku Bank Śląski przekształcił się z banku państwowego

w spółkę akcyjną, przy jednoczesnym całkowitym udziale państwa w akcjach. W 1994 roku zaczęła się prywatyzacja banku. W 2001 roku doszło do połączenia przedsiębiorstwa ING Bank Śląski S.A. z ING Bankiem N.V. z siedzibą w Amsterdamie poprzez umowę wniesienia aportem przedsiębiorstwa ING Banku N.V. Od tego czasu jest używana obecna nazwa banku [10].

Na przestrzeni lat analizowany bank realizował wiele kampanii reklamowych. Jedną z najbardziej znanych wśród polskich konsumentów jest kampania promocyjna w telewizji i na portalu YouTube z udziałem popularnego aktora – M. Kondrata [11].



Rys. 1. Reklama telewizyjna ING Banku Śląskiego z udziałem M. Kondrata

Źródło: <https://www.fakt.pl/plotki/z-winami-mu-nie-wyszlo-ale-za-to/599hy8w> [dostęp: 14.03.2023].

Aktor ten od 2001 roku nieustannie współdziała z ING Bankiem Śląskim (rys. 1). Współpraca z tą instytucją stała się dla niego tak opłacalna, że w 2007 roku zakończył swoją karierę aktorską. Magazyn „Forbes” wyliczył jego wartość reklamową na 1 mln zł (w jednej reklamie). Sam aktor stwierdził w jednym z wywiadów, że zarobił najwięcej właśnie w reklamie analizowanego banku. Według wielu teoretyków promocji kampania ta jest bardzo udana, ponieważ M. Kondrat idealnie wpisuje się w wizerunek osoby, która dociera ze swoim przekazem do każdej grupy wiekowej, gdyż

jest znana wśród wszystkich pokoleń Polaków. Aktor jest obecnie jednoznacznie kojarzony z ING Bankiem Śląskim [12].

Warto jednak wspomnieć, że jak wynika z wielu badań (np. przeprowadzonych przez Krajową Radę Radiofonii i Telewizji), coraz mniej osób ogląda telewizję [13], nie ma więc kontaktu z reklamami w tym medium. Dzięki realizacji wyżej wymienionej kampanii reklamowej także w mediach społecznościowych mogła ona przynieść pożądane przez nadawcę efekty.



Rys. 2. Strona ING Polska na Facebooku

Źródło: <https://www.facebook.com/INGPolska> [dostęp: 26.03.2023].

ING Bank Śląski ma konta na następujących portalach: Facebooku (ponad 250 tys. obserwujących; rys. 2), Instagramie, YouTube, Twitterze oraz LinkedInie. ING Bank Śląski był w swojej historii laureatem wielu nagród. Pierwsza z nich została mu przyznana jeszcze w 1994 roku i dotyczyła najlepszego banku dla businessmana w rankingu „Businessman Magazine”. W 2022 roku bank dostał następujące wyróżnienia: pierwsze

miejsce w rankingu Gwiazdy Bankowości, „Lider efektywności sektora bankowego oraz popularności wśród klientów banków”, „Złoty listek CSR”, czterokrotne podium Złotego Bankiera [14].



Rys. 3. Kampania reklamowa ING Banku „Porozmawiajmy o pieniądzu”

Źródło: <https://www.wirtualnemedia.pl/artukul/czeslaw-mozil-maria-rotkiel-ing-porozmawiajmy-o-pieniadzach> [dostęp: 14.03.2023].

Jedną z kampanii reklamowych banku realizowanych przy wykorzystaniu mediów społecznościowych, nagrodzonych w konkursie Mixx Awards, była kampania „Porozmawiajmy o pieniądzu” (na rys. 3 przedstawiono pochodzący z niej kadr). Polegała ona na emisji pasma klipów reklamowych na platformie YouTube, w których znany muzyk Czesław Mozil oraz psycholog Maria Rotkiel przedstawiają kwestie nawiązania dialogu o pieniądzu. Celem reklamy oprócz jej komercyjnego charakteru jest zwrócenie uwagi na to, że rozmowa o pieniądzu nie należy do najprostszych, a bohaterowie tej reklamy starają się pokazać, że taka rozmowa może znacznie ułatwić funkcjonowanie człowieka w kontekście finansowym. Reklama ta została nagrodzona w 2021 roku w wyżej wspomnianym konkursie w kategorii „Content Marketing”.

Na uwagę zasługuje również wykorzystanie popularnej gry Roblox do kampanii reklamowej banku. Sama gra powstała jeszcze w 2006 roku, jednak zaskoczyła w polskich mediach na początku 2023 roku, gdy

organizowano tam mszę świętą, co przykuło uwagę mediów [15]. W placówce ING Banku Śląskiego w ramach kampanii marketingowej postanowiono utworzyć swoją wersję gry, tzw. miasto ING, w którym gracze mają możliwość gromadzenia wirtualnych pieniędzy poprzez wykonywanie różnych zadań i wyzwań [16]. Kampania ta również została nagrodzona w konkursie Mixx Awards, w kategorii „Best in Show” – za najlepszą kampanię digitalową.



Rys. 4. Grafika przedstawiająca nową wersję miasta w popularnej grze Roblox

Źródło: <https://media.ing.pl/informacje-prasowe/926/pr/725031/miasto-ing-na-platformie-gamingowej-roblox> [dostęp: 18.03.2023].

Skuteczność kampanii reklamowych banku w mediach społecznościowych opartych na wykorzystaniu gier komputerowych wynika m.in. z faktu, że są one formą rozrywki, charakteryzującą się zaangażowaniem i silną koncentracją gracza, który jest częścią gry i wpływa na bieg zachodzących w niej zdarzeń. Dzięki temu jest on podatny na przedstawiane mu informacje, w tym reklamowe [17]. Postęp technologiczny bardzo ułatwia działania marketingowe tego typu.

Podsumowując analizę zabiegów promocyjnych ING Banku Śląskiego w mediach społecznościowych, należy stwierdzić, iż jego działania przynoszą wymierne efekty. Według wielu rankingów (np. raportu

„Monitor satysfakcji klientów banku”) [18] bank ten jest jednym z najpopularniejszych w Polsce.

5. Podsumowanie

Celem niniejszej publikacji było przedstawienie znaczenia mediów społecznościowych w procesie promowania usług bankowych na przykładzie działalności ING Banku Śląskiego. Po przeanalizowaniu aktualnej sytuacji na rynku usług bankowych, a szczególnie efektów działań analizowanego banku, można stwierdzić, że umiejętne wykorzystanie mediów społecznościowych w marketingu instytucji tej branży gospodarki umożliwia jej podmiotom utrzymanie popularności, co finalnie wpływa na jej sukces rynkowy.

Literatura

- [1] <https://sjp.pwn.pl/sjp/serwis-spolesznosciowy;5579205.html> [dostęp: 27.03.2023].
- [2] Chabarzyk A., Kałużyńska J., Rosa P., Suhov A., Turek M., *Przewodnik po social mediach w Polsce*, iab.polska 2019/2020, s. 6.
- [3] Nieborg D., Helmond A., *The political economy of Facebook's platformization in the mobile ecosystem: Facebook Messenger as a platform instance*, „Media Culture & Society” 2019, vol. 41, no. 2, s. 206–207.
- [4] <https://www.benchmark.pl/aktualnosci/facebook-stracil-milion-aktywnych-uzytkownikow.html> [dostęp: 26.03.2023].
- [5] Kozłowski A., *Rosyjskie „środki aktywne” w cyberprzestrzeni w wyborach prezydenckich w Stanach Zjednoczonych w 2016 roku*, „Rocznik Bezpieczeństwa Międzynarodowego” 2020, t. 14, nr. 1, s. 76.
- [6] Niewiadomska E., *Wpływ portali społecznościowych na rozwijanie umiejętności informatycznych*, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego” 2011, nr 28, s. 159–160.
- [7] Ustawa z dnia 29 grudnia 1992 r. o radiofonii i telewizji, Dz.U. 2022 r., poz. 1722.
- [8] <https://datareportal.com/reports/digital-2023-global-overview-report> [dostęp: 7.04.2023].
- [9] <https://ibims.pl/popularnosc-bankow-na-facebooku-w-styczniu-2023-r-ing-polska-na-czele-zestawienia/> [dostęp: 26.03.2023].
- [10] <https://www.ing.pl/o-banku/historia-ing-banku-slaskiego> [dostęp: 27.03.2023].

- [11] <https://www.press.pl/tresc/27945,marek-kondrat-poprawia-zauwazalnosc-reklam-ing-banku-slaskiego> [dostęp: 27.03.2023].
- [12] Dołhasz M., *Celebrity endorsement w działaniach reklamowych polskich przedsiębiorstw*, Kraków 2009, s. 73.
- [13] <https://android.com.pl/rozrywka/490727-mlodzi-ludzie-rezygnuja-z-telewizji/> [dostęp: 27.03.2023].
- [14] <https://www.ing.pl/o-banku/nagrody-i-wyroznienia> [dostęp: 27.03.2023].
- [15] <https://www.wirtualnemedial.pl/artykul/msze-swiete-roblox-hit-internet-jak-to-dziala> [dostęp: 18.03.2023].
- [16] <https://media.ing.pl/informacje-prasowe/926/pr/725031/miasto-ing-na-platfor-mie-gamingowej-roblox> [dostęp: 18.03.2023].
- [17] <https://www.parp.gov.pl/component/content/article/66865:reklama-w-grach-komputerowych-jej-rodzaje-regulacje-prawne-i-przyszlosc> [dostęp: 7.04.2023].
- [18] <https://media.ing.pl/informacje-prasowe/926/pr/719719/ing-bank-slaski-najle-piej-ocenianym-bankiem-przez-klientow> [dostęp: 27.03.2023].

Szymon Szewc

Politechnika Lubelska | Studenckie Koło Naukowe Napędów Lotniczych

Magdalena Przybylska-Fronc

Politechnika Lubelska | Studenckie Koło Naukowe Napędów Lotniczych

Marcin Fronc

Politechnika Lubelska | Studenckie Koło Naukowe Napędów Lotniczych

dr hab. Jacek Czarnigowski

Politechnika Lubelska | Katedra Termodynamiki, Mechaniki Płynów i Napędów Lotniczych

HYBRYDOWY SYSTEM NAPĘDOWY WYSOKOSPRAWNEGO POJAZDU PROTOTYPOWEGO

HYBRID DRIVE SYSTEM FOR A HIGH-EFFICIENCY PROTOTYPE VEHICLE

S U M M A R Y

The paper describes prototype vehicles Hydros designed and developed by a student team Hydrogreen at the Lublin University of Technology for the Shell Eco Marathon competition. It has a high-efficiency hybrid propulsion system composed of two energy sources (primary a hydrogen fuel cell, secondary a set of supercapacitors) that work in an integrated manner to achieve maximum efficiency. This article describes the construction, principle of operation and challenges faced in properly controlling the power flow in such a system to achieve the desired goal of high vehicle efficiency.

Key words

vehicle, hybrid, propulsion, efficiency

1. Wstęp

W ostatnich latach znacząco wzrosła świadomość społeczeństwa dotycząca troski o planetę. Ma ona bezpośrednie przełożenie nie tylko na badania naukowe, ale także na zmiany postaw wobec zanieczyszczania środowiska oraz poszukiwania rozwiązań zmniejszających jego negatywny wpływ.

Prowadzone badania dotyczące zanieczyszczania powietrza przez człowieka oraz emisji szkodliwych substancji wykazują, że spalanie paliw kopalnych jest przyczyną emisji ok. 12% gazów cieplarnianych [1], a transport jest tu jednym z największych emitentów (17% łącznej emisji). Z tego powodu wprowadzane są coraz bardziej restrykcyjne normy emisji spalin, aby zmusić producentów samochodów do poszukiwania nowoczesnych rozwiązań przyjaznych środowisku. Wynikiem tych prac jest rosnąca popularność samochodów wykorzystujących silniki elektryczne jako źródło napędu [1–2]. Wynika to ze znacznie wyższej sprawności napędów elektrycznych, wynoszącej ok. 55%, w porównaniu z silnikami spalinowymi, które osiągają sprawność poniżej 40%. Kolejnym aspektem przemawiającym za stosowaniem napędów elektrycznych jest zwiększające się znaczenie odnawialnych źródeł energii (OZE) w ogólnej produkcji energii elektrycznej [3], pozwalające na użycie „zielonej energii” do napędzania pojazdów.

Historia samochodów elektrycznych sięga XIX wieku, jednak wtedy nie upowszechniły się one ze względu na niewystarczający poziom elektrotechniki, pozwalającej na zapewnienie odpowiednio wydajnych oraz pojemnych źródeł energii [4]. Stosowane baterie ołowiowo-kwasowe miały gęstość energetyczną poniżej 50 Wh/kg, podczas gdy paliwa płynne miały 12 tys. Wh/kg. Dlatego też przewagę w tamtych czasach zdobyły silniki spalinowe, które zdominowały wszystkie branże mobilności, mimo ich niższej sprawności w porównaniu z napędami elektrycznymi. Z tego względu przez wiele lat napędy elektryczne były marginalizowane. Jednakże rozwój technologii akumulatorów i poszukiwanie rozwiązań niski i zeroemisyjnych ponownie zwróciło uwagę producentów samochodów na napędy elektryczne. Niemniej nadal największym problemem pozostaje energia potrzebna do ich zasilenia. Gęstość energetyczna dzisiejszych ogniw elektrochemicznych oscyluje w granicach 300 Wh/kg [5]. Stąd też

pojazdy elektryczne są wynikiem kompromisu pomiędzy dużą wagą, wynikającą z konieczności stosowania znacznej liczby akumulatorów, a zasięgiem, który jest znacznie niższy niż w pojazdach spalinowych. Ponadto liczba ogniw wykorzystanych w autach elektrycznych powoduje, że czas ładowania wydłuża się do kilku godzin [6].

Wszystkie powyższe problemy prowadzą do poszukiwania wyjścia z sytuacji. Głównymi kierunkami rozwoju jest hybrydyzacja układów napędowych oraz stosowanie alternatywnych metod wytwarzania energii elektrycznej. Pierwsze z rozwiązań wykorzystuje silnik spalinowy, który pracuje w najwyższym zakresie sprawności, a wspomagany jest napędem elektrycznym, co znacznie zmniejsza jego emisyjność w porównaniu z konwencjonalnymi układami napędowymi [7]. Dodatkową korzyścią takiego rozwiązania jest możliwość odzyskiwania podczas hamowania przez silnik elektryczny energii, która następnie jest ponownie używana do napędzania pojazdu [8]. Drugie podejście oparte jest na wykorzystaniu paliwa syntetycznego. Głównym kierunkiem rozwoju tej technologii jest stosowanie wodoru w celu zasilania ogniw paliwowych, które przekształcają energię chemiczną w energię elektryczną [9]. Proces zachodzący w ogniwie polega na oderwaniu elektronu od atomu wodoru, który następnie łączy się z tlenem pobieranym z atmosfery, w wyniku czego powstaje cząsteczka wody. Reakcja ta przebiega w niskiej temperaturze, oscylującej w zakresie 65–80°C w przypadku ogniw typu PEM, przy czym nie jest emitowany hałas [2, 10].

Zastosowanie wodoru w celu zasilania pojazdów ma zatem uzasadnienie zarówno ekologiczne, jak i technologiczne. Gęstość energetyczna wodoru wynosi ok. 38 tys. Wh/kg, jest więc ponad trzykrotnie wyższa w porównaniu z benzyną [11], bardziej problematycznym paliwem, jeśli chodzi o jego przechowywanie. W warunkach naturalnych występuje w stanie gazowym, a jego gęstość wynosi 90 g/m³ przy 7400 kg/m³ benzyny. Stąd też w celu przechowywania wodoru należy sprężyć do wysokiego ciśnienia lub skroplić w niskich temperaturach. Wymaga to stosowania zbiorników wysokociśnieniowych (do nawet 700 barów) lub kriogenicznych. Nadal jednak takie rozwiązania mają znaczącą przewagę nad obecnie dostępnymi bateriami.

Kolejne wyzwanie związane z zastosowaniem ogniw paliwowych wynika z ich nieliniowej charakterystyki. Zwiększenie wartości pobieranego prądu powoduje spadek napięcia wytwarzanego na elektrodach [10]. Zatem

ogniwo wodorowe wymaga obciążenia na stałym, niskim poziomie, co stoi w sprzeczności z dynamiczną zmianą obciążenia w pojazdach. Wynika stąd potrzeba zastosowania bufora energii, który mógłby kompensować różnice energii podczas zwiększonego obciążenia auta (np. podczas ruszania lub przyspieszania). Jednocześnie bufor ten powinien szybko gromadzić energię podczas zmniejszonego obciążenia. W prototypowym pojeździe „Hydros”, stanowiącym podstawę prezentowanych w niniejszym artykule badań, rolę tego bufora odgrywa pakiet superkondensatorów. Pozwalają one na szybki pobór energii, a jednocześnie na szybkie naładowanie ich do pierwotnego stanu. Taki hybrydowy układ zasilania umożliwia optymalizację warunków pracy poszczególnych podzespołów, a przez to minimalizację zapotrzebowania energetycznego prowadzącą do zmniejszenia zużycia paliwa.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie zarówno budowy i zasady działania hybrydowego zespołu napędowego prototypowego pojazdu, jak i uzyskanych wyników.

2. Obiekt badań

„Hydros” (rys. 1) jest prototypowym pojazdem stworzonym przez studentów SKN Napędów Lotniczych działającego na Politechnice Lubelskiej z myślą o osiągnięciu jak najlepszych wyników zużycia energii na międzynarodowych zawodach Shell Eco Marathon w klasie prototypów wodorowych. W celu zasilania pojazdu w latach 2016–2023 wykorzystywano różne opcje hybrydowego układu napędowego, złożonego z ogniwa wodorowego oraz baterii superkondensatorów. Pierwsze warianty układu pozwalały na samoczynną regulację użycia baterii, kolejne wersje mają poprawić możliwości regulacji układu w trackie zawodów.



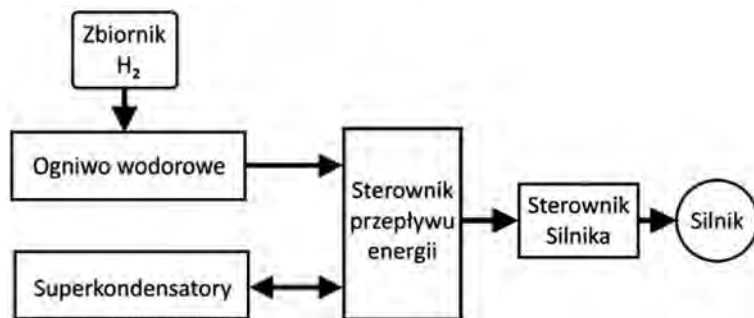
Rys. 1. Prototypowy pojazd „Hydros” z hybrydowym układem napędowym

Źródło: opracowanie własne.

2.1. Układ zasilania pojazdu „Hydros”

Regulamin zawodów pozwala na zastosowanie dwóch oddzielnych układów napędowych w pojazdach wodorowych. System bezpieczeństwa może być zasilany baterią akcesoryjną, która nie podlega pomiarom zużycia energii. Układ napędowy wraz ze wszystkimi sterownikami wchodzącymi w jego skład muszą być zasilane z układu hybrydowego, ogniwo – bufor energetyczny. Pojazd „Hydros” wyposażony jest w układ hybrydowy: ogniwo paliwowe i superkondensatory (rys. 2). Obecny mierzony układ zasilania pojazdu składa się z:

- układu wodorowego:
 - butli na wodór,
 - reduktora ciśnienia,
 - przewodów wodorowych,
 - przepływomierza,
 - układu przedmuchu;
- układu zasilania:
 - zmodyfikowanego ogniwa Horizon H300,
 - baterii superkondensatorów,
 - autorskiego układu regulacji „Energy flow”,
 - sterownika silnika Maxon,
 - silnika elektrycznego BLDC Maxon.



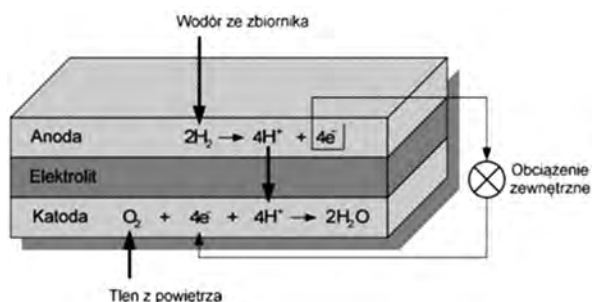
Rys. 2. Schemat blokowy układu napędowego pojazdu „Hydros”

Źródło: opracowanie własne.

Układ napędowy zaprojektowany został tak, aby mógł zasilić silnik przy zmiennych warunkach pracy i jednocześnie pracy ogniwa w zakresie jego najwyższej sprawności. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu bufora energii, którego funkcję pełni pakiet superkondensatorów. Przy zwiększonym zapotrzebowaniu na moc jest ona pobierana z superkondensatorów, a gdy chwilowe zużycie energii jest mniejsze od tej wytwarzanej przez ogniwo, nadmiar energii trafia do pakietu.

2.2. Ogniwo wodorowe

Zespół Hydrogreen do zasilania swojego prototypu wykorzystuje ogniwo typu PEMFC (ang. *proton exchange membrane fuel cell*), w polskiej literaturze określane także ogniwem wodorowym z elektrolitem polimerowym (rys. 3). Jest to urządzenie przekształcające energię chemiczną wodoru w energię elektryczną. Głównymi częściami składowymi ogniwa PEM są dwie elektrody (anoda i katoda) oddzielone od siebie elektrolitem, układ zasilający w wodór oraz powietrze i wyprowadzenia elektryczne.



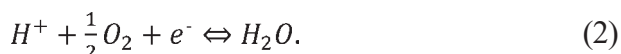
Rys. 3. Budowa i zasada działania ogniwa paliwowego

Źródło: A. Małek, M. Wendeker, Ogniwa paliwowe typu PEM: teoria i praktyka, Lublin 2010.

W ogniwie wodorowym zachodzi reakcja odwrotnej elektrolizy. Wodór na anodzie pod wpływem ciśnienia oraz obecności katalizatorów reakcji rozbijany jest na jon dodatni H^+ oraz elektron e^- [12]:



Elektrolit rozdzielający dwie elektrody przepuszcza na katodę tylko dodatnio naładowane jony. Powstałą różnicę potencjałów można wykorzystać do zasilania układu elektrycznego [2]:



„Hydros” zasilany jest ogniwem Horizon H300 o mocy 300 W ze zmodyfikowanym układem zasilania z powietrza (rys. 4). Podstawowe dane techniczne ogniwa przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 4. Ogniwo Horizon H300

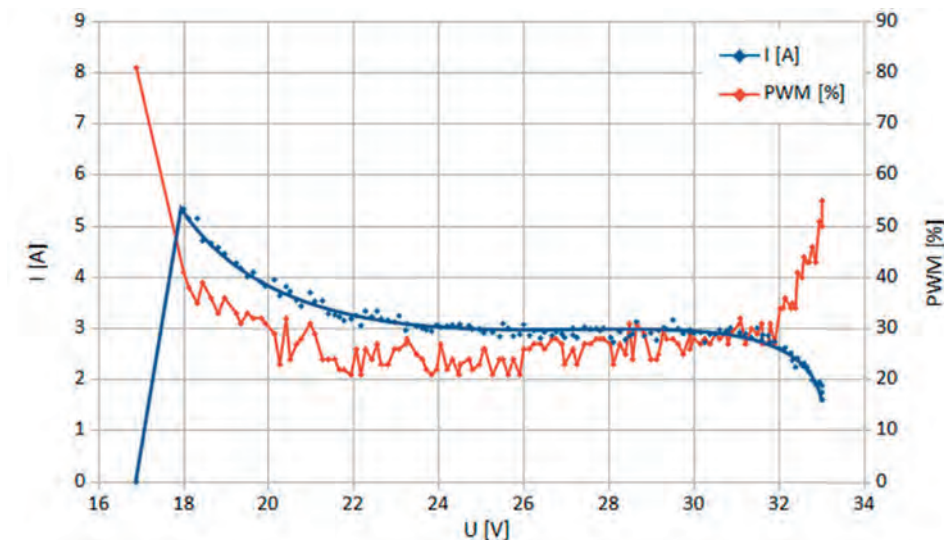
Źródło: opracowanie własne.

Na rys. 5 przedstawiono zależność prądu generowanego przez ogniwo Horizon H300 od napięcia. Jak można zauważyć, wraz ze wzrostem obciążenia (pobieranego prądu) następuje spadek napięcia na ogniwie. Zatem im większą moc pobieramy z ogniwa, tym niższe napięcie wyjściowe uzyskujemy. Powoduje to także zmianę w sprawności ogniwa (rys. 6), wyrażoną jako zależność jednostkowego zużycia paliwa od pobieranej mocy. Najwyższa sprawność (odpowiadająca najniższemu jednostkowemu zużyciu paliwa) występuje przy niskich mocach. Oznacza to, że najlepiej byłoby pobierać od ogniwa relatywnie małą moc w stosunku do jego mocy nominalnej. Wymaga to jednak odpowiedniego doboru wszystkich komponentów układu napędowego.

Tabela 1. Dane techniczne ogniwa paliwowego Horizon H300

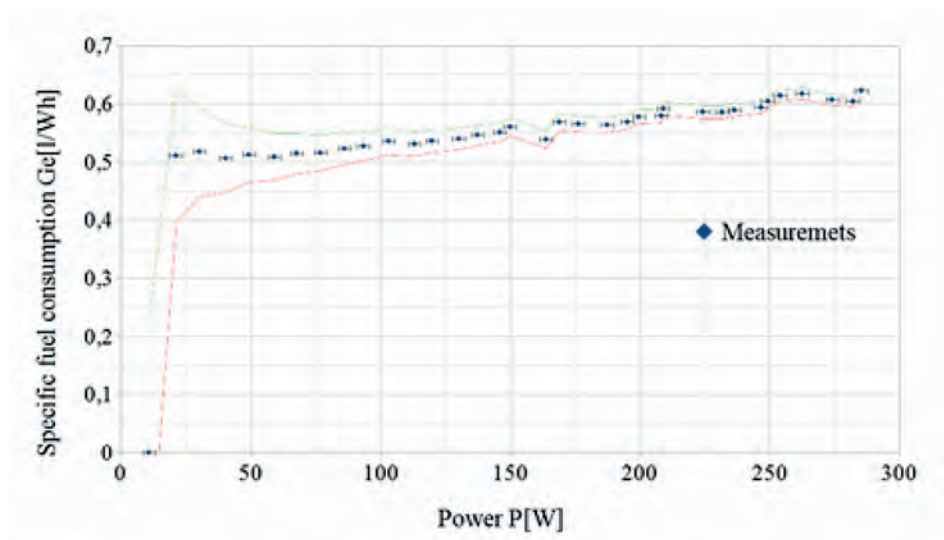
Typ ogniwa paliwowego	PEM
Ilość ogniw w stosie	60
Moc znamionowa	300 W
Parametry wyjściowe	36 V przy 8,3 A
Reagenty	wodór i powietrze
Temperatura otoczenia	5–30°C
Maksymalna temperatura stosu	65°C
Ciśnienie wodoru	0,45–0,55 bara
Chłodzenie	Wentylatory
Masa urządzenia (z układem chłodzenia i obudową)	2,790 kg ($\pm 0,05$ kg)
Sprawność	40 % przy 36 V
Napięcie odcięcia zasilania	30 V
Zabezpieczenie nadprądowe	12 A
Wyłączenie przy przekroczeniu dopuszczalnej temperatury	65°C

Źródło: Dokumentacja ogniwa Horizon H300,
<https://www.fuelcellstore.com/manuals/horizon-pem-fuel-cell-h-300-manual.pdf>.



Rys. 5. Charakterystyka prądu generowanego przez ogniwo Horizon H300

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 6. Charakterystyka sprawności ogniwa Horizon H300

Źródło: K. Dubeński, J. Czarnigowski, P. Durakiewicz, S. Szewc, The test-bed research of a low power low-temperature PEM fuel cell, "Journal of Physics: Conference Series" 2021, vol. 1736, pp. 1–11.

2.3. Superkondensatory

Wybór superkondensatorów jako bufora energii podyktowany był chęcią optymalizacji pracy ogniwa paliwowego. Zapotrzebowanie na moc w pojazdach jest zmienne w czasie. Występują momenty zwiększonego zapotrzebowania (ruszanie, jazda pod górę, nagłe przyspieszanie) oraz zmniejszonego (jazda ze stałą prędkością, jazda z góry, hamowanie itp.). Charakterystyka pracy ogniwa wodorowego wymaga zastosowania bufora energii, który może być ładowany w trakcie zmniejszonego zapotrzebowania. Podczas zwiększonego zapotrzebowania na energię w ogniwie mogłoby nastąpić zjawisko strat transportu masy, znacząco zmniejszające wydajność ogniwa [13]. Aby tego uniknąć w takich sytuacjach część mocy może pochodzić z bufora. Takimi buforami mogą być zarówno baterie jak i superkondensatory.

Pakiet użyty w „Hydrosie” (rys. 7) składa się z 16 szeregowo połączonych superkondensatorów o napięciu 3 V, pojemności 500 F i prądzie 230 A każdy. Łączne parametry baterii to 48 V oraz 31,2 F i 230 A. Układ został stworzony przez studentów.

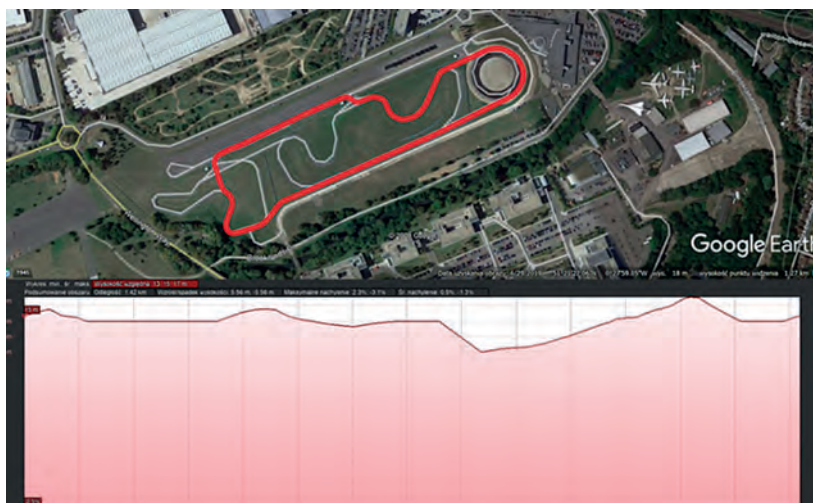


Rys. 7. Pakiet superkondensatorów

Źródło: opracowanie własne.

3. Badania hybrydowego zespołu napędowego

W celu przedstawienia działania całego układu napędowego, a szczególnie przepływu energii w układzie, przeprowadzono analizę jednego pełnego przebiegu przejazdu na zawodach Shell Eco-marathon w 2019 roku w Londynie (zawody międzynarodowe regionu Europa i Afryka). Przejazd obejmował 29 minut jazdy po torze testowym. Łącznie pokonano 14,2 km podczas 10 okrążeń. Kształt toru oraz wykres wysokości przedstawiono na rys. 8.



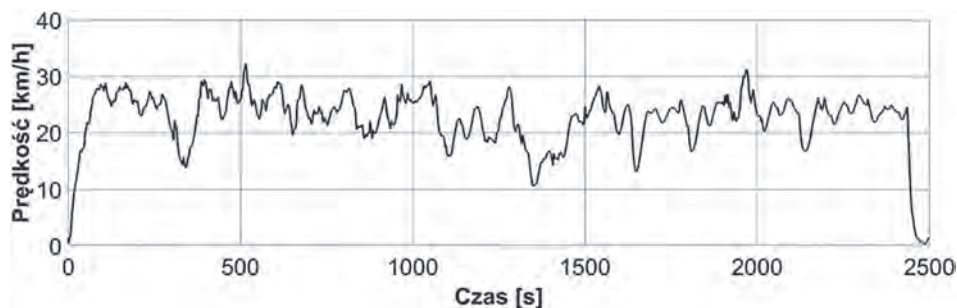
Rys. 8. Trasa rywalizacji zawodów Shell Eco Marathon w 2019 roku

Źródło: opracowanie własne.

4. Hybrydowy system napędowy wysokosprawnego pojazdu prototypowego

S. Szewc, M. Przybylska-Fronc, M. Fronc, J. Czarnigowski

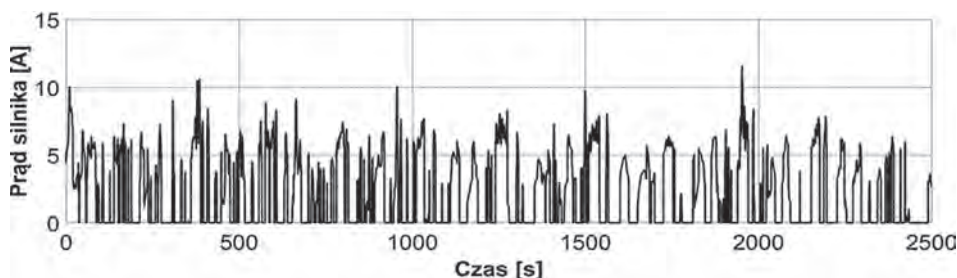
W czasie przejazdu rejestrowano położenie i przemieszczenie pojazdu za pomocą zewnętrznego układu GPS firmy Garmin, a wartości parametrów pracy zapisywano bezpośrednio z układu sterowania. Przebieg prędkości jazdy przedstawiono na rys. 9.



Rys. 9. Przebieg prędkości pojazdu podczas przejazdu testowego

Źródło: K. Dubeński, „Badania symulacyjne ultralekkiego pojazdu zasilanego ogniwem paliwowym”, praca magisterska, Politechnika Lubelska 2020.

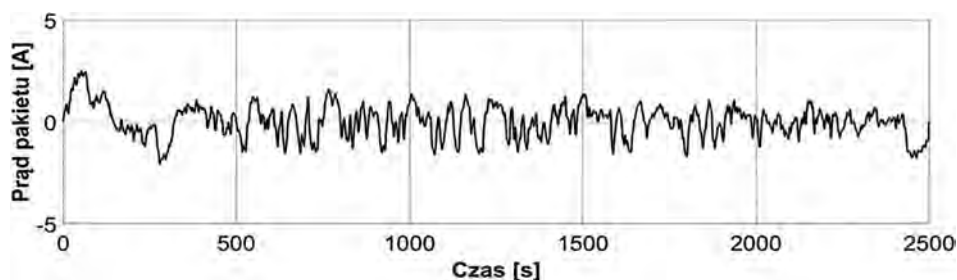
Kształt toru oraz wynikające z niego zmiany prędkości pojazdu wymusiły zmiany prądu pobieranego przez silnik elektryczny (rys. 10). Wartości te wahały się od 0 (silnik wyłączony) do 12 A (pełna moc). Jak widać, na stabilizację prądu wpływ ma też styl jazdy. W początkowej fazie widoczna jest znacznie większa zmienność prądu niż w jej końcowej części – wynika to ze zmiany strategii jazdy: zamiast utrzymywać jak najbardziej stałą prędkość skupiono się na eliminacji krótkotrwałych włączeń silnika kosztem większej zmienności prędkości jazdy.



Rys. 10. Przebieg prądu zasilania silnika podczas przejazdu testowego

Źródło: K. Dubeński, „Badania symulacyjne ultralekkiego pojazdu zasilanego ogniwem paliwowym”.

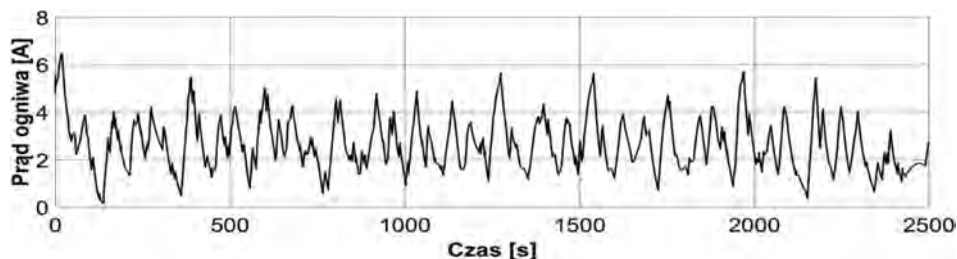
Rozwiązanie zastosowane w analizowanym napędzie pozwalało na zero-jedynkowe podłączanie i ładowanie kondensatorów podczas przejazdu przy wykorzystaniu samoregulacji układu. Technicznie metoda ta wykorzystywała grupę przekaźników, włączanych i wyłączanych przez układ rozdziału mocy na podstawie poziomu obciążenia silnika. Uzyskany w ten sposób przebieg wykorzystania superkondensatorów zaprezentowano na rys. 11. Dzięki takiemu rozwiązaniu możliwe było zarówno czerpanie energii z pakietu (wartości dodatnie na przebiegu), jak i gromadzenia energii (wartości ujemne na przebiegu).



Rys. 11. Przebieg prądu pakietu superkondensatorów podczas przejazdu testowego

Źródło: K. Dubeński, „Badania symulacyjne ultralekkiego pojazdu zasilanego ogniwem paliwowym”.

Układ taki nie pozwalał jednak na regulację mocy ładowania kondensatorów przez zespół oraz powodował dodatkowe zużycie energii w celu podtrzymania stanu przekaźników. Brak możliwości dokładnego sterowania przepływem prądu do i z pakietu spowodował zmiany obciążenia ogniwa paliwowego (rys. 12). Widoczne są cykliczne zmiany obciążenia ogniwa praktycznie z poziomu 0A na poziom ok. 6A. Zmienność ta jest jednak znacznie mniejsza niż w przypadku zmienności obciążenia silnika.



Rys. 12. Przebieg prądu ogniwa paliwowego podczas przejazdu testowego

Źródło: K. Dubeński, „Badania symulacyjne ultralekkiego pojazdu zasilanego ogniwem paliwowym”.

4. Podsumowanie

Jak wykazano w przeprowadzonych badaniach, zastosowanie dwóch źródeł energii do zasilania umożliwia optymalizację jej zużycia przez pojazd. Wykorzystanie ogniwa paliwowego daje możliwość stosowania „zielonego paliwa” i – dzięki temu – obniżenia negatywnego wpływu działalności człowieka na środowisko. Ogniwo to, ze względu na charakter pracy, wymaga jednak zastosowania dodatkowego bufora energetycznego, pozwalającego na zmniejszenie dynamicznych zmian obciążenia ogniwa. Buforem takim mogą być superkondensatory, umożliwiające szybkie gromadzenie i oddawanie energii elektrycznej. Taki hybrydowy system wymaga jednak odpowiedniego sterowania. Użycie układu przełącznikowego, opartego na przekąźnikach, pozwoliło na uzyskanie częściowo zamierzonego efektu stabilizacji obciążenia ogniwa, lecz sterowanie takie jest za mało precyzyjne.

Na podstawie powyższych wyników wyciągnięto wnioski pozwalające na przeprowadzenie optymalizacji systemu sterowania. Układ stworzony na tej podstawie wykorzystuje prototypowy sterownik umożliwiający odłączanie bufora, regulowanie prądu jego ładowania oraz sterowanie zmodyfikowanym układem powietrznym ogniwa. Przekąźniki zostały zastąpione tranzystorami N i P MOSFET sterowanymi zero-jedynkowo lub za pomocą sygnału PWM z mikrokontrolera w celu ograniczenia skutecznego prądu obciążenia ogniwa. W 2022 roku układ udowodnił prawidłowe działanie podczas serii testów oraz zawodów. Wymaga jednak dalszych prac optymalizacyjnych.

Literatura

- [1] Ayad S. M. M. E., Belchior C. R. P., da Silva G. L. R., Lucena R. S., Carreira E. S., de Miranda P. E. V., *Analysis of performance parameters of an ethanol fueled spark ignition engine operating with hydrogen enrichment*, “International Journal of Hydrogen Energy” 2020, no. 45, pp. 5588–5606.
- [2] Lejda K., *Wodór w aplikacjach do środków napędu w transporcie drogowym*, Rzeszów 2013.

- [3] Ellabban O., Abu-Rub H., Blaabjerg F., *Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology*. Renewable And “Sustainable Energy Reviews” 2014, no. 39, pp. 748–764.
- [4] Udaeta M. E. M., Chaud C. A., Gimenes A. L. V., Galvao L. C. R., *Electric vehicles analysis inside electric mobility looking for energy efficient and sustainable metropolis*, “Open Journal of Energy Efficiency” 2015, no. 4 (1).
- [5] Zhang Y., Jiang J., An Y., Wu L., Dou H., Zhang J., Zhang Y., Wu S., Dong M., Zhang X., Guo Z., *Sodium-ion capacitors: Materials, mechanism, and challenges*, “ChemSusChem” 2020, no. 13(10).
- [6] Shuai W., Maillé P., Pelov A., *Charging electric vehicles in the smart city: A survey of economy-driven approaches*, “IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems” 2016, no. 17(8), pp. 2089–2106.
- [7] Karbaschian M. A., Söffker D., *Review and comparison of power management approaches for hybrid vehicles with focus on hydraulic drives*, “Energies” 2014, no. 7 (6), pp. 3512–3536.
- [8] Kiddee K., *Hybrid energy harvesting system based on regenerative braking system and suspension energy harvesting for middle electric vehicle*, “Journal of Engineering and Digital Technology” 2020, no. 8 (2), pp. 29–38.
- [9] Singla M. K., Parag N., Amandeep S. O., *Hydrogen fuel and fuel cell technology for cleaner future: a review*, “Environmental Science and Pollution Research” 2021, no. 28, pp. 15607–15626.
- [10] Surygała J., *Wodór jako paliwo*, Warszawa 2008.
- [11] Hu M., Cui C., Shi C., Wu Z.-S., Yang J., Cheng R., Guang T., Wang H., Lu H., Wang X., *High-energy-density hydrogen-ion-rocking-chair hybrid supercapacitors based on $Ti_3C_2 T_x$ MXene and carbon nanotubes mediated by redox active molecule*, “ACS Nano” 2019, no. 13 (6), pp. 6899–6905.
- [12] Małek A., Wendeker M., *Ogniwa paliwowe typu PEM: teoria i praktyka*, Lublin 2010.
- [13] Ceran B., *Charakterystyki eksploatacyjne stosu ogniów paliwowych typu PEMFC*, „Energy Policy Journal” 2014, no. 17 (3), s. 135–146.

Kacper Stasiewicz

Politechnika Białostocka | SKN „Auto-Moto-Club”, zespół Cerber Motorsport

Michał Wądołowski

Politechnika Białostocka | SKN „Auto-Moto-Club”, zespół Cerber Motorsport

AKWIZYCJA DANYCH POMIAROWYCH W POJEŹDZIE TYPU FORMUŁA STUDENT NA PODSTAWIE MAGISTRALI CAN

MEASUREMENT DATA ACQUISITION IN A FORMULA STUDENT VEHICLE BASED ON THE CAN BUS

S U M M A R Y

The article describes the construction and operation of the measurement data acquisition system in a racing vehicle – a Formula Student class car. The problem of using the CAN bus enabling the transfer of “vital” data of a racing vehicle between its individual modules was raised. The developed, a proprietary hybrid structure of the measurement system containing COTS (commercial-off-the-shelf) devices and self-designed, manufactured and tested components was presented. The developed system enables the collection of critical data and their thorough analysis – online (current analysis during the race) and offline (post-season verification to optimize the vehicle design and control system parameters). Last but not least, exemplary waveforms of the collected signals presenting the operation of the vehicle were also presented to confirm the functionality of the developed data collection and acquisition system.

Key words

CAN bus, data acquisition, analysis, system, communication bus

1. Wstęp

Akwizycja danych pomiarowych w pojeździe typu Formuła Student to proces zbierania i przetwarzania informacji o parametrach technicznych i warunkach eksploatacji pojazdu, które pozwalają na analizę jego zachowania oraz pomagają określić, w jaki sposób można poprawić jego osiągi. Jednym z rozwiązań umożliwiających efektywną akwizycję danych pomiarowych w pojeździe jest wykorzystanie magistrali CAN. Została ona zaprojektowana specjalnie do transmisji danych w motoryzacji i umożliwia komunikację między urządzeniami, takimi jak czujniki, kontrolery i aktuatory.

W niniejszym artykule skupimy się na omówieniu zasady działania magistrali CAN, wykorzystania jej do akwizycji danych. Przedstawimy najważniejsze elementy systemu, takie jak sterowniki, czujniki wraz z przetwornikami i oprogramowanie, które jest wymagane do prawidłowego działania systemu i przetwarzania danych.

2. Cel akwizycji danych w pojeździe wyścigowym

Celem akwizycji danych w pojeździe wyścigowym jest późniejsza analiza poszczególnych przejazdów i wyciąganie wniosków z pracy auta oraz zachowania kierowcy. Zgromadzone informacje umożliwiają przeprowadzenie dyskusji na temat efektywności zastosowanych rozwiązań technicznych. Interpretację można oprzeć na rzeczywistych wielkościach fizycznych zapisanych w logowanych plikach, a nie jedynie na organoleptycznej metodzie i doświadczeniu inżyniera wyścigowego/kierowcy. Zwiększa to prawdopodobieństwo podejmowania właściwych decyzji w kolejnych przejazdach bądź podczas projektowania nowych komponentów. Należy również pamiętać, że pojazdy wyścigowe są niezwykle podatne na warunki panujące w otoczeniu. Wiąże się z tym konieczność wprowadzania modyfikacji w wielu układach wchodzących w skład auta. Owe zmiany pozwolą zwiększyć osiągi lub zapobiec awarii. Podczas wydarzeń wyścigowych czas jest ograniczony, więc podejmowane kroki powinny być

poparte odpowiednimi danymi i powodować poprawę widoczną w czasie okrążenia/parametrach bolidu [1–4]. Odnosząc się do serii wyścigowej Formuła Student (rys. 1), która składa się z dwóch typów konkurencji: dynamicznej i statycznej, warto zaznaczyć, że system akwizycji danych to jeden z głównych elementów, których projekt jest oceniany przez sędziów. Przemyślana budowa i niezawodność to klucz do wysokiego wyniku punktowego w konkurencji statycznej.



Rys. 1. Bolid CMS-08 podczas zawodów Formuła Student Germany

Źródło: Formula Student Germany 2022.

3. Przegląd rozwiązań

W motoryzacji wykorzystywanych jest wiele standardów komunikacji między urządzeniami znajdującymi się na pokładzie auta. Występujące wśród nich różnice mają znaczący wpływ na obszar zastosowań poszczególnych rozwiązań w elektronicznych systemach pojazdów (tabela 1).

Tabela 1. Rozwiązania stosowane do przesyłu danych

Parametr	LIN	CAN	FlexRay	MOST
Prędkość transmisji danych	do 20kb/s	do 1Mb/s	do 10Mb/s	do 24Mb/s
Architektura	<i>master-slave</i>	<i>multi-master</i>	<i>multi-master</i>	<i>multi-master</i>
Topologia sieci	magistrala	magistrala	gwiazda	pierścień
Medium transmisyjne	pojedynczy przewód	para skręconych przewodów	para skręconych przewodów	światłowód
Rodzaj transmisji	synchroniczna	asynchroniczna	synchroniczna i asynchroniczna	synchroniczna i asynchroniczna
Zastosowanie	proste sterowanie, np. światłami, szybami, regulowanie fotela	wysyłanie informacji statusowych w systemach bezpieczeństwa, np. poduszki powietrzne	sterowanie w czasie rzeczywistym, np. silnikiem, systemem ABS, system <i>drive-by-wire</i>	łączenie sieci informatycznych z multimedialnymi, np. dźwięk, wideo, sterowanie głosowe

Źródło: S. Panecki, Interfejsy komunikacyjne w motoryzacji, „Elektronika Praktyczna” 2015, nr 6;
W. Zimmermann, R. Schmidgall, Magistrale danych w pojazdach. Protokoły i standardy, Warszawa 2008.

Rozwiązaniem, na które się zdecydowano, jest magistrala CAN, ponieważ to najbardziej rozpowszechniona i najłatwiej dostępna forma komunikacji w motoryzacji [5–7]. Większość czujników gotowych do zastosowania w bolidzie przygotowana jest do obsługi właśnie tego standardu. Prędkość transmisji jest wystarczająca do sprostania wymogom, a topologia magistrali pozwala na zminimalizowanie masy medium transmisyjnego, co ma kluczowe znaczenie w motorsporcie, gdzie zmniejszenie wagi jest pożądane.

4. Opis opracowanej koncepcji

System akwizycji danych pomiarowych użyty w bolidzie opiera się na sieci czujników i urządzeń elektronicznych. Wykorzystywane są zarówno sensory analogowe, jak i cyfrowe (tabela 2). Niektóre połączenia

czujnik–węzeł transmisyjny CAN są ekranowane, aby wyeliminować wpływ zakłóceń zewnętrznych na sygnał. Szczególnie sygnał ciągły jest podatny na zakłócenia, które trudno wyeliminować w sposób programowy. Sygnał dyskretny w większości przypadków nie wymaga ekranowania ze względu na możliwość ustawienia w głównym urządzeniu progu aktywacji. Informacje z sensorów odczytywane i gromadzone są w poszczególnych urządzeniach elektronicznych (tabela 3), które można podzielić na dwie grupy: urządzenia zarządzające pracą innych komponentów auta oraz urządzenia przetwarzające dane i przygotowujące je do przesyłu urządzeniom zarządzającym.

Tabela 2. Wykorzystane czujniki

Nazwa	Rodzaj	Zadanie, opis
Czujnik kąta obrotu	analogowy rezystancyjny, enkoder magnetyczny	kąt otwarcia przepustnicy, kąt skrętu kierownicy
Czujnik temperatury cieczy, gazów	analogowy rezystancyjny	temperatura cieczy chłodzącej, powietrza, oleju
Czujnik ciśnienia	analogowy piezoelektryczny	ciśnienie oleju, paliwa, powietrza
Czujnik prędkości obrotowej	indukcyjny, Halla, VR	prędkość obrotowa wału głównego, wałka rozrządu, pojedynczego koła, koła zębatego
Czujnik drgań	analogowy piezoelektryczny	detekcja spalania stukowego
Czujnik zawartości tlenu	sonda lambda	zawartość tlenu w spalinach
Czujnik temperatury gazów	termopara	temperatura spalin
Czujnik przemieszczenia	analogowy rezystancyjny	przemieszczenie liniowe amortyzatora
Czujnik przeciążeń	akcelerometr piezoelektryczny	wartość przeciążeń bocznych i wzdłużnych
Czujnik położenia	odbiornik GPS	położenie według współrzędnych geograficznych
Czujnik temperatury punktowej	kamera termowizyjna	temperatura opony wyrażona w 16 punktach pomiarowych

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 3. Wykorzystane urządzenia

Nazwa	Zadanie, opis
„EMU BLACK” ECUMASTER	główny sterownik silnika, jednostka rejestrująca część danych pomiarowych
„ADU” ECUMASTER	wyświetlacz, jednostka rejestrująca część danych pomiarowych
„EGT TO CAN” ECUMASTER	przetworzenie danych z czujników temperatury spalin do formatu ramki danych i wysłanie ich za pomocą magistrali CAN
„USB TO CAN” ECUMASTER	monitorowanie pracy magistrali CAN w czasie rzeczywistym
„GPS TO CAN” ECUMASTER	przetwarzanie danych z czujników przeciążeń i położenia do formatu ramki danych i wysłanie ich za pomocą magistrali CAN
Moduł kierownicy	przesył stanu przełączników do EMU BLACK z wykorzystaniem magistrali CAN
Moduł DRS	odczyt z magistrali CAN prośby załączenia sygnału PWM i uruchomienia serw
Moduł BIASBAR	odczyt z magistrali CAN prośby załączenia sygnału PWM i uruchomienia serw
„CAN thermal camera” ECUMASTER	przetwarzanie danych z kamery termowizyjnej do formatu ramki danych i wysłanie ich za pomocą magistrali CAN

Źródło: opracowanie własne.

Do zadań grupy urządzeń sterujących pracą poszczególnych komponentów auta możemy zaliczyć:

- odbiór i nadawanie ramek danych z wykorzystaniem magistrali CAN,
- sterowanie pracą silnika spalinowego,
- obsługa wyświetlacza na desce rozdzielczej,
- sterowanie pracą układu elektropneumatycznego, odpowiedzialnego za zmianę biegów,
- generowanie sygnału załączającego sygnał PWM umożliwiającego pracę serwomechanizmów,
- gromadzenie danych pomiarowych na karcie pamięci SD do późniejszej analizy,
- obsługa magistrali CAN – informacje o błędach, ustawienia prędkości, arbitraż.

Z kolei wśród zadań urządzeń toru przygotowania danych i kondycjonowania możemy wymienić:

- odczyt sygnałów z podłączonych czujników,
- przetworzenie sygnału do postaci ramki danych,
- wysłanie ramki danych do urządzenia zarządzającego za pomocą magistrali CAN.

Główne urządzenia zarządzające („ADU” ECUMASTER (rys. 2), „EMU BLACK” ECUMASTER (rys. 3)) mają własne interfejsy graficzne, które umożliwiają obserwację i modyfikacje parametrów pracy całego auta. Jest to jednak jedynie reprezentacja graficzna danych, która ułatwia ich analizę, ale w przypadku awarii, braku informacji z czujnika nie zezwala na bezpośredni przegląd ramki danych, przenoszącej dane pomiarowe. Do tego celu wykorzystywane jest zewnętrzne urządzenie USB TO CAN, które po podłączeniu do magistrali CAN daje możliwość monitorowania jej pracy w czasie rzeczywistym. Widoczne są poszczególne pakiety danych i ich zmienność.



Rys. 2. „EMU BLACK” ECUMASTER

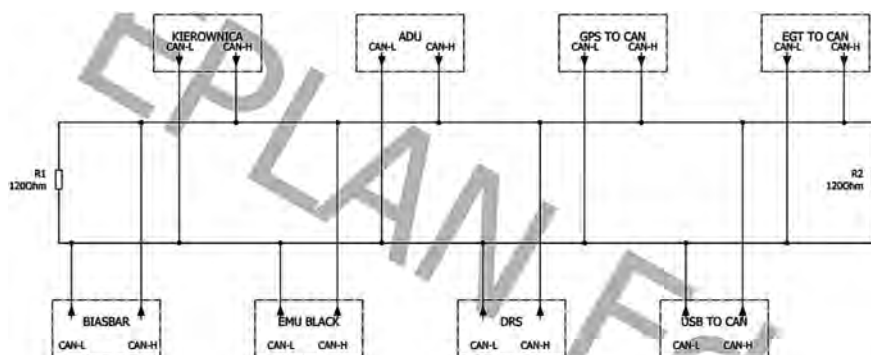
Źródło: <https://www.pngwing.com/en/free-png-hzjzj> [dostęp: 9.05.2023].



Rys. 3. „ADU” ECUMASTER

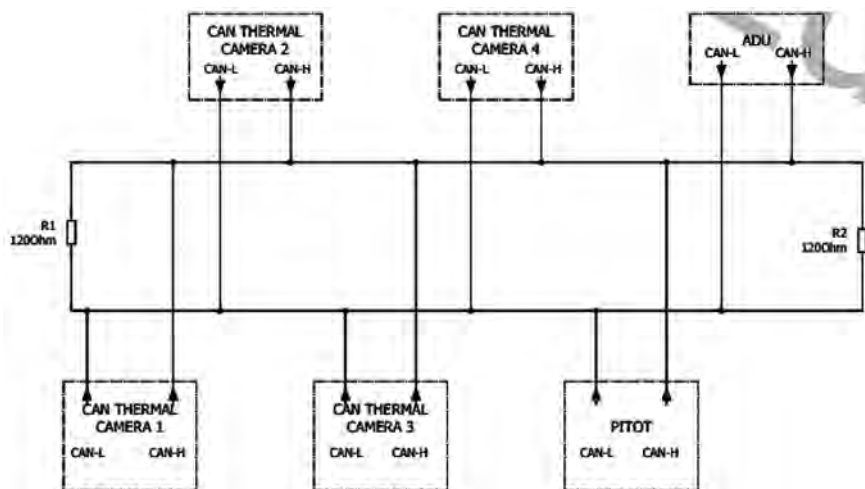
Źródło: <https://spracingonline.com/products/ecumaster-adu7-autosport-advanced-display-unit> [dostęp: 9.05.2023].

W projekcie systemu wykorzystanego w bolidzie zaimplantowano dwie oddzielne magistrale CAN. Zabieg ten ma na celu ułatwienie obsługi i serwisowalności oraz zminimalizowanie ryzyka awarii. Pierwsza magistrala obsługuje komponenty, których demontaż nie jest przewidziany w czasie trwania sezonu wyścigowego (rys. 5). Druga dotyczy elementów użytkowanych jedynie podczas testów jezdnych, których ciągła obecność w pojeździe jest niezgodna z regulaminem lub nie przynosi wymiernych korzyści (rys. 6). Urządzeniem łączącym dane z obu magistrali jest ADU.



Rys. 4. Schemat głównej magistrali CAN w bolidzie

Źródło: opracowanie własne.



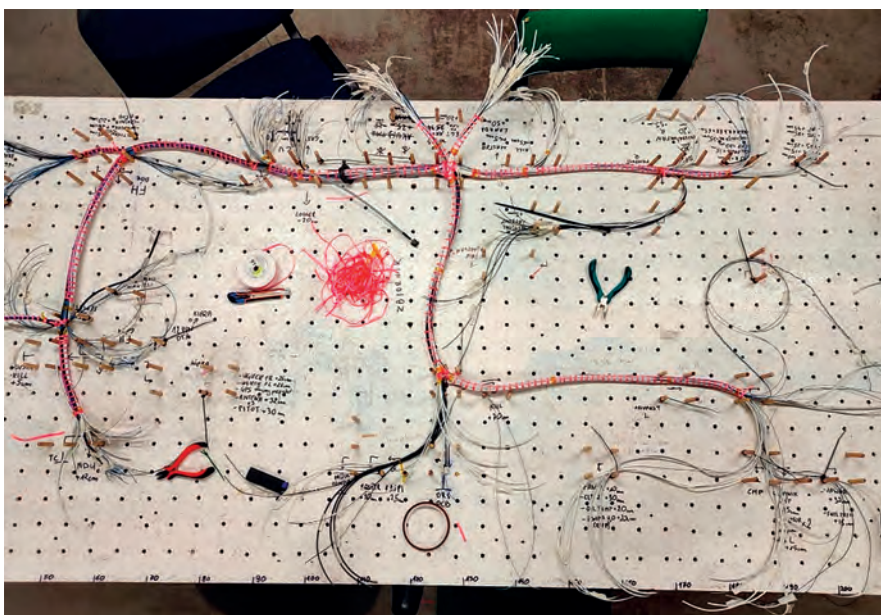
Rys. 5. Schemat pomocniczej magistrali CAN w bolidzie

Źródło: opracowanie własne.

5. Warstwa fizyczna magistrali CAN

Z fizycznego punktu widzenia magistrala CAN składa się z urządzeń połączonych ze sobą szeregowo za pomocą pary skręconych przewodów. Zakończeniem magistrali po obu stronach są rezystory terminujące.

Aby zniwelować ryzyko wpływu zakłóceń w postaci wrażliwości na pole elektromagnetyczne wytwarzane poprzez różnicę potencjałów i przepływ prądu w przewodach z otoczenia magistrali lub w niej samej, stosuje się metodę skręcania. Skręcanie powoduje, że linie pola elektromagnetycznego skierowanie są przeciwnie, czego wynikiem jest tendencja do wzajemnego znoszenia się [8]. Ponadto sposób ten zwiększa wytrzymałość mechaniczną całej wiązki za sprawą lepszego rozłożenia sił działających na pojedynczą żyłę [9]. Dzięki wysokiej odporności magistrali na zakłócenia możliwe jest prowadzenie przewodów sygnałowych wraz z zasilającymi, jak pokazano na rys. 4.



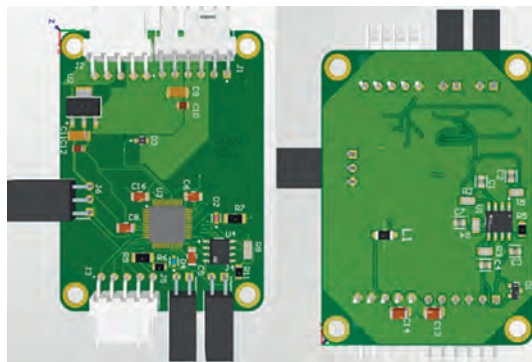
Rys. 6. Proces wykonywania wiązki elektrycznej

Źródło: opracowanie własne.

Budowa magistrali CAN niesie za sobą jeszcze jeden problem, którym jest zjawisko odbicia sygnału. Polega ono na obiciu części mocy sygnału z powrotem do nadajnika i potencjalnego wpływu na kolejne impulsy przenoszące dane. Dzieje się tak ze względu na niedopasowanie impedancji źródła i obciążenia. Do zniwelowania negatywnego oddziaływania odbicia na pracę systemu wykorzystywane są rezystory terminujące o wartości 120 omów, co jest wartością nominalną impedancji przewodów określaną przez normę ISO 11898-2. W magistrali CAN używane są dwa rezystory terminujące ze względu na dwukierunkową transmisję danych [5].

6. Projektowanie modułów obsługujących magistralę CAN

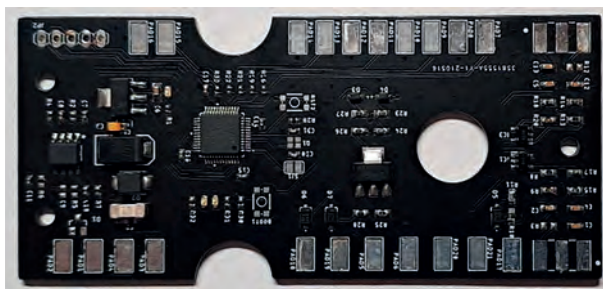
Ze względu na chęć rozbudowy elektronicznego systemu wchodzącego w skład bolidu o dodatkowe funkcje zdecydowano się na zaprojektowanie i wykonanie własnych modułów odpowiedzialnych za obsługę serwomechanizmów (rys. 7) oraz kierownicy (rys. 8). Ważnym aspektem w procesie tworzenia powyższych urządzeń było zaimplementowanie obsługi magistrali CAN.



Rys. 7. Model CAD urządzenia sterującego pracą serwomechanizmu

Źródło: opracowanie własne.

Do budowy węzła transmisyjnego sieci CAN możemy wykorzystać trzy rozwiązania. Każde składa się z mikrokontrolera, kontrolera CAN i układu nadawczo-odbiorczego CAN. Różnią się liczbą układów scalonych potrzebnych do budowy węzła.

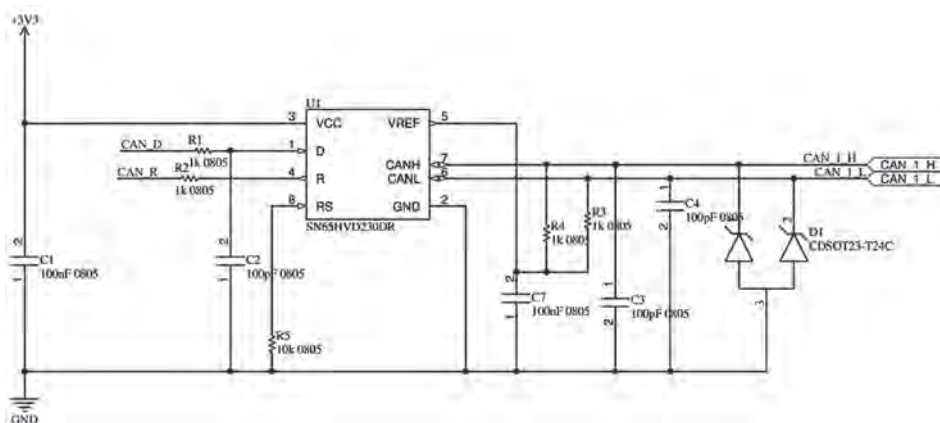


Rys. 8. Moduł kierownicy

Źródło: opracowanie własne.

Trzy podstawowe rozwiązania:

- trzy układy scalone: mikrokontroler, kontroler CAN i zewnętrznym transceiverem CAN,
- dwa układy scalone: mikrokontroler z wbudowanym kontrolerem CAN i zewnętrznym transceiverem CAN (rys. 9),
- jeden układ scalony: mikrokontroler z wbudowanym kontrolerem i transceiverem CAN.



Rys. 9. Schemat części układu obsługującej magistralę CAN

Źródło: opracowanie własne.

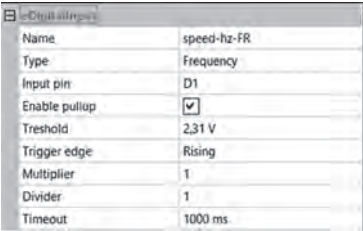
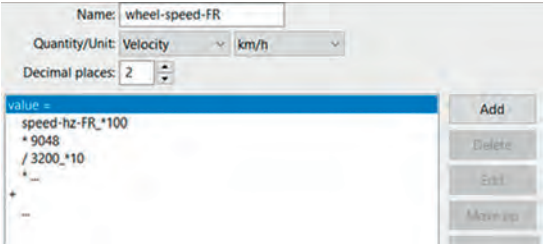
W przedstawionych węzłach użyto rozwiązania nr 2, ponieważ jest jednym z najczęściej stosowanych w obecnej technice projektowej. Wykorzystano scalony mikrokontroler z rodziny STM32, który ma wbudowany

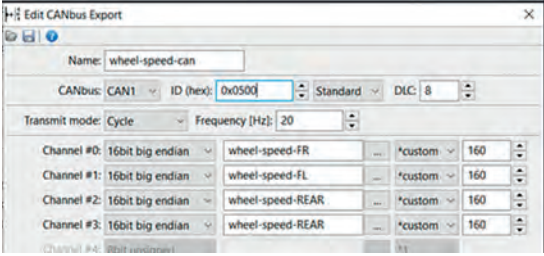
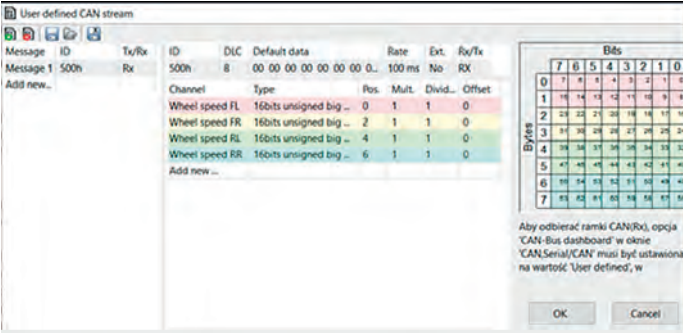
kontroler magistrali CAN oraz zewnętrzny układ transceivera. Dodano także dodatkowe zabezpieczenia na liniach magistrali [10–13].

7. Obsługa magistrali CAN-COTS

Komponenty dostarczane przez zewnętrzne firmy wymagają konfiguracji lub zaprogramowania. Przystosowanie ich do wymaganych założeń jest prostsze niż w przypadku własnych projektów. Producent udostępnia oprogramowanie, za pomocą którego w łatwy sposób można przejść proces implementacji urządzeń do systemu akwizycji danych. Przykładową konfigurację przedstawia tabela 4.

Tabela 4. Obsługa magistrali CAN w programie ADU i EMU BLACK

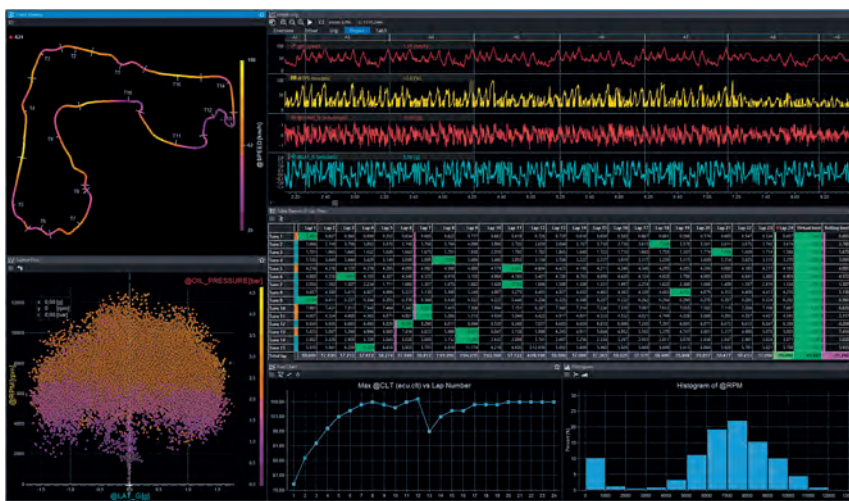
Przykładowe okno konfiguracyjne	Przeprowadzone działanie
 Rys. 8. Okno konfiguracji wejścia cyfrowego Źródło: opracowanie własne.	Konfiguracja wejścia cyfrowego. Odebranie sygnału o zmiennej częstotliwości (ADU) [14].
 Rys. 9. Okno dialogowe umożliwiające przekształcenia matematyczne Źródło: opracowanie własne.	Obliczenie właściwej prędkości koła na podstawie promienia opony i liczby zębów na zębatce, z której czujnik pobiera sygnał. Brak możliwości korzystania z ułamków, jedynie liczby całkowite (ADU) [14].

Przykładowe okno konfiguracyjne	Przeprowadzone działanie
 Rys. 10. Okno konfiguracji ramki danych Źródło: opracowanie własne.	Konfiguracja ramki danych: wybór magistrali, określenie ID, długości danych wyrażonej w bajtach, ustawienie typu transmisji, częstotliwości oraz przypisanie i konfiguracja zmiennych zawartych w ramce (ADU) [14].
 Rys. 11. Okno konfiguracyjne odbioru ramki danych Źródło: opracowanie własne.	Odebranie ramki danych w sterowniku silnika (EMU BLACK).

Źródło: opracowanie własne.

8. Wyniki

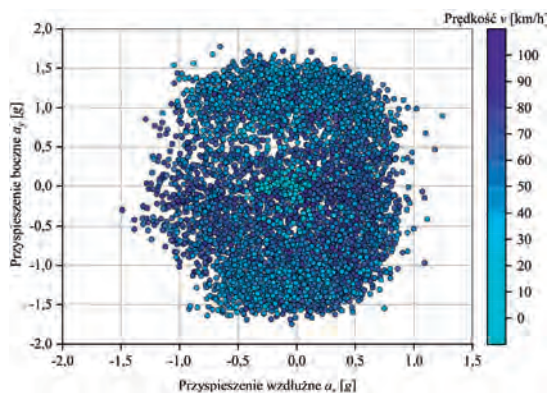
Ostatnim procesem związanym z systemem akwizycji danych jest ich analiza, którą można podzielić na dwa rodzaje. Pierwsza dotyczy interpretacji bieżącej, przeprowadzanej na torze lub w okresie sezonu wyścigowego. Skupia się na monitorowaniu parametrów krytycznych odpowiedzialnych za niezawodność auta, jak i na efektywności jazdy danego kierowcy przy konkretnych ustawieniach pojazdu. Niezbędny w tym celu jest program komputerowy, który daje możliwość analizy wielu czynników i zawiera zbiór gotowych szablonów ułatwiających interpretację danych [1–4, 15]. Przykładowe oprogramowanie mające powyższe funkcje przedstawiono na rys. 14.



Rys. 12. Analiza danych w oprogramowaniu Data Master

Źródło: opracowanie własne.

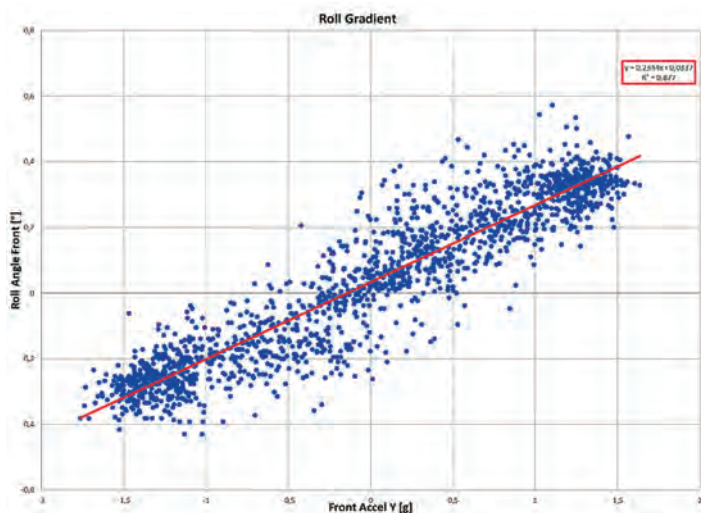
Druga ścieżka analizy wiąże się z budową kolejnego bolidu. Przeprowadzona walidacja umożliwia zweryfikowanie konstrukcji pod kątem projektowym oraz wykonawczym. Wyciągnięte wnioski posłużą jako baza przed następnym sezonem. W celu bardziej dogłębnego opracowania danych wykorzystywane są oprogramowania: Matlab, OriginLab (rys. 15), Excel (rys. 16), które pozwalają na większą swobodę przeprowadzania obliczeń [1–4].



Rys. 13. Rozkład przyspieszeń bocznych i wzdluznych w zależności od prędkości

– oprogramowanie OriginLab

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 14. Zależność kąta znoszenia od przyspieszenia w osi Y – oprogramowanie Excel

Źródło: opracowanie własne.

9. Podsumowanie

Problematyka pozyskiwania danych w pojeździe wyścigowym to szereg złożonych etapów, od doboru czujników przez metodę transmisji informacji aż do urządzeń końcowych przetwarzających dane.

W artykule poruszono tematykę dotyczącą akwizycji danych w bolidzie Formuły Student. Zdecydowano się na wykorzystanie magistrali CAN jako metody transmisji ze względu na dużą dostępność modułów obsługujących ten standard komunikacji, a także łatwą implementację do projektowanych urządzeń. Ponadto dodatkowym atrybutem jest prosta wykonania warstwy fizycznej systemu oraz wysoka odporność na zakłócenia elektromagnetyczne.

Zgromadzone dane z poszczególnych czujników pozwalają na ich późniejszą analizę przez zespół projektowy. Na podstawie wyciągniętych wniosków możliwe jest wprowadzanie drobnych, bieżących zmian, a także uwzględnienie poprawek w kolejnych projektach.

Literatura

- [1] OptimumG, *Advanced vehicle dynamics applied to race car design & development*, [b.m.w.] 2019.
- [2] Li Z., Wang D., Kang Q., *The development of data acquisition system of Formula SAE race car based on CAN bus communication interface and closed-loop design of racing car*, "Wirel. Commun. Mob. Comput." 2021, no. 18.
- [3] Milliken W. F., Milliken D. L., *race car vehicle dynamics*, 1995.
- [4] Segers J., *Analysis techniques for racecar data acquisition*, 2014.
- [5] Panecki S., *Interfejsy komunikacyjne w motoryzacji*, „Elektronika Praktyczna” 2015, nr 6.
- [6] Zimmermann W., Schmidgall R., *Magistrale danych w pojazdach. Protokoły i standardy*, Warszawa 2008.
- [7] Jabłoński A., Komorska I., *Analiza danych w magistrali CAN na stanowisku dydaktycznym*, „Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2017, R. 18, nr 6, ss. 749–751.
- [8] EMI Analyst, *How cable twisting improves EMI*, <https://emianalyst.wordpress.com/2016/08/31/how-cable-twisting-improves-emi/> [dostęp: 9.05.2023]
- [9] RB Racing, *Professional mil-spec motorsport ECU wiring harness construction*, https://www.rbracing-rsr.com/wiring_ecu.html, 2011.
- [10] Bosch, *CAN specification version 2.0*, 1991.
- [11] Kardaś P., *Magistrala CAN/LIN od A do Z. Diagnostyka i programowanie*, Szczecin 2020.
- [12] Pease R. A., *Projektowanie układów analogowych*, Warszawa 2005.
- [13] Horowitz P., Hill W., *Sztuka elektroniki*, 2018.
- [14] ECUMASTER, *ADU-5/ADU-7 User Manual*, ver. 1.117, 2020.
- [15] ECUMASTER, *DATA MASTER User Manual*, ver. 0.1, 2022.

Sebastian Rosół

Politechnika Rzeszowska | Koło Naukowe Racing Team

Tomasz Lechwar

Politechnika Rzeszowska | Koło Naukowe Racing Team

Radosław Rysz

Politechnika Rzeszowska | Koło Naukowe Racing Team

Hubert Wojtoń

Politechnika Rzeszowska | Koło Naukowe Racing Team

Dariusz Wacek

Politechnika Rzeszowska | Koło Naukowe Racing Team

Konrad Ner

Politechnika Rzeszowska | Koło Naukowe Racing Team

**BADANIE WPŁYWU RODZAJU ORAZ WYSOKOŚCI RDZENIA,
GRUBOŚCI I UŁOŻENIA TKANIN NA WYNIKI
TRZYPUNKTOWEGO ZGINANIA PRÓBEK KOMPOZYTOWYCH
Z WŁÓKNA WĘGLOWEGO**

**STUDY OF THE INFLUENCE OF CORE TYPE
AND HEIGHT, FABRIC THICKNESS AND ORIENTATION
ON THE RESULTS OF THREE-POINT BENDING TESTS
OF CARBON FIBER COMPOSITE SAMPLES**

S U M M A R Y

The study is about the experimental analysis of the failure process of sandwich structures as a result of three-point bending. The purpose of the study was to determine differences that occur in the failure mechanism of such structures depending on the thickness and the material of the core used. For the study, specimens were made with a Rohacell foam core and a honeycomb core. The failure process of the specimens was carried out in static loading using a system that introduces bending

stresses. Analysis of the test results was made on the basis of load-displacement curves, maximum load and energy absorbed by individual specimens. The tests showed significant differences in the failure mechanism in the failure mechanism of specimens with different core materials. The specimen with a Rohacell core, failed improperly, transferring significantly less force and energy than its equivalent using aluminum honeycomb

Keywords

honeycomb, carbon fiber, experimental analysis, static test, formula student

1. Wstęp

Struktury kompozytowe są niezwykle pożądane we wszystkich gałęziach przemysłu. W kontekście sportów motorowych ich badanie ma bardzo istotny wpływ na projekt całej konstrukcji. Wytrzymałość struktur kompozytowych zależy od wielu czynników, takich jak: rodzaj i jakość użytych materiałów, sposób łączenia ich ze sobą, kształt i geometria struktury oraz warunki środowiskowe, w których będą działać, i wymaga dokładnego zaprojektowania oraz wykonania, aby osiągnąć optymalne parametry wytrzymałościowe. Ważne jest również przeprowadzenie odpowiednich badań i testów, by ocenić odporność struktury kompozytowej na uszkodzenia. Współczesne technologie umożliwiają dokładne badanie materiałów kompozytowych, choćby testy zginania, rozciągania, ścinania i inne. Pozwalają one na lepsze zrozumienie właściwości materiałów i opracowanie bardziej wytrzymałych struktur kompozytowych.

Głównymi założeniami w Formule Student jest minimalizacja masy przy maksymalizacji wytrzymałości, w związku z tym stosowanie małych współczynników bezpieczeństwa jest nieuniknione. Zatem badanie miało na celu wyznaczenie maksymalnej wartości siły, jaką próbka jest w stanie wytrzymać, oraz ilość pochłoniętej siły. Dzięki temu była możliwość porównania tych wartości z konstrukcją wykonaną ze stalowych rur.

W tym przypadku kompozytu przekładkowego (ang. *sandwich*) został zbadany wpływ grubości skóry z włókna węglowego oraz rodzaju rdzenia, który może być wykonany z materiału pod nazwą honeycomb (aluminium w kształcie plastra miodu) lub z pianki. Kompozyty przekładkowe mają

podobną wytrzymałość na rozciąganie, lecz charakteryzują się dużo większą odpornością na zginanie w porównaniu z próbką o litym wypełnieniu [1]. Skóra z włókna węglowego ma za zadanie przenosić naprężenie rozciągające lub ściskające od sił podłużnych i momentów zginających. Rdzeń przenosi głównie naprężenia ścinające spowodowane przez siły poprzeczne.

Procesy wykonania mogą bardzo się różnić. Możemy wyróżnić metodę *wet-layup*, czyli nakładanie suchego włókna węglowego [2], które następnie ręcznie zostaje nasączone żywicą epoksydową. Minusem tego rozwiązania jest brak dokładności w ilości nałożonej żywicy. Może to spowodować nadmierne przesączenie włókien, a co za tym idzie niepotrzebne zwiększenie masy, lub ich niedosączenie, co może mieć istotny wpływ na wytrzymałość kompozytu. Drugą metodą, dużo bardziej popularną, lecz droższą, jest technologia *pre-preg*. Polega na nasączeniu włókna już przez producenta idealną ilością żywicy, co zupełnie eliminuje mankamenty poprzedniej metody, a dodatkowo zwiększa komfort pracy. Oprócz sposobów produkcji możemy wyróżnić różne rodzaje włókien węglowych: jednokierunkowe (UD) – włókna są ułożone tylko w jednym kierunku i wzmocnienie jest również w tym kierunku; w postaci tkaniny – wzmocnienie jest w wielu kierunkach, rozróżniamy tutaj włókna o splotach PLAIN przypominające szachownicę, TWILL o splotcie skośnym oraz SATIN o splotcie satynowym [3]. W przypadku tego badania została wykorzystana technologia *pre-preg* z połączeniem włókien UD oraz TWILL symetrycznie po obu stronach rdzenia.

Drugim ważnym aspektem struktur przekładkowych jest dobór rdzenia. Wybrane zostały rdzeń w postaci aluminiowego plastra miodu i pianka Rohacell. Pierwszy – z uwagi na wysoką wytrzymałość na ściskanie i dostępność, drugi zaś ze względu na lżejszą masę ostateczną próbki i łatwiejszą formowalność materiału [4]. W tym artykule omówiony został proces badania próbek kompozytowych w kontekście projektowania *mono-coque* węglowego przeznaczonego do bolidu klasy Formuła Student.

2. Metodologia

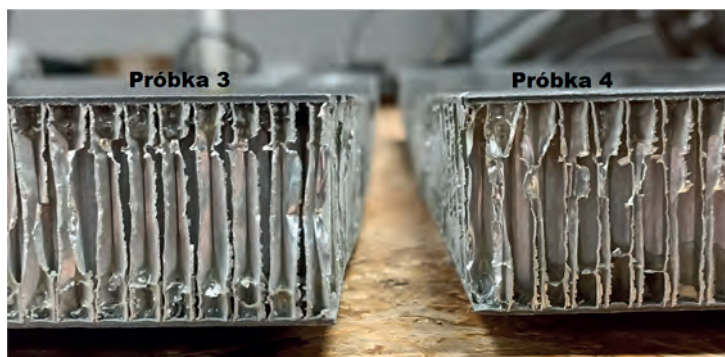
Badanie polegało na przetestowaniu czterech próbek o wymiarach 275×500 mm wykonanych z włókna węglowego i aluminiowego honeycomb [5].

Próbka nr 1 (rys. 1) ma skórę wykonaną z włókna węglowego (SHD Composite Materials Ltd, Sleaford, Anglia) o grubości 2,6 mm i rdzeń aluminiowy honeycomb (ułownica) (aluNID, Linares, Hiszpania) o grubości 30 mm. Próbka nr 2 ma skórę z włókna węglowego o grubości 2,6 mm i rdzeń wykonany z pianki (ROHACELL® Foam Cores). Próbka nr 3 ma skórę z włókna węglowego o grubości 0,8 mm i materiału honeycomb o grubości 30 mm, próbka nr 4 zaś z włókna węglowego o grubości 1 mm i honeycomb o grubości 30 mm. Próbkę 1 oraz 2 miały na celu dobranie odpowiedniego do zastosowań w bolidzie rdzenia, który będzie jak najlżejszy i przy tym odpowiednio wytrzymały, a próbki 3 i 4 (rys. 2) – właściwe ułożenie tkanin względem siebie i grubość skóry zewnętrznej. Skóry zostały połączone z rdzeniem za pomocą filmu adhezyjnego (HEXBOND 679, 250 g/m²).



Rys. 1. Prezentacja próbek 1 oraz 2

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2. Prezentacja próbek 3 oraz 4

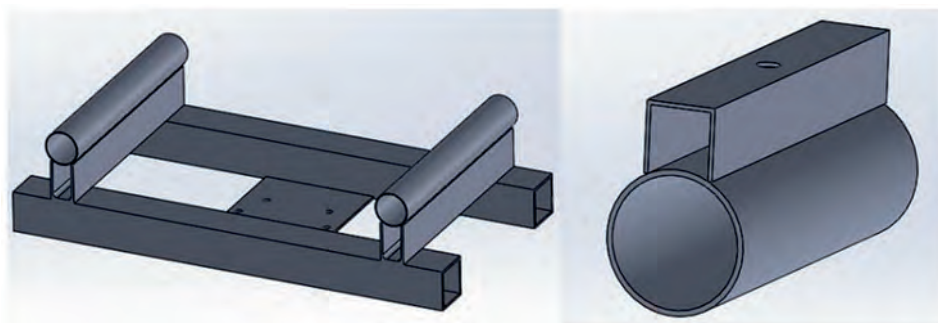
Źródło: opracowanie własne.

Badania próbek zostały przeprowadzone z użyciem maszyny wytrzymałościowej Zwick Roell Z050 (ZwickRoell GmbH & Co.KG, Ulm, Niemcy) (rys. 3). Na ruchomym trawersie znajdował się aplikator w postaci walca o średnicy zewnętrznej 100 mm (rys. 4), na nieruchomym zaś druga część stanowiska wyposażona w dwa walce o średnicy zewnętrznej 25 mm, które dopełniały stanowisko do trzypunktowego zginania. Badania przeprowadzono z kontrolą przemieszczenia przy stałej prędkości przesuwania trawersu równą 12 mm/min.



Rys. 3. Maszyna wytrzymałościowa Zwick Roell Z050

Źródło: <https://zwickroell.com>. [dostęp: 8.05.2023].

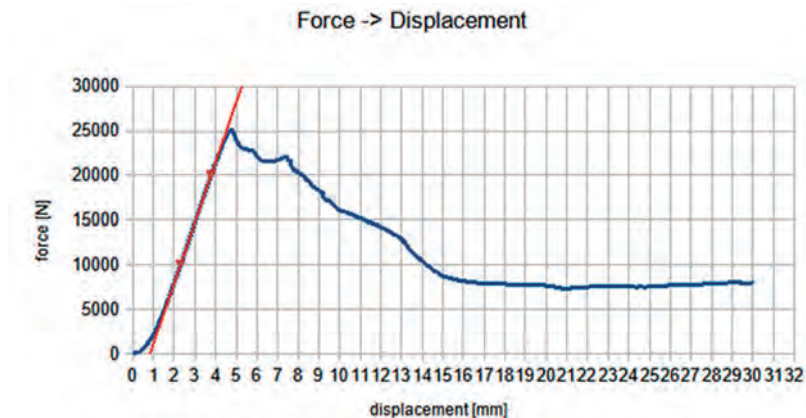


Rys. 4. Projekt stanowiska do trzypunktowego zginania próbek kompozytowych
Źródło: opracowanie własne.

3. Wyniki

Próbka 1

Oznaczenie: FSG-B-P-6UD-Q



Rys. 5. Wykres siły od odkształcenia próbki 1 [dostęp: 2.05.2023].

Dane z badania:

Energia do 12,7 mm: 201 442 mJ

Maksymalna siła: 25 111 N

Wytrzymałość na zginanie: 116,07 MPa

Moduł Younga: 23,67 GPa

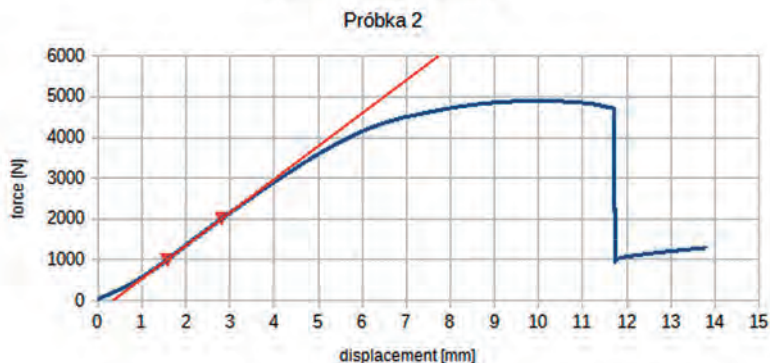
6. Badanie wpływu rodzaju oraz wysokości rdzenia, grubości i ułożenia tkanin...

S. Rosół, T. Lechwar, R. Rysz, P. Rzeszowska, H. Wojtoń, D. Wacek, K. Ner

Próbka 2

Oznaczenie: FSG-B-P-11UD-FBH

Force -> Displacement



Rys. 6. Wykres siły od odkształcenia próbki 2

Dane z badania:

Energia do 12,7 mm: 40 718 mJ

Maksymalna siła: 4897 N

Wytrzymałość na zginanie: 22,64 MPa

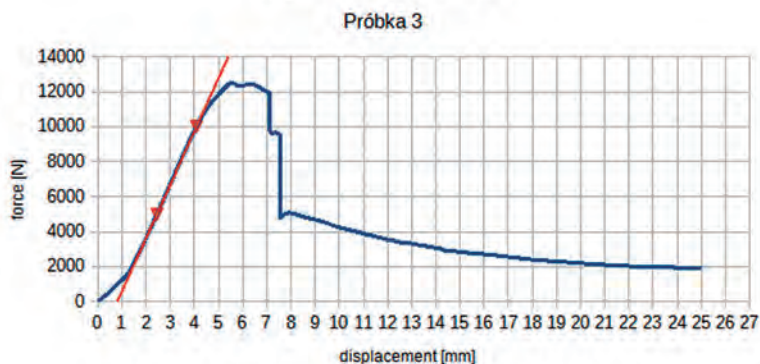
Moduł Younga: 2,85 GPa

Uwagi: próbka zniszczyła się w niewłaściwy sposób.

Próbka 3

Oznaczenie: FSG-B-P-2-1

Force -> Displacement



Rys. 7. Wykres siły od odkształcenia próbki 3

Dane z badania:

Energia do 12,7 mm: 68 209 mJ

Maksymalna siła: 12 497 N

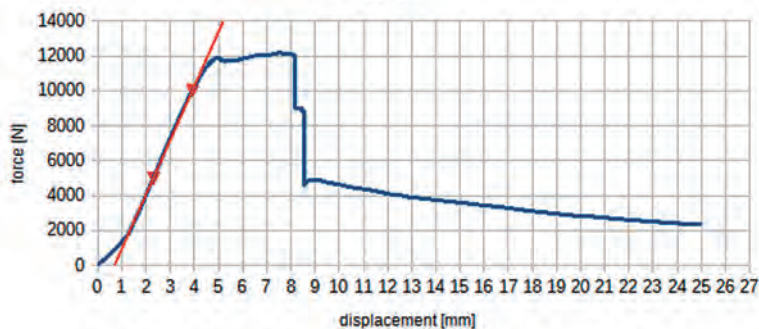
Wytrzymałość na zginanie: 57,8 MPa

Moduł Younga: 10,67 GPa

Próbka 4
Oznaczenie: FSG-B-P-3-1

Force -> Displacement

Próbka 4



Rys. 8. Wykres siły od odkształcenia próbki 4

Dane z badania:

Energia do 12,7 mm: 88 668 mJ

Maksymalna siła: 12 168 N

Wytrzymałość na zginanie: 56,25 MPa

Moduł Younga: 10,87 GPa

Celem było opracowanie struktury, która będzie odpowiednia do zastosowania w bolidzie Formuły Student. Regulamin wspomnianej serii wyścigowej narzuca wymagania, jakie kompozyt musi spełnić, aby mógł zostać zastosowany w pojeździe. Przepisy dzielą wymogi odnośnie do kompozytów na trzy kategorie. Wyznaczone są one na podstawie podziału sekcji konstrukcji nośnej stosowanej w bolidzie. Pierwszą z nich jest Side Impact Structure (SIS), drugą Front Bulkhead (FBH), a trzecią Front Bulkhead Support (FBHS). Wszystkie kompozyty stosowane w bolidzie muszą spełniać warunek przeniesienia określonej siły, natomiast dla SIS stawia się dodatkowe wymaganie w postaci pochłonięcia określonej energii uderzenia, w celu ochrony kierowcy w sytuacji wypadku. Dodatkowo właściwości mechaniczne w połączeniu z geometrią bryły *monocoque* tworzą wskaźniki wytrzymałości przekroju na różne rodzaje obciążeń, które również podlegają restrykcjom.

Opracowanie kompozytów zaczęło od badania rur, które są punktem wyjścia i odniesieniem do badań laminatów. Skupiono się przede wszystkim na SIS oraz FBH jako sekcjach najbardziej obostrzonych,

zaproponowano kilka konfiguracji tkanin i rdzeni, które zbadano, a następnie wyciągnięto wnioski. Na podstawie przeprowadzonych testów zaproponowano dwie próbki z rdzeniem aluminiowym w kształcie plastra miodu, z układem tkanin T[0/90]-2xUD[0]-UD[90]-UD[45]-UD[-45] (próbka 3) na Side Impact Structure oraz próbkę z rdzeniem w postaci pianki z 25-warstwowym układem tkanin (próbka 2) na Front Bulkhead Support. Po ich przebadaniu otrzymano dane, z których wynikało, że tak zbudowane kompozyty nie spełniły wszystkich stawianych wymagań. Laminat nr 3 spełnił kryteria odnośnie do piku siły (4900 N vs 12 497 N), ale nie przeniósł wystarczająco dużo energii (68 209 mJ vs 79 124 mJ), aby mógł być stosowany jako budulec SIS. FBHS nie wymagał pochłaniania energii, a otrzymana siła była wyższa od wymaganego wyniku, dlatego został wybrany jako laminat dla FBHS, był również najlżejszym, który spełniał wymóg zginania oraz wspomniane wcześniej warunki wytrzymałościowe.

Przy następnej próbie zdecydowano się na modyfikację layupu, dodano jedną warstwę UD na kierunku 0 w celu zwiększenia wytrzymałości. Przebadano zmodyfikowany laminat (próbka 4), który spełnił wymagania SIS, ponieważ pochłonął 88 668 mJ (odniesienie: 79 124 mJ).

Laminat nr 2 uzyskał zaskakująco słaby wynik. Siła w piku nie przekroczyła 5000 N. Analizując jego zniszczenie, można zauważyć spore pęknięcie rdzenia. Poprawne zniszczenie kompozytu zakłada pęknięcie jednej ze skór laminatu, to jednak nie mogło nastąpić w tym przypadku ze względu na ogromną różnicę w sztywności rdzenia i przekładek. Poprawy wyniku należało szukać w zmniejszeniu liczby warstw w skórze lub zmianie rdzenia. Wybrano drugie z możliwych rozwiązań, aby uniknąć osłabienia kompozytu, obniżając w ten sposób ryzyko zmniejszenia wyników badań poniżej narzuconych wytycznych. Użyty rdzeń (w próbce 1) jest taki sam jak dla nr. 3 i 4. Jak pokazało kolejne badanie, kompozyt przeszedł pozytywnie test i został wybrany na FBH. W porównaniu z odniesieniem siła wyniosła 25 110 N, czyli ponad dwukrotnie więcej, niż zakłada regulamin.

4. Wnioski

Dzięki przeprowadzonym badaniom opracowano struktury spełniające wymagania regulaminu i bezpieczeństwa. Względem stworzonych poprzednio

laminatów próbki 3 oraz 4 pozwoliły na zmniejszenie masy *monocoque* przy zachowaniu tej samej sztywności za pomocą zmiany geometrii. Dzięki nowemu laminatowi sekcja Side Impact Structure stała się lżejsza o 6,5%, przy jednoczesnym wzroście pochłanianej energii o 24%. Front Bulkhead powstał dzięki przedstawionemu badaniu, co pozwoliło na dalsze prace nad projektem skorupowej konstrukcji nośnej. Próbka 3 wykorzystana na sekcję FBHS była sztywniejsza od poprzedniego kompozytu o 12%, przy nieznacznym zwiększeniu masy – o niecałe 4%.

Kolejnymi możliwościami optymalizacji mogą być: wykorzystanie innego materiału na rdzeń, wykorzystanie niższych rdzeni, użycie wytrzymałego włókna węglowego, wygrzanie *monocoque* węglowego w wyższej temperaturze.

Literatura

- [1] Królikowski W., *Polimerowe kompozyty konstrukcyjne*, Warszawa 2012.
- [2] *Technologie produkcji wyrobów kompozytowych*, <https://compotec.pl/pl/index.php/technologie-produkcji-wyrobow-kompozytowych/> [dostęp: 8.04.2023].
- [3] Informacje producenta, <https://kompozyty.milar.pl/prepregi/> [dostęp: 8.04.2023].
- [4] *Sandwich Structures and Cores*, <https://www.addcomposites.com/post/sandwich-structures-and-cores> [dostęp: 8.04.2023].

Karol Duda

Politechnika Lubelska | Studenckie Koło Naukowe Inżynierii Materiałowej

dr inż. Leszek Gardyński, prof. uczelni

Politechnika Lubelska | Katedra Inżynierii Materiałowej

MODYFIKACJA GAŚIENIC POJAZDU PÓŁGAŚIENICOWEGO „POLONEZ 6 × 2 HALFTRACK”

MODIFICATION OF TRACKS IN THE “POLONEZ 6 × 2 HALFTRACK” HALF-TRACK VEHICLE

A B S T R A C T

The article presents the development, modification process, and results related to the tracks of a vehicle created with the involvement of members of the Student Research Group of Materials Engineering at the Faculty of Mechanical Engineering, Lublin University of Technology. The vehicle was built based on an FSO Polonez Caro Plus passenger car, to which a third axle and skis reducing the load on the front wheels were added. The vehicle was designed primarily for traversing snow-covered terrain.

Key words

half-track vehicle, track, rolling resistance



Rys. 1. „Polonez 6 × 2 Halftrack” przed modyfikacją gaśienic

1. Wprowadzenie

Pierwszym krokiem po przeanalizowaniu pomysłu i zastanowieniu się nad możliwością jego realizacji był wybór odpowiedniego samochodu. Musiał mieć napęd na tył, ponieważ tam miały znaleźć się gąsienice. Ze względu na prostą konstrukcję samochodu umożliwiającą jej modyfikację oraz niską cenę i dużą dostępność części zamiennych zostało zakupione auto „FSO Polonez Caro Plus” napędzane silnikiem 1,6 GLI z instalacją gazową. Samochód był dobrą bazą do zrealizowania projektu dzięki temu, że elementy nośne (progi, podłoga, podłużnice, słupki, dach), jak i pozostałe części stalowe nie były skorodowane.

2. Dostosowanie nadwozia i podwozia do montażu trzeciej osi

Na początku wykonano dodatkową oś tylną z profilu stalowego zamkniętego. Rozstaw kół tej osi jest identyczny jak w seryjnym moście napędowym poloneza. Dodatkowa oś została zespawana z pięciu części, zastosowanie osi jednoczęściowej uniemożliwiało wał napędowy, który został ominięty. Zastosowane piasty pozwoliły na montaż kół oryginalnie montowanych w polonezach. Następnie wymontowano elementy wnętrza (przednie fotele, kanapę tylną, wykładzinę z podłogi) w celu dostosowania nadwozia i podwozia do trzeciej osi. Wycięto fragmenty błotników tylnych, podłogi i progów, po czym przystąpiono do montażu dodatkowej osi. Nadkola wykonano z kompozytów. Kolejnym krokiem było skrócenie tylnych drzwi oraz zaślepienie ich w dolnej części blachą stalową, którą wspawano. Po tej operacji zamontowano drzwi w samochodzie. Ostatnimi pracami wykonanymi przy nadwoziu było lakierowanie nowych elementów oraz tych, na których powłoka lakiernicza uległa uszkodzeniu. Po pracach lakierniczych zakonserwowano podwozie. Dostosowano elementy wnętrza do zaistniałych zmian, zwężono tylną kanapę, wycięto nadmiar wykładziny, a także skrócono boczki drzwi tylnych. Dodatkowe nadkola wykończono

wykładziną podłogową. Po wykonaniu tych czynności elementy wnętrza zamontowano z powrotem w samochodzie.

3. Montaż silnika wysokoprężnego

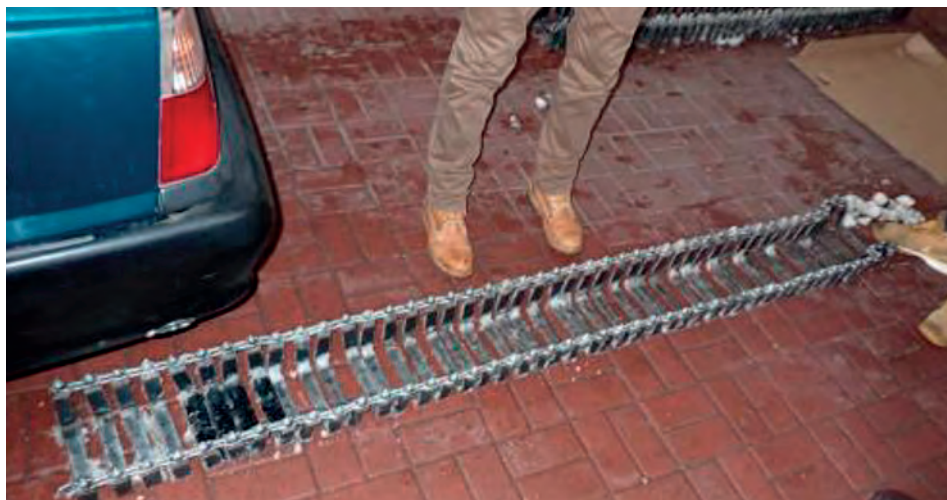
Silnik o zapłonie iskrowym 1,6 GLI sprawdzał się w seryjnych polonezach wykorzystywanych w ruchu ulicznym, początkowo po przebudowie nadwozia i podwozia samochód był napędzany fabrycznym silnikiem z instalacją gazową. Od początku brano pod uwagę wymianę silnika benzynowego na wysokoprężny, m.in. ze względu na konieczność powolnej jazdy, a co za tym idzie niską prędkość obrotową podczas jazdy. Producent zaleca jazdę w zakresie 2000–3500 obr./min, a napęd gąsienicowy utrudnia szybką jazdę przebudowanym polonezem. Decyzję o jego wymianie przyspieszyła awaria, kiedy uszkodzeniu uległa uszczelka pod głowicą, przez co płyn chłodniczy dostawał się do oleju. Z uwagi na dostępność, niską cenę, dobre osiągi, a przede wszystkim znacznie większą elastyczność i możliwość montażu w omawianym samochodzie bez większych przeróbek zastosowano silnik wysokoprężny 1,9 GLD pochodzący z innego poloneza. Silniki te były montowane w tych autach fabrycznie i miały dobrą opinię wśród użytkowników. Z samochodu zdemontowano instalację LPG, co zwiększyło ilość miejsca w bagażniku oraz podniosło poziom bezpieczeństwa pożarowego i wybuchowego.



Rys. 2. Komora silnika po zamontowaniu silnika wysokoprężnego

4. Gąsienice

Zostały one wykonane ze stalowego łańcucha i ogniów z płaskownika. Łańcuch nie uległ żadnym przeróbkom, płaskownik pocięto na kawałki odpowiedniej długości, każdy wygięto w czterech miejscach, w każdym wywiercono po dwa otwory. Następnie połączono przy użyciu śrub, nakrętek i specjalnych podkładek – w ten sposób otrzymano gąsienice.



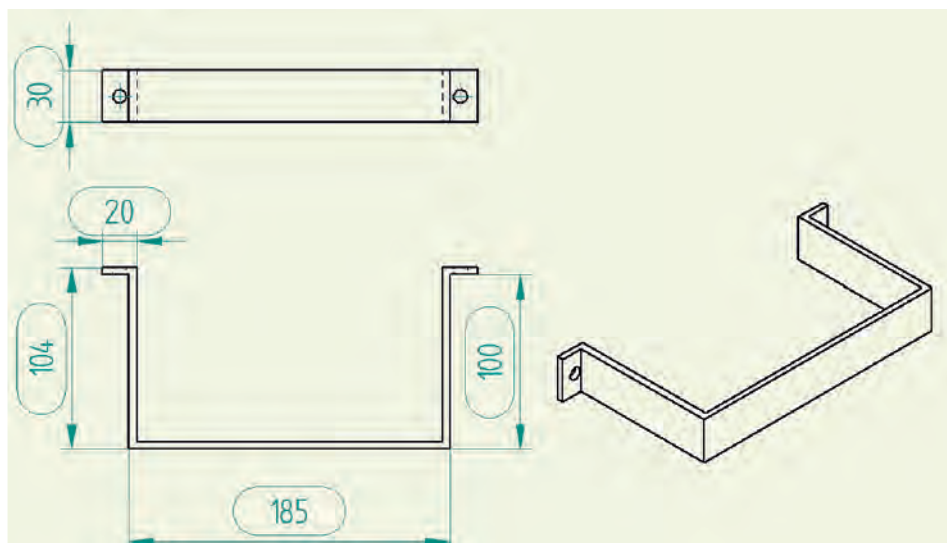
Rys. 3. Widok gąsienicy przed montażem

Problemem po przeprowadzonych próbach w lecie i w zimie okazało się zbyt słabe napięcie gąsienic po obu stronach, powodowało to – zwłaszcza w śniegu – skłonność do ślizgania kół w gąsienicy. Kolejną wadą było niedostosowanie gąsienic do utwardzonych podłoży, szczególnie rysowanie kostki brukowej i asfaltu, po którym polonez przejechał. Obie trudności zostały rozwiązane przy jednej poprawie gąsienic. Na każdy z płaskowników nałożono zbrojony przewód gumowy do paliwa i oleju 22 mm (2 MPa). W tym celu należało przeciąć każdy element i po nałożeniu gumowego przewodu zespawać. Po wykonaniu tej operacji płaskowniki pomalowano. Napięcie gąsienic poprawiono przez zmianę liczby

ogniów łańcucha. Zastosowano łańcuch o średnicy drutu 6 mm. Następnie z powrotem zmontowano gąsienice, a przy tym zmieniono umiejscowienie łańcucha z wewnętrznej części gąsienicy na zewnętrzną, ograniczając jej deformacje w czasie pracy, co spowodowało istotne zmniejszenie oporów ruchu. Gąsienice zamontowano w pojeździe. Przeprowadzone próby wykazały, że obydwa problemy zostały rozwiązane.



Rys. 4. Ogniwa gąsienicy po montażu gumowych nakładek z węża hydraulicznego i malowaniu



Rys. 5. Wymiary pojedynczego ogniwa

Dodatkowo do jazdy po śniegu w pojeździe stosuje się stalowe płozy na przednie koła. W głębokim śniegu stawiają one mniejszy opór niż koła, mają mniejsze naciski powierzchniowe i umożliwiają lepsze skręcanie. Poprawa napięcia gąsienic umożliwiła lepsze osiągi, zarówno na śniegu, jak i na podłożu twardym. Zastosowany przewód gumowy skutecznie chroni utwardzoną nawierzchnię przed uszkodzeniem, zwiększając jednocześnie przyczepność kół napędowych do gąsienic.



Rys. 6. Gąsienica przed modyfikacją – brak gumowych nakładek, łańcuch łączący na zewnątrz ogniów – w efekcie znaczny kąt rozchylenia na kole, co powoduje wzmożony opór ruchu, po „zejściu” z koła, przechodzą w dolny poziomy odcinek, więc gąsienica musi dokonać znacznych odkształceń gruntu



Rys. 7. Zmodyfikowana gąsienica po zamontowaniu. Gumowe nakładki, niepowodujące uszkodzenia podłoża, oraz przemieszczony o ok. 30 mm na zewnątrz łańcuch spinający, a w efekcie znacznie zmniejszony kąt rozchylenia ogniów na kole pojazdu

5. Wnioski

1. Zastosowane gąsienice sprawdzają się zarówno w warunkach szosowych, jak i terenowych.
2. Gumowa osłona płaskowników w miejscu styku z podłożem umożliwia jazdę po nawierzchniach utwardzonych bez ich niszczenia, zwiększając jednocześnie przyczepność kół napędowych do gąsienic.
3. Bardzo istotne z punktu widzenia oporów ruchu gąsienicy jest umieszczenie przegubów ogni w jak najbliżej jej zewnętrznej powierzchni.

Literatura

- [1] Gardyński L., *Spostrzeżenia z eksploatacji samochodu terenowego UAZ 31512 z zamontowanym silnikiem wysokoprężnym Andoria 4c90*. Materiały posympozjalne EKSPLOLOG 2004. Problemy eksploatacji uzbrojenia i sprzętu wojskowego, Wrocław 2004.
- [2] Gardyński L., *Pojazdy terenowe i specjalne budowane w Politechnice Lubelskiej*, w: *XII Międzynarodowa Konferencja Uzbrojeniowa nt. Naukowe Aspekty Techniki Uzbrojenia i Bezpieczeństwa*, Jachranka 2018.
- [3] Gardyński L., *Selected aspects of wear of caterpillar parts* “Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa Polska Akademia Nauk. oddział w Lublinie” 2005, nr 5, ss. 65–71.
- [4] Gardyński L., Sopoćko M., Caban J., *Problematyka utrzymania nawierzchni dróg w okresie zimowym*. „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2017, R. 18, nr 6, ss. 1377–1382.
- [5] Morawski E., *Polonez. Budowa, naprawa, eksploatacja*, Warszawa 1990.

inż. arch. Paulina Bartoszewicz

Politechnika Białostocka | Koło Naukowe SKN CAVE

inż. arch. Magdalena Bereźniak

Politechnika Białostocka | Koło Naukowe SKN CAVE

inż. arch. Kinga Wiśniewska

Politechnika Białostocka | Koło Naukowe SKN CAVE

dr inż. arch. Bartosz Śliwiecki

Politechnika Białostocka | Katedra Projektowania Architektonicznego

**MAPY CIEPŁA
JAKO METODA KWANTYFIKACJI LUDZKIEGO ZAINTERESOWANIA
MODELAMI 3D W WIRTUALNEJ RZECZYWISTOŚCI**

**HEAT MAPS
AS A METHOD OF QUANTIFYING HUMAN INTEREST
IN 3D MODELS IN VIRTUAL REALITY**

S U M M A R Y

The article presents the concept of studying human focus on 3D models in a virtual reality (VR) environment. The paper outlines the project's assumptions and planned research methods, such as head tracking monitoring and data analysis from VR applications. The authors indicate that these studies aim to increase understanding of human cognitive processes, especially how people perceive and process spatial information. These studies also aim to utilize the potential of VR in scientific research in the human view and focus on three dimensional models of architectural traits and qualities in virtual space. Therefore, the authors emphasize their readiness to conduct further research that will allow for a better understanding of the phenomenon of focus in VR and the development of VR technology as a research tool in the cognitive field as well as architecture and urban planning.

Keywords

virtual reality, architectural design, design assessment, visual attention tracking

1. Wstęp

Wykorzystanie wirtualnej rzeczywistości do oceny i prezentacji projektów architektonicznych było tematem wielu dyskusji, artykułów naukowych i przyczyniło się do rozwoju narzędzi w ciągu ostatnich trzech dekad: od wczesnych zastosowań sprzętu klasy innej niż konsumencka aż po nowoczesny, przystępny cenowo sprzęt VR. Każda kolejna technologia przyniosła postęp w prawie wszystkich dziedzinach, w tym w projektowaniu architektonicznym [1, 2].

Artykuł przedstawia koncepcję badania skupienia uwagi ludzi na modelach 3D w środowisku wirtualnej rzeczywistości (VR) oraz w skrócie obrazuje budowanie aplikacji z wykorzystaniem źródeł wiedzy typu *open source*. Celem projektu była chęć stworzenia autorskiej platformy do przeprowadzania badań związanych z kierunkiem patrzenia badanego człowieka za pośrednictwem technologii VR, silnika do gier Unreal Engine oraz odpowiednio przygotowanych modeli 3D, stanowiących podstawę badań. W wyniku przeprowadzenia takich badań zespół uzyskał mapę punktów skupienia – „Heat Map”, która prezentuje charakter odbioru przestrzennego danego mebla/obiektu przez osobę badaną. Taka forma badań oraz narzędzia miałyby wspomóc lokalną oraz ponadlokalną gospodarkę poprzez dostarczenie cennych informacji dotyczących najbardziej oraz najmniej widocznych elementów bryły, którą może być np. mebel, pojazd, mała architektura.

2. Aurela Sight

Artykuł skupia się na narzędziu Aurela Sight, jego zastosowaniach, potencjale i kierunkach przyszłego rozwoju w Laboratorium Aurela Wydziału Architektury Politechniki Białostockiej. To oprogramowanie może być wykorzystywane do ilościowego określania spojrzenia użytkownika na wczesne

etapy projektowania mebli, jako narzędzie do sprawdzania relacji projektant–konsument, a także do weryfikacji obszarów o niskiej widoczności w celu optymalizacji związanej z produkcją. W tym momencie narzędzie jest w stanie zbierać dane o spojrzeniu użytkownika w czasie rzeczywistym za pomocą niemal dowolnego nowoczesnego sprzętu VR; umieszczać je na obiekcie; eksportować jako plik obrazu i wyświetlać wynik na duplikacie modelu do późniejszej analizy. Dzięki wdrożeniu dodatkowych płaszczyzn zbierania danych o punktach skupienia użytkownika program jest w stanie śledzić i wizualizować ruch wzrokowy testera przez cały czas trwania badania. Dane wyjściowe są później analizowane i prezentowane zainteresowanym stronom do dalszej analizy. Planowany jest przyszły rozwój w zakresie wprowadzenia scenariuszy dla wielu użytkowników, śledzenia ruchu gałek ocznych i analizy opartej na sztucznej inteligencji [3].

Jednym z kluczowych aspektów tego projektu jest to, że osoby o niskim stopniu znajomości kodowania są w stanie zbudować aplikację badawczą w VR. Jest to bardzo istotne z kilku powodów:

- **Dostępność:** narzędzie staje się bardziej dostępne dla szerokiego grona studentów i pracowników naukowych, niezależnie od ich poziomu wiedzy programistycznej. Dzięki temu więcej osób może korzystać z Aurela Sight i prowadzić badania.
- **Współpraca międzydyscyplinarna:** fakt, że osoby o niskim stopniu znajomości kodowania mogą tworzyć takie aplikacje, sprzyja współpracy międzydyscyplinarnej. Umożliwia to integrację wiedzy z różnych dziedzin, takich jak architektura, psychologia czy design, co może prowadzić do odkryć na styku tych nauk.
- **Rozwój umiejętności:** ułatwienie tworzenia aplikacji badawczych w VR dla osób o niskim poziomie znajomości kodowania może zachęcić więcej studentów do nauki programowania. W rezultacie uczestnicy projektu mogą zdobyć cenne umiejętności, które przydadzą się im w przyszłości, zarówno w badaniach, jak i w pracy zawodowej.
- **Demokratyzacja technologii:** uproszczenie procesu tworzenia aplikacji badawczych w VR sprawia, że technologia staje się bardziej demokratyczna. Daje to możliwość uczestniczenia w badaniach naukowych szerszemu gronu osób, nie tylko tym o specjalistycznych umiejętnościach programistycznych.

- **Innowacyjność:** dzięki temu, że więcej osób może tworzyć aplikacje badawcze w VR, zwiększa się prawdopodobieństwo powstania innowacyjnych rozwiązań, które mogą przyczynić się do rozwoju nauki i technologii [4].

3. Przeprowadzenie badania

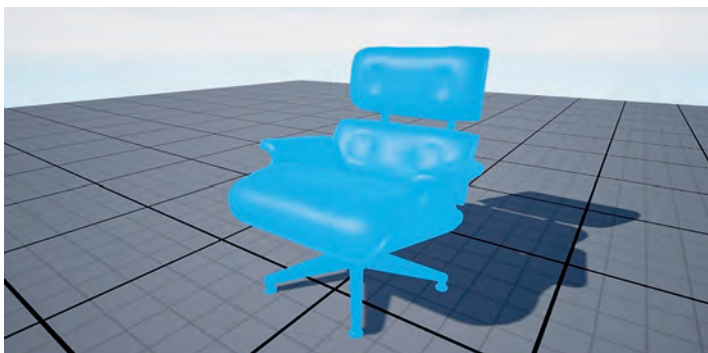
Badanie polega na wprowadzeniu danej osoby do specjalnie przygotowanego środowiska wirtualnego, w którym wykonuje ona proste zadanie związane z powierzchniową interakcją z badanym modelem 3D. W trakcie interakcji aplikacja pobiera dane, gdzie, jak długo oraz jak często użytkownik spogląda na odpowiednio przygotowany model 3D, tworząc przy tym niewidzialną mapę punktów typu *visual attention* na bazie siatki UV [5]. Po zakończeniu badania aplikacja generuje dwie tego rodzaju mapy, tworząc jednocześnie podstawę do dalszych analiz.

Do przeprowadzenia badania potrzebny jest model 3D danego mebla bądź obiektu. Każdy model zawiera odpowiednio przygotowaną mapę UV, której celem jest gromadzenie danych pod teksturę uwagi, która na początku badania jest czysta i niewidoczna dla testera. Za pomocą dodatkowych kanałów danych UV siatka ta jest pozornie niewidoczna dla osoby biorącej udział w badaniu, natomiast w czasie rzeczywistym stanowi matrycę do pozyskiwania danych o punktach skupienia.



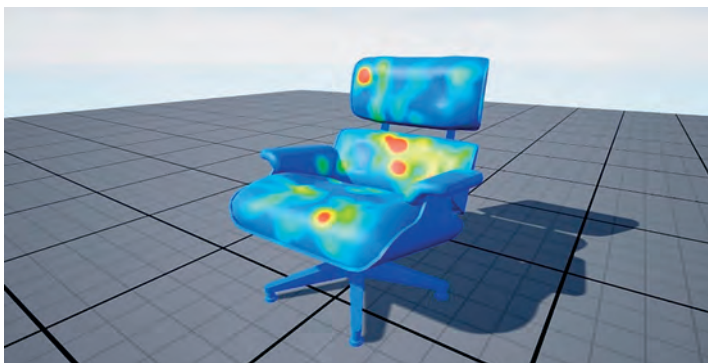
Rys. 1. Przykładowy model do badań

Źródło: opracowanie własne.



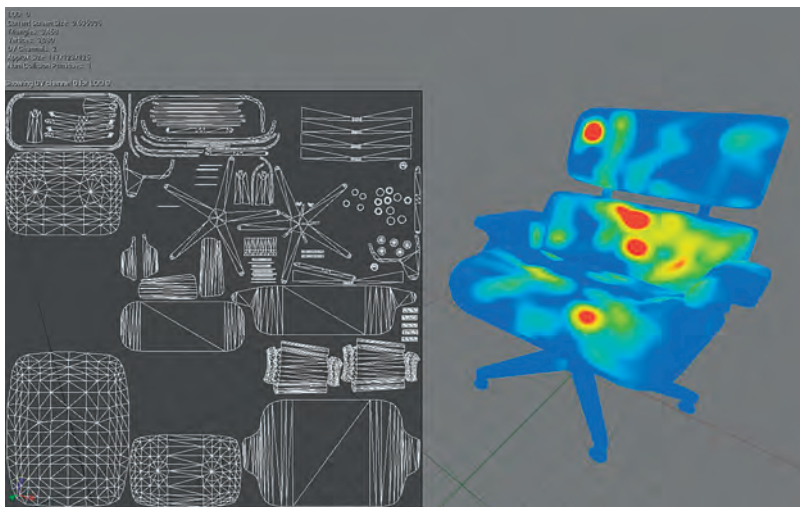
Rys. 2. Przykładowy model do badań na etapie początkowym bez zarejestrowanych danych
Źródło: opracowanie własne.

W efekcie interakcji z modelem 3D tworzona jest przestrzenna mapa (rys. 3), która za pośrednictwem stopniowania barw niebieskiej, zielonej, żółtej oraz czerwonej tworzy łatwą do interpretacji informację przestrzenną o najbardziej ciepłych (najczęściej oglądanych) [6] oraz stale zimnych (niebędących punktami uwagi) fragmentach brył. Zapisywane dane są wciąż aktualizowane, natomiast poziom intensywności punktu uwagi jest ograniczony sufitem intensywności [7]. Oznacza to, że miejsca o znacząco dłuższym czasie uwagi będą tak samo „cieple” jak punkty, które ledwo osiągnęły pułap barwy czerwonej. Rejony uwagi nie tracą też na intensywności z biegiem czasu, co pozwala uprościć zakres pozyskiwanych danych na tym etapie rozwoju narzędzia.



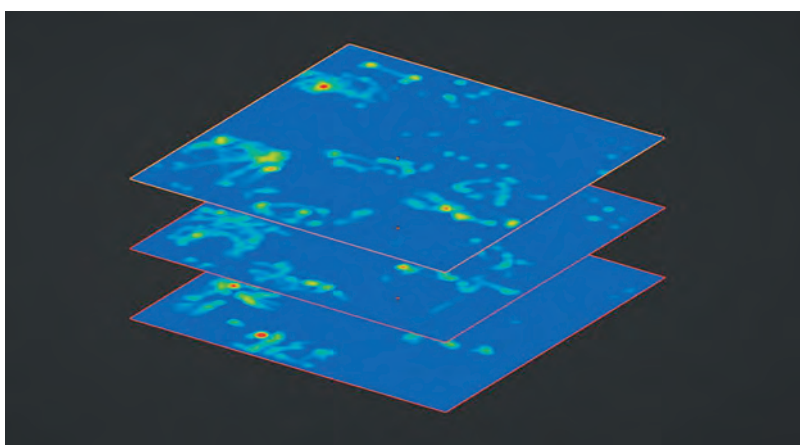
Rys. 3. Zarejestrowane dane na obiekcie
Źródło: opracowanie własne.

Każdy obiekt użyty do badań musi mieć wykonane odpowiednie mapy UV. Dane są zapisywane na kwadratowej przestrzeni zawierającej wyspy UV (rys. 4). Zastosowanie wartości uwagi do tekstur odbywa się w module cieniującym, który oblicza i zapisuje wartość dodanej uwagi dla każdego piksela tekstury.



Rys. 4. Mapa UV

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 5. Stos trzech różnych arkuszy danych użytych w procesie porównawczym

Źródło: opracowanie własne.

Zestaw danych opracowywany jest w późniejszym etapie, gdy porównuje się ze sobą wszystkie pozyskane tekstury „Heat Maps”. Celem tych analiz (rys. 5) jest ustalenie, który fragment mebla jest najczęściej oglądany przez możliwie największą liczbę osób oraz które części są całkowicie pomijane przez wzrok człowieka. Zbiorcze mapy ciepła będą uwzględniały uśrednione wyniki [8] oraz wyniki graniczne, co pokaże sumę wszystkich skrajnych punktów skupienia.

4. Wyniki

Badania mogą wykorzystywać firmy i producenci, by zoptymalizować procesy związane z produkcją, tj. użycie różnych materiałów na fragmentach mebli, projektowanie bardziej dostosowanych form czy też analiza kolorystyki. Dzięki badaniom wiemy, na czym bardziej skupia się wzrok osoby oglądającej, a na czym mniej. W efekcie zdobywamy wiedzę dotyczącą zmian i ulepszeń w danym elemencie. Celem projektu jest obniżenie kosztów produkcji, zwiększenie świadomości projektantów, badanie zależności oraz wywarcie pozytywnego wpływu na proces produkcji. Wykorzystanie wiedzy z badania oraz ciągłe jej rozwijanie może pozytywnie oddziaływać na procesy gospodarcze. Rozpowszechnienie projektu Aurela Sight nie tylko wspomogł i ulepszył procesy produkcyjne, ale również zwiększył świadomość producentów i usprawnił rozwój firm. Narzędzie to może pozytywnie wpłynąć na lokalną oraz ponadlokalną gospodarkę, zwłaszcza w sektorze firm produkujących meble i przedmioty, na kilka różnych sposobów:

- **Innowacje w projektowaniu:** badanie kierunku patrzenia na modele 3D w VR może dostarczyć cennych informacji na temat preferencji użytkowników, co pozwoli projektantom mebli i przedmiotów tworzyć nowatorskie i funkcjonalne produkty, które lepiej spełniają oczekiwania klientów.
- **Oszczędności kosztowe:** wykorzystanie narzędzi badawczych w VR może pozwolić firmom na redukcję kosztów związanych z prototypowaniem fizycznym oraz testowaniem produktów. Wirtualna rzeczywistość może zastąpić niektóre z tych procesów, przyspieszając czas wprowadzenia produktu na rynek i obniżając koszty produkcji.

- **Personalizacja produktów:** narzędzia VR, takie jak Aurela Sight, mogą umożliwić lepsze zrozumienie indywidualnych potrzeb klientów, co pozwoli firmom na oferowanie bardziej spersonalizowanych produktów. Taka personalizacja może być kluczowym czynnikiem wyróżniającym firmy na konkurencyjnym rynku.
- **Wzrost eksportu:** poprawa jakości i innowacyjności produktów może sprawić, że lokalne firmy produkujące meble i przedmioty staną się bardziej atrakcyjne dla rynków zagranicznych. W rezultacie może to prowadzić do wzrostu eksportu, co przyczyni się do rozwoju gospodarczego regionu.
- **Promocja współpracy międzysektorowej:** współpraca między firmami produkującymi meble i przedmioty a naukowcami oraz specjalistami od technologii VR może prowadzić do powstawania nowych partnerstw oraz synergii, które przyczynią się do dalszego rozwoju lokalnej i ponadlokalnej gospodarki.
- **Tworzenie nowych miejsc pracy:** rozwój sektora wirtualnej rzeczywistości oraz wzrost popytu na innowacyjne produkty może prowadzić do powstawania nowych miejsc pracy, zarówno w dziedzinie technologii VR, jak i w sektorze produkcyjnym.

Podsumowując, narzędzie takie jak Aurela Sight może przyczynić się do wzrostu innowacyjności i konkurencyjności firm produkujących meble i przedmioty, co z kolei wpłynie pozytywnie na lokalną oraz ponadlokalną gospodarkę.

5. Podsumowanie

W artykule przedstawiono założenia projektu oraz planowane metody badawcze, takie jak monitorowanie ruchów głowy oraz analiza danych z aplikacji VR. Autorzy wskazują, że badania te mają na celu zwiększenie zrozumienia procesów poznawczych człowieka, a w szczególności sposobu, w jaki ludzie postrzegają i przetwarzają informacje przestrzenne. Badania te mają również umożliwić wykorzystanie potencjału VR w badaniach naukowych nad stopniem zainteresowania oraz widoczności niektórych obiektów architektonicznych w środowisku wirtualnym. W związku z tym

autorzy podkreślają gotowość do przeprowadzenia dalszych analiz, które pozwolą na lepsze zrozumienie zjawiska skupienia uwagi w VR oraz na rozwój technologii VR jako narzędzia badawczego w dziedzinie kognitywistyki oraz architektury i urbanistyki.

Reasumując, należy powiedzieć, że możliwość tworzenia aplikacji badawczych w VR przez osoby o niskim stopniu znajomości kodowania ma ogromne znaczenie [9]. Ułatwia dostęp do narzędzi badawczych, sprzyja współpracy międzydyscyplinarnej, rozwija umiejętności, demokratyzuje technologię oraz zwiększa potencjał innowacyjny. Dzięki temu narzędzie Aurela Sight może stać się ważnym elementem wspomagającym badania naukowe i rozwój wiedzy w dziedzinie architektury oraz innych nauk pokrewnych.

W przypadku studentów i pracowników Wydziału Architektury Politechniki Białostockiej dostępność narzędzia Aurela Sight może przyczynić się do lepszego zrozumienia procesów percepcyjnych i preferencji estetycznych w projektowaniu przestrzeni [10]. Możliwość badania kierunku patrzenia na modele 3D w VR może pomóc projektantom w przewidywaniu potrzeb i oczekiwań użytkowników przestrzeni, co w konsekwencji może prowadzić do tworzenia bardziej funkcjonalnych i atrakcyjnych projektów architektonicznych.

Aurela Sight może również stać się istotnym źródłem wiedzy dla przyszłych badań naukowych i przyczynić się do rozwoju nowych technologii. Zebrane dane mogą być analizowane przez naukowców z różnych dziedzin, co może prowadzić do odkrywania nowych zależności i zrozumienia procesów zachodzących w mózgu podczas obserwacji modeli 3D w VR.

Wreszcie sukces projektu Aurela Sight może zainspirować inne uczelnie i instytucje naukowe do tworzenia podobnych narzędzi badawczych, które będą dostępne dla osób o niskim stopniu znajomości kodowania. W efekcie możemy spodziewać się wzrostu liczby badań wykorzystujących wirtualną rzeczywistość oraz rozwoju nowych technik badawczych, które przyczynią się do postępu nauki.

Podsumowując: fakt, że osoby o niskim stopniu znajomości kodowania mogą zbudować aplikację badawczą w VR, ma ogromne znaczenie dla rozwoju nauki i technologii. Narzędzie Aurela Sight może stać się ważnym elementem w badaniach naukowych i wspomagać rozwój wiedzy

w dziedzinie architektury oraz innych nauk pokrewnych, przyczyniać się do lepszego zrozumienia procesów percepcyjnych, preferencji estetycznych, a także wpływać na postęp w zakresie nowych technologii.

Literatura

- [1] Asanowicz A., *The phenomenology and philosophy of simulacra influence on the VR*, „Architecturae et Artibus” 2014, t. 6, s. 5–8.
- [2] Lisińska-Kuśnierz M., Krupa M., *Suitability of eye tracking in assessing the visual perception of architecture – A case study concerning selected projects located in Cologne*, “Buildings” 2020, no. 10 (2), p. 20.
- [3] Cornsweet T., *Visual perception*, 2012.
- [4] Marmitt G., Duchowski A. T., “Modeling visual attention in VR: Measuring the accuracy of predicted scanpaths”, praca doktorska, Clemson University 2002.
- [5] Pfeiffer T, Memili C., *Model-based real-time visualization of realistic three-dimensional heat maps for mobile eye tracking and eye tracking in virtual reality*, in: *Proceedings of the Ninth Biennial ACM Symposium on Eye Tracking Research & Applications*, New York 2016, pp. 95–102.
- [6] Duchowski A. T, Price M. M, Meyer M., Orero P., *Aggregate gaze visualization with real-time heatmaps*, in: *Proceedings of the symposium on eye tracking research and applications*, 2012, pp. 13–20.
- [7] Patney A., Salvi M., Kim J., Kaplanyan A., Wyman C., Benty N., Luebke D., Lefohn A., *Towards foveated rendering for gaze-tracked virtual reality*. “ACM Transactions on Graphics” 2016, no. 35 (6), pp.1–2.
- [8] Rahman Y., Asish S. M., Fisher N. P., Bruce E. C., Kulshreshth A. K., Borst C. W. *Exploring eye gaze visualization techniques for identifying distracted students in educational VR*, in: *2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, 2020, pp. 868–877.
- [9] Śliwiecki B., *Virtual reality architectural spaces and the shift of populace in online social VR platforms in 2020*, “Architecturae et Artibus” 2021, no. 13 (4), pp. 1–12.
- [10] Wade N. J., Swanston M., *Visual perception: An introduction*, 2013.

Mariusz Dąbrowski

Politechnika Rzeszowska | Studenckie Koło Naukowe Informatyków „Kod”

Mateusz Fesz

Politechnika Rzeszowska | Studenckie Koło Naukowe Informatyków „Kod”

Oskar Tyniec

Politechnika Rzeszowska | Koło Naukowe Informatyków „Kod”

dr inż. Bartosz Trybus

Politechnika Rzeszowska | Katedra Informatyki i Automatyki

ROBOT MOBILNY DO EKSPLOKACJI PRZESTRZENI Z REGULATOREM ROZMYTYM

MOBILE ROBOT FOR SPACE EXPLORATION WITH A FUZZY LOGIC CONTROLLER

S U M M A R Y

The article presents a mobile robot created by students of the student research group of computer science “Code” from Rzeszow University of Technology. The system assumptions, design process and robot prototype construction are presented. Selection of electronic components, choice of control system and design of support structure with 3D printing technology are discussed. Solutions for optimal use of sensors used in the project are presented. An algorithm using the Takagi-Sugeno fuzzy controller is implemented to control the robot. The proposed solution to the problem that occurs when the drive system is overloaded is also presented. The last part of the paper outlines the communication subsystem that involves the MQTT protocol and cloud-based services.

Key words

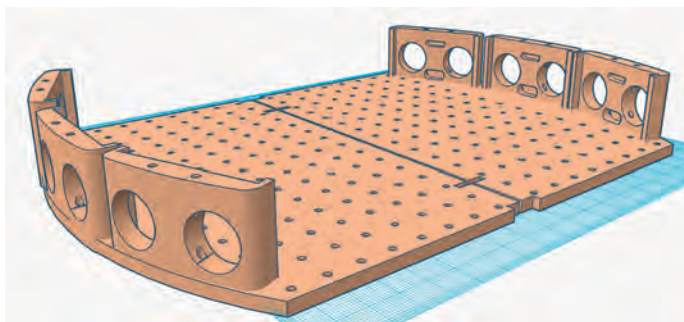
terrain mapping, 3d print, Arduino, Takagi-Sugeno, autonomous robot

1. Wstęp

Roboty autonomiczne znajdują zastosowanie zarówno w przemyśle, jak i codziennym życiu. Są użyteczne w miejscach, gdzie człowiek nie jest w stanie dotrzeć, jak również w celach odciążenia nas podczas powtarzalnej pracy. Niniejszy artykuł prezentuje przebieg prac nad projektowaniem oraz budową autonomicznego robota mobilnego o uniwersalnym zastosowaniu. Działania te prowadzone były przez grupę studentów ze Studenckiego Koła Naukowego Informatyków „Kod” Politechniki Rzeszowskiej. Za cel projektu autorzy obrali wykonanie robota o nazwie „Meteor” z podstawowym systemem sterowania opartym na regulatorze Takagiego-Sugena. Zadaniem dodatkowym było przygotowanie platformy robota tak, aby możliwe było dodanie niezależnych modułów badawczo-technicznych, takich jak czujniki oraz wysięgniki robotyczne. Robot może ponadto komunikować się z chmurą obliczeniową oraz operatorem monitorującym jego pracę. Funkcje te dają możliwość wykorzystania go jako autonomicznego narzędzia tworzącego mapę przestrzeni, w których z dowolnych przyczyn nie mogą znaleźć się ludzie. Co więcej, ze względu na zastosowanie powszechnie znanych i dostępnych technologii stanowi on dobrą platformę dydaktyczną, pozwalającą na obserwację efektów działania tworzonego kodu programu sterującego oraz jego wizualizację w środowisku niebędącym syntetyczną symulacją.

2. Projekt podwozia oraz systemu modułowego

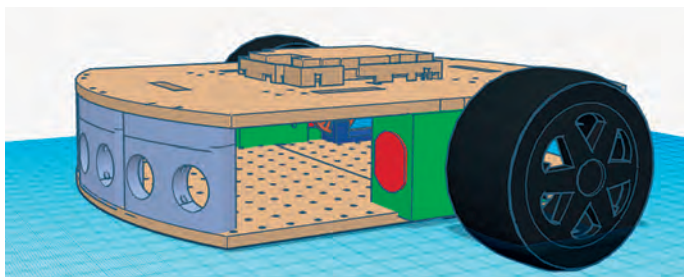
Wykonanie robota mobilnego „Meteor” rozpoczął proces projektowania oraz prototypowania konstrukcji nośnej pojazdu. W tym celu wykorzystano darmowy program Autodesk Tinkercad. Projekt obejmował wykonanie modelu 3D podwozia oraz płyty górnej. Pierwszy z modeli został pomyślany w taki sposób, aby można było przymocować do niego elementy za pomocą śrub montażowych typu M3. Otwory montażowe zostały umieszczone co 1 cm. Nadwozie ma również zaimplementowane uchwyty do czujników echolokacyjnych – po trzy z przodu oraz – z tyłu o odpowiednim wychyleniu, pozwalającym na efektywne skanowanie otoczenia (rys. 1).



Rys. 1. Model nadwozia

Źródło: opracowanie własne.

Kolejnym krokiem było zaprojektowanie górnego elementu robota. Jest to płyta podobna do nadwozia, zawierająca wbudowany uchwyt do mikrokontrolera Arduino oraz przełoty kablowe potrzebne do zachowania odpowiedniego ułożenia przewodów (rys. 2). Całość została wydrukowana na drukarce 3D marki Prusa MK3iS+. Materiał, z którego został wykonany prototyp obudowy i konstrukcji, to filament typu PET-G. Jego właściwości odpowiadają potrzebom projektowym prototypu, jakimi są odporność na wysoką temperaturę (światło słoneczne w upalny dzień) oraz wytrzymałość na uderzenia. Nadwozie o grubości 4 mm wydrukowane z tego materiału pozwala na utrzymanie ciężaru robota. Rozmiary w pełni skonfigurowanego urządzenia to $210 \times 176 \times 150$ mm. Dodatkowym elementem jest system modularnej rozbudowy. Został on zaprojektowany w formie przygotowanych wpustów kablowych oraz otworów montażowych w odpowiednich miejscach, co tym samym umożliwia zachowanie równowagi robota.



Rys. 2. Model nadwozia z oporządzeniem

Źródło: opracowanie własne.

3. Dobór układu sterującego

Na rynku istnieje wiele rozwiązań elektronicznych mogących służyć do realizacji układu sterującego, od układów typu SOC (*system-on-a-chip*), którego przykładem jest ESP32 przez gamę układów z rodziny Arduino oraz platformę Nucleo [1] aż po minikomputery marki Raspberry Pi. Każdy z nich ma swoje wady i zalety i należy dobrać układ najbardziej pasujący do danego zastosowania. Przyjęte przez autorów założenia doprowadziły do wyboru głównego układu sterującego z rodziny Arduino.

Zrezygnowano z układu ESP32 do sterowania, choć jego możliwości znacznie wykraczają ponad podstawowe funkcje niezbędne do autonomicznego działania robota. Wykorzystanie jednego układu do sterowania, przetwarzania sygnałów i komunikacji z chmurą powodowałoby powstanie niepotrzebnych opóźnień i skomplikowanie części programowej, co przełożyłoby się na problemy z adaptacją do otrzymywanych sygnałów wejściowych. Ponadto płytki rozwojowe, na których dostępne są moduły z rodziny ESP, są niewygodne do prototypowania, co znacząco utrudniłoby etap prototypowania wymagający częstych modyfikacji układu połączeń poszczególnych elementów. Jednocześnie układy tego typu stanowią idealną podstawę do zapewnienia komunikacji ze środowiskiem nadrzędnym, np. chmurą obliczeniową lub panelem operatorskim, co zostanie omówione w dalszych partiach tekstu na przykładzie układu ESP8266.

Platforma „Raspberry Pi”, pomimo najbardziej wydajnego mikroprocesora, stanowiącego podstawę urządzenia, również została odrzucona. Przede wszystkim układ ten zużywa znacznie więcej energii względem pozostałych opcji. Jako że robot musi być zdolny do pracy w środowisku, w którym nie będzie możliwości zapewnienia zewnętrznego zasilania, konieczne jest optymalne wykorzystanie zasilania bateryjnego. Ponadto platforma ta funkcjonuje za sprawą uruchomionego na minikomputerze systemu operacyjnego Linux, co wprowadza niepotrzebną z punktu widzenia przetwarzania sygnałów pośrednią warstwę oprogramowania.

Po dokonaniu analizy możliwości spośród dostępnych opcji wybrano układ Arduino Leonardo. Opiera się on na mikrokontrolerze ATmega32u4

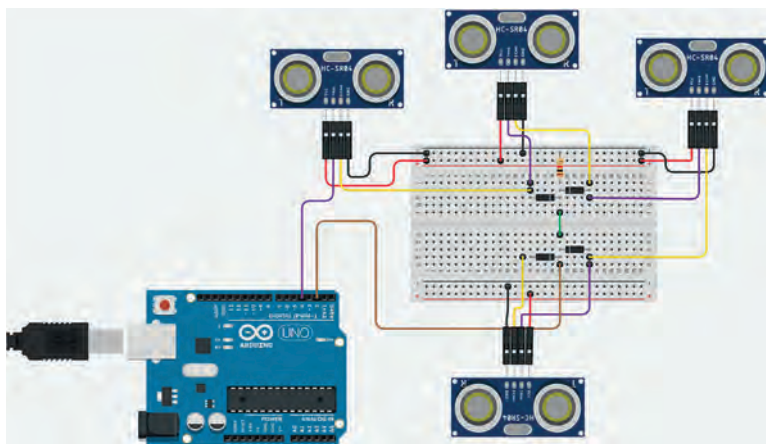
oraz składa się z 20 cyfrowych wejść/wyjść, których liczba jest wystarczająca do podłączenia wszystkich podzespołów. Kluczowym aspektem przemawiającym za wyborem tego układu względem znacznie popularniejszego UNO jest liczba dostępnych przerwań sprzętowych. Mikrokontroler „Arduino UNO”, oparty na układzie ATmega328, dostarcza jedynie dwa przerwania na pinach cyfrowych 2 i 3, podczas gdy Leonardo (ATmega32u4) dostarcza 5 przerwań na pinach od 0 do 3 oraz 7. Odpowiednia liczba przerwań sprzętowych jest niezbędna do poprawnej pracy układu sterującego, gdyż większość pomiarów wykonywanych z użyciem czujników wymaga precyzyjnego odmierzenia czasu.

4. Układ czujników odległości

Podstawowym źródłem danych o otoczeniu, pozyskiwanych przez robota, są odczyty z czujników odległości HC-SR04. Pozwalają one na wykonywanie pomiaru odległości pomiędzy robotem a dowolną przeszkodą znajdującą się naprzeciw danego czujnika przy założeniu, że nie jest wykonana z materiału pochłaniającego fale dźwiękowe. Zasada pomiaru z ich wykorzystaniem polega na wyemitowaniu sygnału ultradźwiękowego o zadanej częstotliwości i oczekiwaniu na odbiór fali odbitej. Następnie mierzony jest czas trwania sygnału wysokiego na wyjściu czujnika proporcjonalnie do czasu, jaki upłynął pomiędzy nadaniem a odbiorem fali. Ponieważ możemy przyjąć, że prędkość dźwięku w atmosferze jest wartością stałą, obliczenie odległości odbywa się zgodnie z zależnością. W pierwszym prototypie założono wykorzystanie czterech czujników echolokacyjnych. Po jednym skierowanym bezpośrednio w przód i w tył, a także dwóch umieszczonych z przodu robota z odchyleniem o 15 stopni od osi symetrii.

Ze względu na ograniczoną liczbę dostępnych przerwań sprzętowych w mikrokontrolerze sterującym zdecydowano się na połączenie czujników metodą *daisy-chain* (rys. 3). Oznacza to, że wszystkie czujniki wykorzystują tylko jedno złącze wyjściowe „Arduino” w celu wyzwolenia sekwencji pomiarowej oraz jedno złącze przerwań, służące do pomiaru czasu sygnału generowanego przez czujniki. Funkcja obsługi przerwania analizuje sygnał wyjściowy czujnika. Ponieważ jest ona wyzwolana przez

każdą zmianę stanu na złączu przerywania, najpierw przeprowadza weryfikację jego aktualnego stanu napięcia. Jeśli ten stan jest wysoki, traktujemy przerwanie jako rozpoczynające pomiar czasu i zapisujemy aktualny stan zegara, w przeciwnym wypadku kończymy pomiar dla danego czujnika w sekwencji, a wyznaczony czas zapisujemy w globalnej strukturze.



Rys. 3. Schemat podłączenia czujników odległości z zachowaniem ich rzeczywistego układu

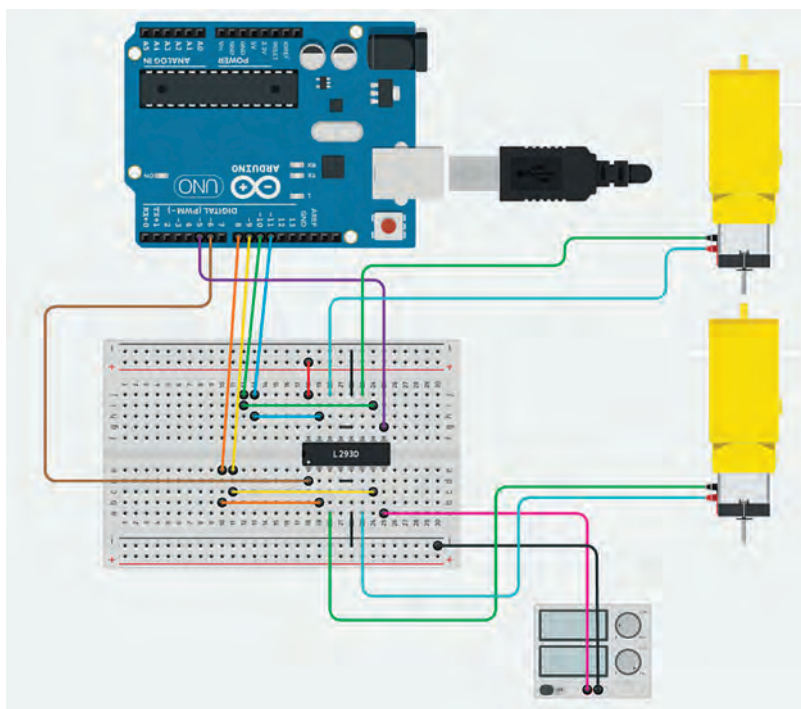
Źródło: opracowanie własne.

W tym rozwiązaniu czujniki są połączone kaskadowo, co oznacza, że koniec nadawania sygnału raportującego wynik pomiaru czujnika n powoduje jednocześnie rozpoczęcie pomiaru przez kolejny czujnik w sekwencji $n + 1$. Sekwencyjne wyzwalaie wprowadza również dodatkową zaletę w postaci braku wzajemnych zakłóceń generowanych przez czujniki. Jest to jednak okupione kosztem zwielenokrotnienia czasu potrzebnego na wykonanie pomiaru. Po analizie systemu okazało się, że w opisanym przypadku poświęcenie tego czasu jest jednak konieczne dla zapewnienia zadowalającej precyzji pomiarów.

5. Sterownik silników

W celu umożliwienia sterowania prędkością i kierunkiem obrotu silników z poziomu mikrokontrolera wykorzystano dwukanałowy mostek H-L298N.

Układ ten pozwala na wykorzystanie napięć z zakresu 5–46 V. Gwarantuje to możliwość współpracy z użytymi silnikami. Od strony elektronicznej wymaga on dokładnie sześciu niezależnych połączeń z „Arduino” (rys. 4). Cztery z nich odpowiadają za wybór kierunku obrotu silników, natomiast dwa kolejne, poprzez zastosowanie sygnału PWM, konfigurują ich prędkość. Dodatkowo przygotowany został mechanizm pętli zwrotnej, pozwalający na wykrycie przeciążenia i blokowanie silników. Ruch osi silnika jest na bieżąco monitorowany z wykorzystaniem optycznych enkoderów rotacyjnych. Jeśli prędkość obrotu spadnie poniżej wartości progowej, przeprowadzana jest procedura awaryjna, polegająca na wykonaniu ruchu w kierunku przeciwnym do dotychczasowego. W przypadku gdy proces ten nie przywróci napędu do standardowej pracy, wymuszany jest tryb bezpieczny, w którym robot zaprzestanie dalszych prób jazdy i będzie oczekiwał na ingerencję operatora.



Rys. 4. Schemat połączenia silników

Źródło: opracowanie własne.

6. Oprogramowanie

Podstawowym układem przetwarzającym sygnały z czujników na polecenia dla silników jest sterownik pracujący z użyciem systemu wnioskowania rozmytego Takagiego-Sugena [2]. Jego zasada działania opiera się na wyznaczeniu stopnia przynależności sygnałów wejściowych do odpowiednich zbiorów rozmytych, a następnie właściwych wartości wyjściowych, z wykorzystaniem zdefiniowanych wcześniej reguł i skojarzonych z nimi wag. Reguły te przyjmują postać:

$$R^{(1)}: \text{JEŻELI}(x_1 \text{ jest } A_1^1 \text{ ORAZ } x_2 \text{ jest } A_2^1 \dots \text{ORAZ } x_n \text{ jest } A_n^1), \text{TO WTEDY } y_1 = f^{(1)}(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

$$R^{(N)}: \text{JEŻELI}(x_1 \text{ jest } A_1^N \text{ ORAZ } x_2 \text{ jest } A_2^N \dots \text{ORAZ } x_n \text{ jest } A_n^N), \text{TO WTEDY } y_N = f^{(N)}(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

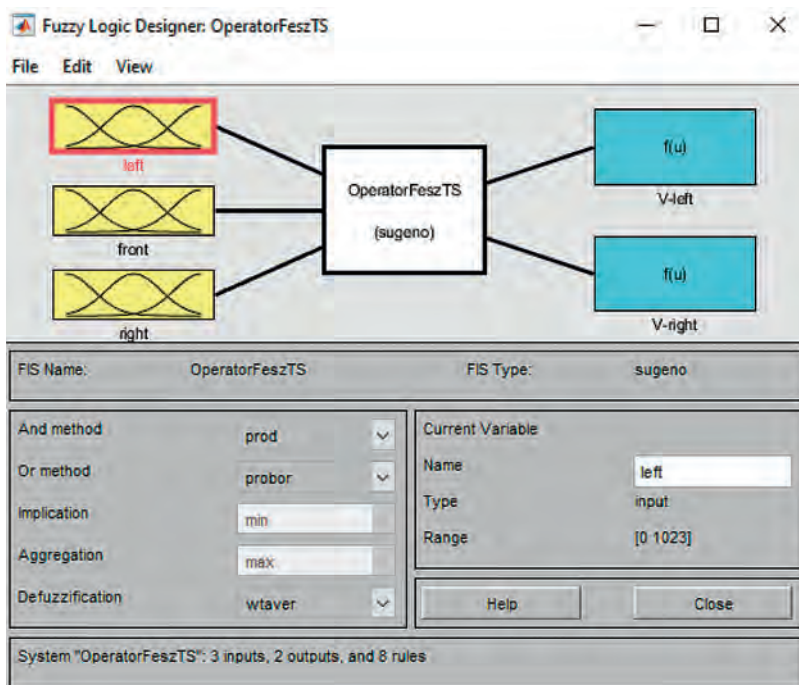
Funkcja wyjściowa może być dowolną funkcją wejść układu lub wartością stałą [3]. W prototypowym układzie sterowania przyjęto dwie stałe dla silników. Wartość 127 oznacza jazdę do przodu, natomiast –128 jazdę do tyłu. Zdefiniowano również stałą pomocniczą, zmniejszającą wartości bazowe prędkości o połowę dla wybranych reguł. Wagi zaś obliczane są na podstawie przynależności stanów wejściowych do zbiorów rozmytych. W przygotowanym rozwiązaniu odbywa się to zgodnie z regułą typu minimum, zwaną także regułą Mamdaniego [4]. Oznacza to, że obliczona waga jest równa najniższej wartości przynależności zmiennej spośród branych pod uwagę w danej regule. Ostatecznie wartość danego wyjścia jest wyznaczana zgodnie ze wzorem:

$$\underline{y} = \frac{\sum_{k=1}^N w^k \underline{y}_k}{\sum_{k=1}^N w^k},$$

gdzie oznacza liczbę reguł, wartość funkcji reguły, a odpowiada jej wadze. Uzyskana wartość jest następnie konwertowana z zakresu <–128, 127> logicznego z punktu widzenia operatora na zakres <0,255> wraz z dodatkową

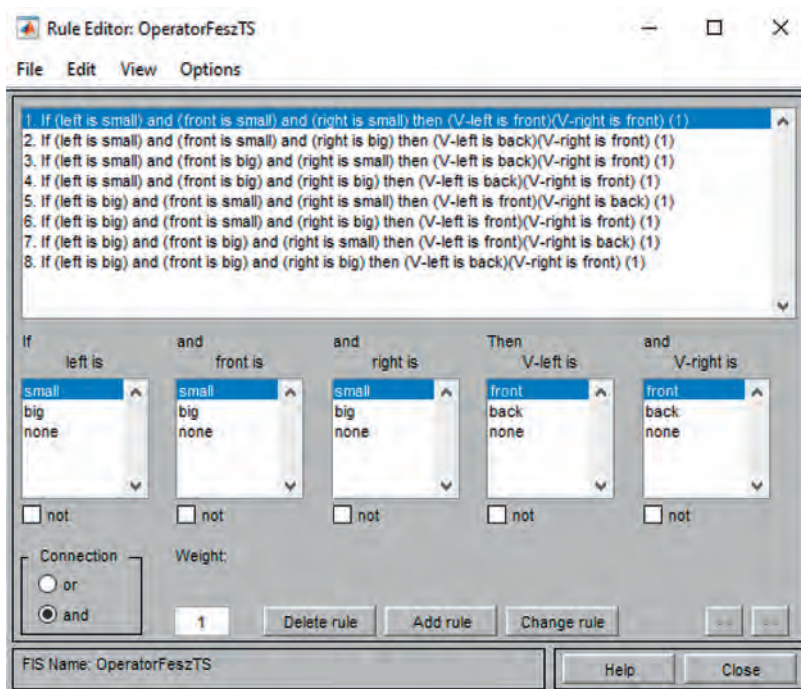
flagą kierunku ruchu. Taki zakres wartości jest niezbędny do poprawnej konfiguracji sygnału PWM sterującego prędkością silników. Na rys. 5 i 6 przedstawiono dobór parametrów i reguł regulatora Takagiego-Sugena dla projektowanego robota za pomocą środowiska Matlab.

Istotną decyzją podjętą w fazie projektowania jest separacja układu przetwarzającego dane z czujników od sterowania sygnałami bezpośrednio regulującymi pracę silników. Takie podejście pozwala na łatwą wymianę używanego sterownika na inny, wobec którego jedynym wymogiem jest przekazanie wartości z poprawnego zakresu. To z kolei umożliwia prostą rozbudowę układu o inne układy wnioskujące lub komunikację z zewnętrznymi urządzeniami bez konieczności całkowitej przebudowy głównej pętli sterowania. Ponadto znacząco ułatwia implementację interfejsu operatora oraz sterowania nadrzędnego z poziomu chmury obliczeniowej.



Rys. 5. Okno edycji parametrów regulatora Takagiego-Sugena w środowisku Matlab

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 6. Okno edycji reguł regulatora Takagiego-Sugena w środowisku Matlab

Źródło: opracowanie własne.

7. Komunikacja z chmurą

W celu komunikacji z chmurą obliczeniową wykorzystany został niezależny układ ESP8266, połączony z głównym kontrolerem „Arduino” przy wykorzystaniu magistrali I2C. Ze względu na odmienne poziomy stanów logicznych tych układów konieczne było także zastosowanie dodatkowego układu konwersji napięć na linii komunikacyjnej. Wykorzystany mikrokontroler może połączyć się z predefiniowaną siecią Wi-Fi, a następnie nawiązać połączenie z jednostką nadrzędną poprzez protokół MQTT [5]. Przykładowy mechanizm połączenia MQTT zaprezentowano na rys. 6. Broker MQTT odgrywa rolę pośrednika między robotami a usługami zewnętrznymi. Wśród nich jest aplikacja webowa dla operatora, która w omawianym projekcie „Meteor” składa się z warstwy serwerowej (backendu) opracowanej w technologii ASP.NET Core i warstwy frontendu,

do stworzenia której użyto frameworku React.JS. Do uruchomienia aplikacji można użyć jednej z platform chmurowych, w prototypie rozwiązania jest nią Microsoft Azure. Składowanie danych realizowane jest w ramach systemu zarządzania bazami danych, przy czym informacje o sztywnej strukturze mogą być przechowywane w formie relacyjnej (np. PostgreSQL), pozostałe zaś – nierelacyjnej (mongoDB).



Rys. 6. Model komunikacji w protokole MQTT

Źródło: opracowanie własne.

Wykorzystanie dedykowanego modułu komunikacyjnego ESP8266 pozwala odciążyć układ sterujący. Daje niewątpliwą zaletę w postaci możliwości ciągłej pracy robota z zadaniem programem, bez przechodzenia w stan bezczynności na czas komunikacji z serwerem. Dzięki temu możliwe jest przetwarzanie dowolnych poleceń wydawanych przez chmurę obliczeniową, niekoniecznie związanych z pracą samego robota, a np. z przesyłaniem zebranych przez niego danych. Te mogą następnie zostać zapisane w przeznaczonej dla nich bazie, np. mongoDB. Ponadto przyjęta konfiguracja pozwala na aktualizację programu sterującego „na żywo”, bez konieczności przerywania pracy robota. Jest to szczególnie istotne w sytuacji pracy w trudnych warunkach, kiedy nawet krótki przestój związany z wymianą oprogramowania mógłby doprowadzić do unieruchomienia jednostki.

Kolejną korzyścią wynikającą z zastosowania chmury obliczeniowej jest możliwość współpracy i zdalnej koordynacji działań przez grupę („rój”) robotów. Pozwala to na wzajemną wymianę informacji między robotami lub też zdalne sterowanie nimi na podstawie efektów przetwarzania danych w chmurze.

8. Podsumowanie

Prace nad projektem „Meteor” obejmowały przygotowanie modelu konstrukcji nośnej, opracowanie schematów elektronicznych oraz zaprogramowanie systemu sterowania robotem autonomicznym. Cele udało się osiągnąć w ramach działania w Studenckim Kole Naukowym Informatyków „Kod”. Owocem pracy jest w pełni sprawny pojazd mapujący teren oraz poruszający się z wykorzystaniem czujników echolokacyjnych.

Literatura

- [1] Unsalan C., Barkana D. E., Gurhan H. D., *Embedded digital control with microcontrollers: Implementation with C and Python*, Wiley-IEEE Press, 2021.
- [2] Kluska J., *Analytical methods in fuzzy modeling and control*, Berlin-Heidelberg 2009.
- [3] Benzaouia A., El Hajjaji A., *Advanced Takagi-Sugeno fuzzy systems: Delay and Saturation*, Springer, 2016.
- [4] Rutkowska D., Piliński M., Rutkowski L., *Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte*, Warszawa 1997.
- [5] Hillar G., *MQTT essentials – a lightweight IoT Protocol: Send and receive messages with the MQTT protocol for your IoT solutions*, Packt Publishing, 2017.

Jakub Duk

Politechnika Lubelska | Koło Naukowe Elektroników i Mechatroników „Semicon”

Jakub Kisała

Politechnika Lubelska | Koło Naukowe Elektroników i Mechatroników „Semicon”

Grzegorz Nasiłowski

Politechnika Lubelska | Koło Naukowe Elektroników i Mechatroników „Semicon”

Andrzej Kociubiński

Politechnika Lubelska | Katedra Elektroniki i Technik Informatycznych

**UKŁADY I STANOWISKA POMIAROWE
DO BADAŃ WŁAŚCIWOŚCI STRUKTUR
WYKAZUJĄCYCH ZJAWISKO GIGANTYCZNEGO MAGNETOOPORU**

**SYSTEMS AND TEST STANDS
FOR THE STUDY OF PROPERTIES
OF STRUCTURES EXHIBITING
THE GIANT MAGNETORESISTANCE PHENOMENON**

S U M M A R Y

The subject of the article is the presentation and description of the activities undertaken by members of the Student Research Group of Electronics and Mechatronics “Semicon” related to the fabrication of structures exhibiting the phenomenon of Giant Magnetoresistance (GMR), as well as the development of devices and measurement setups for testing the prepared structures. The text discusses fundamental information about the GMR effect, the construction of layered structures, and the technological sequence used in their fabrication. Devices and measurement setups created by the members of the group are presented. For the measurement system, the issue of required measurement accuracy and the method used to achieve it are addressed. For the measurement setups, methods of generating a magnetic field and the ability to adjust its magnetic flux density are discussed. The positioning

table and its control method are also described. The article concludes with a summary of the projects and presents further plans for research on GMR structures.

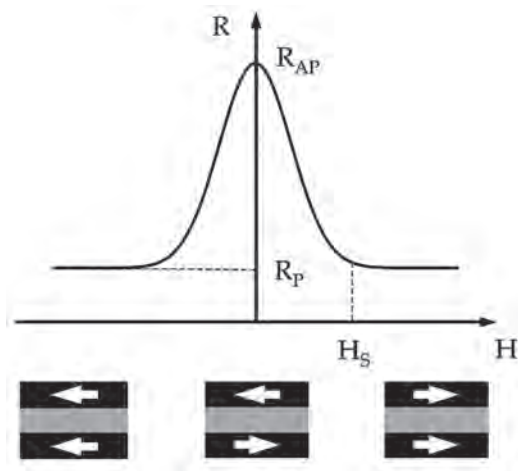
Keywords

giant magnetoresistance, static magnetic field, neodymium magnets, electromagnets, measurement automation

1. Gigantyczny magnetoopor

Zjawiska z dziedzin elektryczności i magnetyzmu są od siebie w znacznym stopniu zależne. W samych materiałach o wysokich współczynnikach przewodności elektrycznej zaobserwować można wiele efektów będących skutkiem działania na nie zewnętrznego pola magnetycznego. Jednym z nich jest zjawisko gigantycznego magnetooporu, odkryte w 1988 roku przez dwa niezależne zespoły naukowców z Niemiec i Francji [1, 2]. Zjawisko to zaobserwowane zostało w cienkich strukturach warstwowych typu ferromagnetyk–materiał niemagnetyczny–ferromagnetyk. Efekt ten objawia się zmianą rezystancji próbki elektrycznej o odpowiedniej konfiguracji w wyniku zwiększenia się wartości indukcji magnetycznej oddziałującego na nią pola magnetycznego. Zmiany rezystancji wynikają z wzajemnych ułożeń domen magnetycznych kolejnych warstw ferromagnetycznych. Dokładnie rzecz ujmując: w przypadku cienkowarstwowych struktur GMR zmiany rezystancji struktury są wynikiem częstości rozpraszania się elektronów w warstwach ferromagnetycznych i na interfejsach ferromagnetyk–materiał niemagnetyczny w zależności od zgodności spinu elektronu z kierunkiem namagnesowania danej warstwy ferromagnetycznej.

Na rys. 1 przedstawiono charakterystykę $R = f(H)$ służącą jako ideowa dla efektu gigantycznego magnetooporu. Domyślnie wypadkowe namagnesowanie kolejnych warstw ferromagnetycznych ma przeciwne zwroty. W przypadku braku zewnętrznego pola magnetycznego obserwowana jest maksymalna wartość rezystancji, przyłożenie pola magnetycznego zaś powoduje obniżenie się rezystancji struktury. Jednakże wartość ta nie spada stale – powyżej pewnej wartości pola magnetycznego następuje nasycenie struktury, tzn. wypadkowe namagnesowania wszystkich warstw ferromagnetycznych są zgodne co do zwrotu i dalej nie ulegają zmianie.

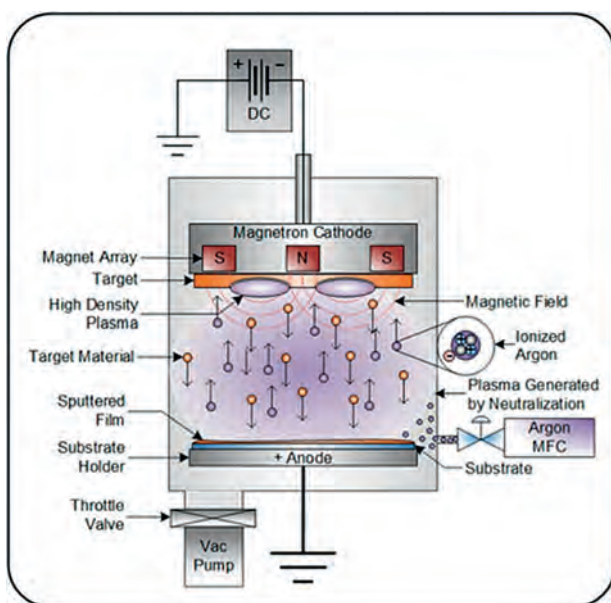
Rys. 1. Typowa charakterystyka $R = f(H)$ pojedynczej struktury cienkowarstwowej

Źródło: W. Kesler, Przetworniki A/C i C/A. Teoria i praktyka. Wydawnictwo BTC, 2012.

2. Technologia struktur cienkowarstwowych

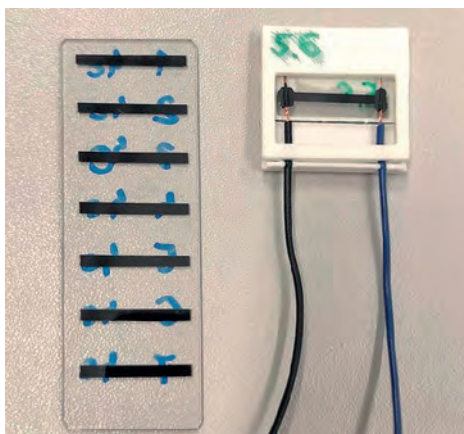
Struktury cienkowarstwowe to układy, których jeden z wymiarów, konkretnie grubość, jest tak znikoma względem innych wymiarów, że można by rozpatrywać je jako układy dwuwymiarowe. W przypadku struktur wytwarzanych przez studentów Koła Naukowego „Semicon” mowa o grubościach rzędu kilku- lub kilkudziesięciu nanometrów. Tak cienkie warstwy możliwe są do wytworzenia dzięki zastosowaniu specjalistycznych metod. Jedną z nich jest rozpylanie magnetronowe. System umożliwiający produkcję warstw w tej technologii dostępny jest dla studentów na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej.

Rozpylanie magnetronowe (rys. 2) jest jednym z wariantów metody fizycznego osadzania z fazy lotnej (*Physical Vapour Deposition*, PVD). Proces ten polega na wybijaniu cząsteczek ze źródła materiału (w stałym stanie skupienia), który będąc gazem, w komorze rozpylania gromadzi się na podłożu i kształtuje warstwę o żądanej grubości. Jeśli znana jest prędkość osadzania się cząsteczek, można dobrać odpowiedni czas trwania procesu w celu osiągnięcia grubości warstwy z dokładnością do pojedynczych nanometrów.



Rys. 2. Schemat rozpylania magnetronowego

Źródło: <https://www.semicon.com/what-is-sputtering> [dostęp: 15.04.2023].



Rys. 3. Wytworzone rezystory cienkowarstwowe

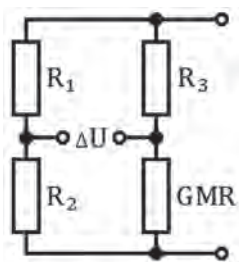
W ramach działalności Koła Naukowego „Semicon” wytwarzane są zarówno struktury wykazujące efekt GMR (rys. 3), jak i układy do pomiarów ich parametrów. Studenci koła, w związku z prowadzonymi pracami, realizują następujące projekty:

- budowa urządzenia pomiarowego do pomiarów zmian rezystancji badanej struktury cienkowarstwowej pod wpływem działającego na nią pola magnetycznego,
- budowa stanowiska do wytwarzania i regulowania wartości pola magnetycznego przy wykorzystaniu elektromagnesów prądu stałego,
- budowa stanowiska do wytwarzania i regulowania wartości pola magnetycznego z użyciem magnesów neodymowych,
- stół do pozycjonowania struktur cienkowarstwowych w polu magnetycznym.

3. Układ do pomiaru rezystancji stałoprądowej

Moduł pomiarowy składa się z mostka Wheatstone'a, do którego jednej z gałęzi podłącza się badaną strukturę, z układów kondycjonowania napięcia zasilania, rezystorów dających różnicę napięć na przekątnej mostka oraz czujnika Halla. Sygnały przetworzone przez układy kondycjonujące [3] trafiają do wejść przetwornika ADC znajdującego się w wykorzystywanym mikrokontrolerze.

Układ pomiarowy (rys. 4) oparto na moście Wheatstone'a, zasilanego z zewnętrznego źródła napięcia, charakteryzującego się dużą stabilnością. Badana próbka cienkowarstwowa jest jednym z rezystorów mostka pomiarowego. Ze względu na odmienne wartości rezystancji wytwarzanych struktur, wynikających z różnych wymiarów przestrzennych oraz grubości i liczby warstw, zmiana zakresu pomiaru rezystancji struktury realizowana jest poprzez wymienne moduły mostka.



Rys. 4. Schemat mostka pomiarowego

Podczas pomiaru mierzona jest różnica napięć pomiędzy dwoma wyjściami z dwugałęziowego mostka, będącego w tym układzie z dwoma dzielnikami napięcia. Pomiar jest dokonywany za pomocą wzmacniacza różnicującego, do wejść którego podłączone są oba wyjścia mostka. Zastosowany wzmacniacz zapewnia również odseparowanie impedancyjne obwodu mostka od reszty układu, dzięki czemu jedynymi czynnikami wpływającymi na wyniki pomiaru są elementy mostka oraz – w mniejszym stopniu – rezystancja ścieżek. Różnica ich potencjałów jest wzmacniana, następnie trafia na wejście ADC mikrokontrolera. Na podstawie otrzymanej różnicy napięć oraz wartości napięcia zasilającego mostek i znanych rezystancji pozostałych rezystorów, wyliczana jest wartość rezystancji struktury GMR na podstawie wzoru (1).

$$R_{\text{GMR}} = \frac{R_3 \left(1 - \frac{R_2}{R_1 + R_2} + \frac{\Delta U}{E} \right)}{1 - \frac{R_2}{R_1 + R_2} + \frac{\Delta U}{E}}. \quad (1).$$

Docelowo układ pomiarowy do struktur GMR ma mieć jeden, automatycznie kalibrujący się mostek. Jedną z koncepcji rozbudowy zakłada kalibrację mostka przed rozpoczęciem serii pomiarów, drugą – przed każdym pomiarem. Zastosowanie takiej metody wykonywania pomiarów rezystancji pozwoli na otrzymanie dokładniejszych wyników.

4. Układ do pomiaru indukcji magnetycznej

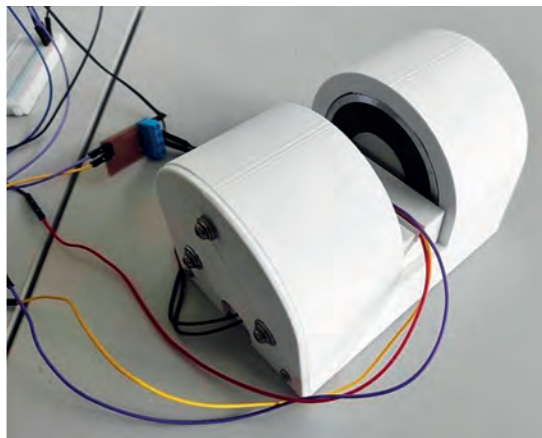
Układy pomiaru indukcji magnetycznej i napięcia zasilania zaczynają się od bloku kondycjonowania napięcia. W obu przypadkach sygnał przechodzi przez wzmacniacz operacyjny mający za zadanie odizolować część pomiarową od obwodu, z którego pochodzi sygnał. Następnie trafia on na dzielnik napięcia, gdzie jest obniżany do poziomu umożliwiającego pomiar za pomocą przetwornika ADC (jego maksymalna wartość nie może przekraczać 1,1 V). W dalszym etapie sygnał przechodzi na kolejny wzmacniacz odizolowujący i w finalnie na wejście ADC.

Pomiary indukcji magnetycznej są mocno zbliżone do pomiarów ΔU na przekątnej mostka. Pierwszą czynnością po uruchomieniu programu jest kalibracja czujnika. Program wykonuje serię 100 pomiarów wejścia dla wyłączanego elektromagnesu, aby sprawdzić, jaka wartość odpowiada brakowi indukcji magnetycznej. Otrzymana wartość jest odejmowana od każdego pomiaru indukcji magnetycznej. Jej wartość jest wyliczana na podstawie danych, takich jak napięcie zasilania czujnika i charakterystyka indukcji magnetycznej w funkcji napięcia według wzoru (2), który jest poprawny tylko w liniowym zakresie pracy czujnika.

$$B = (U - U_0) \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (2)$$

5. Stanowisko pomiarowe wykorzystujące elektromagnesy

Stanowisko pomiarowe składa się z dwóch elektromagnesów prądu stałego, zasilanych napięciem symetrycznym. Elektromagnesy zamontowane są w obudowie wykonanej technologią druku 3D z tworzywa sztucznego (rys. 5). Konstrukcja ta uwzględnia również miejsce na czujnik Halla, moduł elektronicznego kondycjonowania sygnału z czujnika oraz moduł energoelektroniczny, którego celem jest regulacja wartości indukcji magnetycznej wytwarzanej przez elektromagnesy.



Rys. 5. Układ pomiarowy z wykorzystaniem elektromagnesów

Wykorzystane elektromagnesy zostały umieszczone naprzeciwko siebie w odległości 3,5 cm. Dobranie takiej odległości przy średnicy elektromagnesu wynoszącej 7 cm pozwala na wytwarzanie pomiędzy nimi jednorodnego pola magnetycznego [4]. Odległość ta jest wystarczająca również do zastosowania do pomiarów struktur stolika pozycjonującego, umożliwiającego obrót próbki o 180° w dwóch osiach. Elektromagnesy zamontowane w stanowisku umożliwiają uzyskanie indukcji magnetycznej o wartościach 0–70 mT.

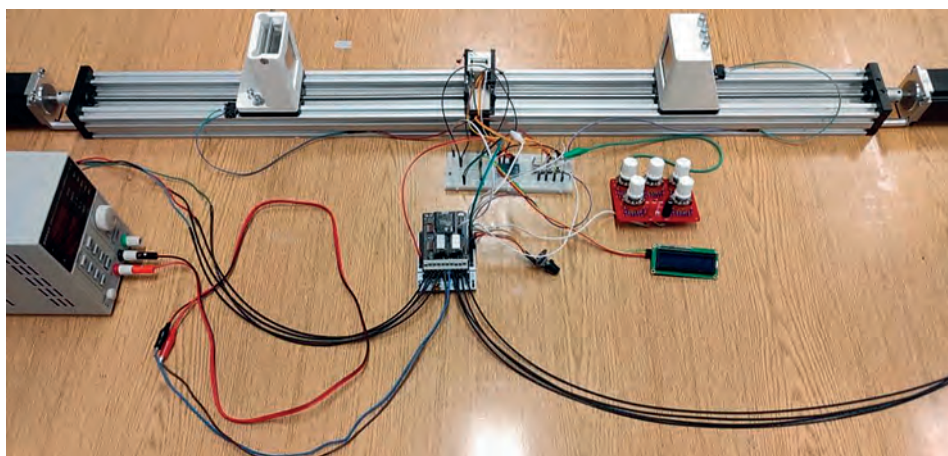
W celu pomiaru oraz regulacji pola magnetycznego wytwarzanego przez elektromagnesy stanowisko jest wyposażone również w czujnik Halla. Zamontowany jest on na wymiennej wkładce, znajdującej się pomiędzy elektromagnesami. Pomiar indukcji magnetycznej może być wykonany jednorazowo przez użytkownika lub w procesie automatycznym. W tym trybie pracy czujnik Halla współpracuje z modułem regulującym indukcję magnetyczną poprzez modulację szerokości impulsu (PWM).

Moduł sterujący elektromagnesem składa się z zacisków zasilania oraz elektromagnesu, tranzystora MOSFET i transoptora, mającego zapewnić częściowe odizolowanie elektryczne elektromagnesów od modułu sterującego, opartego na mikrokontrolerze ATmega328p. Wyjście PWM mikrokontrolera jest podłączone do transoptora, skąd sygnał przekazywany jest na bramkę tranzystora za sprawą odpowiedniego sterowania pracą elektromagnesów. Zastosowane rozwiązanie zabezpiecza przed przepływem prądu przez jednostkę sterującą nawet w przypadku uszkodzenia tranzystora [4].

6. Stanowisko pomiarowe wykorzystujące magnesy neodymowe

Stanowisko składa się z dwóch magnesów neodymowych zamontowanych na dwóch zestawionych ze sobą prowadnicach liniowych o długości łącznej 1 m, czujnika Halla, silników krokowych do sterowania pozycją magnesów oraz modułu sterującego (rys. 6). Stanowisko jest sterowane poprzez moduł „STM32 Nucleo”. Zastosowane magnesy pozwalają na uzyskanie indukcji magnetycznej do 300 mT przy zachowaniu odległości 3,5 cm umożliwiającej umieszczenie między nimi badanej struktury.

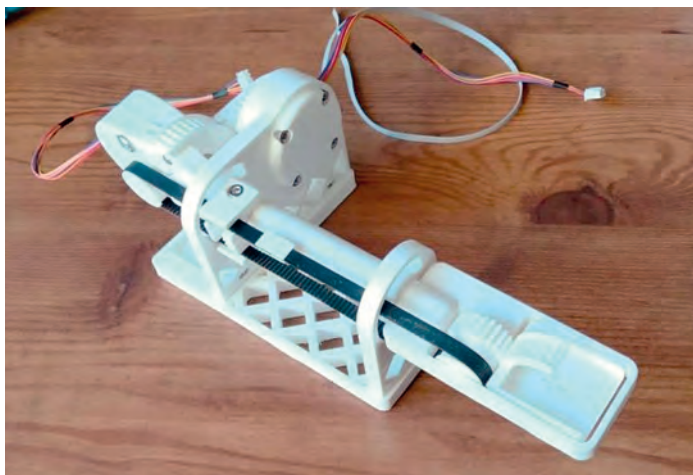
Silniki krokowe są sterowane poprzez dodatkowy sterownik współpracujący z platformą „Nucleo”. Skonstruowany program pozwala na pracę układu w różnych trybach: wykonywania zadanej liczby kroków silników (przekładających się bezpośrednio na konkretną odległość) albo przestawiania magnesów neodymowych do momentu uzyskania zadanej indukcji magnetycznej mierzonej za pomocą czujnika Halla. Za pośrednictwem aplikacji wykonanej w środowisku Matlab zaprogramowano stanowisko tak, aby autonomicznie wykonywało pomiar pełnej charakterystyki rezystancji w funkcji wartości indukcji pola magnetycznego.



Rys. 6. Układ pomiarowy z wykorzystaniem elektromagnesów

7. Stolik pozycjonujący

Stolik pozycjonujący został skonstruowany, aby zapewnić możliwość pomiarów parametrów rezystancyjnych struktur będących w różnym położeniu względem linii pola magnetycznego. Stolik znajduje się na obrotowym wysięgniku, zapewniającym oddalenie silników krokowych wystarczająco daleko od obszaru badań, bez narażania ich na działanie silnego pola magnetycznego (rys. 7). Stolik został wykonany z materiałów niemagnetycznych, dzięki czemu ma on neutralny wpływ na układanie się linii pola magnetycznego pomiędzy elektromagnesami.



Rys. 7. Stolik pozycjonujący

Stolik ma możliwość obrotu płaszczyzny pomiarowej w dwóch osiach, w każdej pod kątem 180° . W tym celu zastosowano dwa silniki krokowe. Jeden obraca ramię stolika poprzez zastosowanie przekładni zębatej, drugi za pomocą przekładni zębatej i paska klinowego. Oba napędy będą miały wyłączniki krańcowe – pozwolą one na zatrzymanie układu, gdy ten będzie zbliżał się do końca przekładni zębatej, jak również pozwolą na pozycjonowanie stolika do początkowego ułożenia.

Sterowanie silnikiem odbywać się będzie poprzez płytkę drukowaną ze sterownikiem do obu silników oraz wyposażoną w moduł obsługujący czujniki krańcowe. Sterowanie stanowiskiem realizowane jest za pomocą mikrokontrolera ATmega328p na platformie „Arduino Nano”. Oprogramowanie będzie pozwalać nie tylko na oddzielne sterowanie położeniem stolika, ale też na wykonywanie automatycznej serii pomiarów. Poprzez współpracę ze wspomnianą wcześniej aplikacją wykonaną w środowisku Matlab możliwe będzie wykorzystanie stolika z opracowanymi układami pomiarowymi.

8. Podsumowanie

Prace członków Studenckiego Koła Naukowego Elektroników i Mechatroników „Semicon”, działającego na Politechnice Lubelskiej, skupiają się

na produkcji i badaniu struktur cienkowarstwowych wykazujących zjawisko gigantycznego magnetooporu. Dzięki środkom uzyskanym w ramach grantu „Studenckie koła naukowe tworzą innowacje” ze środków Ministra Edukacji i Nauki możliwe było opracowanie technologii, a następnie wyprodukowanie struktur cienkowarstwowych metodą rozpylania magnetronowego. Wraz z chęcią odpowiedniego przebadania otrzymywanych struktur pojawiła się również potrzeba stworzenia stanowisk pomiarowych. Członkowie koła mieli możliwość wykonania projektów mających na celu przeprowadzenie pomiarów takich wielkości, jak indukcja pola magnetycznego oraz rezystancja elektryczna, a także opracowanie układów mogących posłużyć jako stanowiska pomiarowe. Ze względu na dużą liczbę struktur powstających w ramach prac technologicznych automatyzacja działania układów pomiarowych pozwoli na znaczne skrócenie czasu przy charakteryzacji struktur i zwiększy efektywność badań naukowych prowadzonych przez członków Koła Naukowego „Semicon”.

Literatura

- [1] Baibich M. N., Broto J. M., Fert A., Nguyen Van Dau F., Petroff F., Etienne P., Creuzet G., Friederich A., Chazelas J., *Giant magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr magnetic superlattices*, “Physical Review Letters” 1988, no. 61, pp. 2472–2475.
- [2] Binasch G., Grünberg P., Saurenbach F., Zinn W., *Enhanced magnetoresistance in layered magnetic structures with antiferromagnetic interlayer exchange*, “Physical Review B” 1989, no. 39, pp. 4828–4830.
- [3] Tsymbal E. Y., Pettifor D. G., *Perspectives of giant magnetoresistance*, “Research in Astronomy and Astrophysics” 2001, no. 56, pp. 113–237.
- [4] Gajda D., Sosnowski J., *Wybrane badania konstrukcyjne elektromagnesów nadprzewodnikowych*, „Prace Instytutu Elektrotechniki” 2006, no. 226, pp. 113–124.

Ewelina Rudowska

Politechnika Białostocka | SKN „Con-Krecik”

Paulina Rudowska

Politechnika Białostocka | SKN „Con-Krecik”

Bruno Niezbecki

Politechnika Białostocka | SKN „Con-Krecik”

dr inż. Katarzyna Kalinowska-Wichrowska

Politechnika Białostocka | Katedra Budownictwa i Kształtowania Krajobrazu

GEPOLIMERY

– PRZYKŁADY ZASTOSOWAŃ W BUDOWNICTWIE

GEPOLYMERS

– EXAMPLES OF APPLICATIONS IN CONSTRUCTION

S U M M A R Y

Nowadays in the construction industry there is a great emphasis on ecology, and thus the search for waste materials that can replace natural resources. As a result, geopolymers are becoming increasingly popular as cement-free composites. Geopolymer concrete is a combination of materials of geological origin (e.g., metakaolin) or industrial waste, e.g., fly ash, blast furnace slag with an alkaline activator. Geopolymers are characterized by, among other things, high compressive strength, good frost resistance, high fire resistance. Moreover, the production process of geopolymers is up to 4–8 times less CO₂ emissions than the production of cement concrete. Despite these advantages, traditional concretes still lead the construction market. Mainly due to the fact that the process of producing geopolymers due to the necessity of using an alkaline activator is more complicated and more expensive than cement concretes. The paper focuses on analyzing examples of the use of geopolymers in the construction market, the properties and barriers that arise in doing so.

Keywords

geopolymer concrete, ecology

1. Wstęp

Określenie „geopolimery” w Polsce pojawiło dopiero w latach 90. XX wieku. Zostało wprowadzone w 1976 roku do nazewnictwa IUPAC (Międzynarodowej Unii Chemii Czystej i Stosowanej) [1]. Analizując wyraz „geopolimer”, należy zauważyć, iż składa się on z dwóch części: „geo”, która sugeruje, że materiał ten jest pochodzenia naturalnego, oraz „polimery” – mówiącej o tym, że składa się z wielu powtarzalnych cząstek zwanych merami. Człon „geo” pierwotnie odnosił się do spoiw wytwarzanych z surowców naturalnych i prekursorów, które można uzyskać z dehydroksylacji surowców ilastych. Z czasem zaczęto jednak obejmować tą nazwą spoiwa, do wytworzenia których wykorzystywano też inne materiały wyjściowe, w tym materiały pochodzenia przemysłowego, takie jak żużel oraz różnego rodzaju popioły lotne [1].

Geopolimery mają szerokie użycie, m.in. w hutnictwie jako materiały ogniotrwałe, jednak jako najpopularniejsze zastosowanie można wskazać budownictwo: do produkcji betonów. Główną zaletą betonów geopolimerowych w porównaniu z betonami tradycyjnymi jest to, że nie zawierają cementu, co sprawia, że są bardziej przyjazne środowisku [2].

2. Geopolimery

Wszystkie surowce wykorzystywane do wytworzenia spoiw aktywowanych alkaliami (SAA) nazywane są prekursorami. Są to głównie materiały pochodzenia naturalnego oraz przemysłowego, które wykazują się dużą zawartością tlenku krzemu (SiO_2) oraz tleny glinu (Al_2O_3), przy czym tworzą fazy szkliste, jak również surowce, które stanowią semiamorficzne produkty dehydratacji i dehydroksylacji substancji ilastych [1].

Istotnymi składnikami spoiw aktywowanych alkaliami na równi z prekursorami są aktywatory. Są to substancje nieorganiczne, rozpuszczalne w wodzie, które stanowią źródło kationów sodu oraz potasu, jak

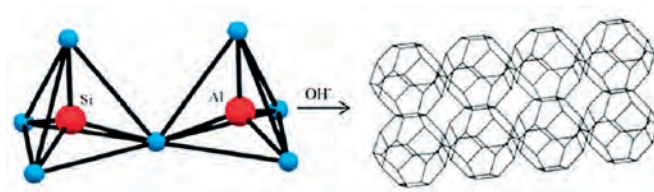
również zapewniają odpowiednio duże stężenie anionów hydroksylowych OH^- w środowisku reakcji, przekraczające zazwyczaj 13,5 pH reagentów.

Istnieją dwie metody mieszania aktywatorów z prekursorami. Pierwsza z nich, tzw. na sucho, polega na rozdrobnieniu i wysuszeniu materiału pucolanowego, a następnie zmieszaniu go z wodnym roztworem krzemionów, do którego dodaje się zasadę, np. wodorotlenek sodu. Druga, obecnie coraz częściej stosowana, opiera się na wprowadzeniu aktywatorów do zaczynów, zapraw i betonów w formie roztworów, wraz z wodą zarobową [1].

Do rozwoju badań nad geopolimerami przyczynił się głównie czynnik środowiskowy. Duży nacisk kładziony jest na aspekty związane z gospodarką o obiegu zamkniętym, jak również możliwością ograniczenia emisji dwutlenku węgla przy wyborze geopolimerów zamiast betonów cementowych. Ujęcie ekonomiczne i relatywna łatwość w pozyskiwaniu aktywatorów sodowych powodują, iż właśnie one są głównie stosowane do geopolimerów, a nie droższe związki potasu [1].

2.1. Struktura geopolimerów

Geopolimery można określić jako amorficzne, nieorganiczne, syntetyczne polimery glinokrzemianowe, które mają specyficzny skład oraz właściwości. W swojej strukturze geopolimery są bardzo podobne do naturalnych kamieni występujących w przyrodzie, z tego powodu nazywane są często „sztucznymi kamieniami”. Budowa geopolimerów (rys. 1.) przypomina długi łańcuch, na który składają się kopolimery tlenku glinu i krzemu, jak również materiał stabilizujący, w postaci kationów różnych metali, oraz woda [3]. Najczęstszymi kationami metali występującymi w geopolimerach są kationy sodu, potasu, litu oraz wapnia.



Rys. 1. Sieć geopolimerów w schemacie przestrzennym

Źródło: U. Lelek-Borkowska, Geopolimery, Akademia Górniczo-Hutnicza, 2022.

3. Betony geopolimerowe

3.1. Właściwości betonów geopolimerowych

Na 1 t wytworzonego betonu z użyciem cementu portlandzkiego do atmosfery emitowana jest prawie 1 t dwutlenku węgla. Z tego względu często szukać materiału, który mógłby zastąpić tradycyjny beton. Takim produktem stały się geopolimery. Badania nad tym materiałem trwają od zaledwie 50 lat, choć był on wykorzystywany już w starożytnym Rzymie do budowy słynnych kopuł Panteonu czy w starożytnym Egipcie przy budowie piramid [4].

Geopolimery charakteryzują się wysoką wytrzymałością na ściskanie i zginanie[4]. Według badań jej zakres waha się w przedziale od 10 do nawet 120 MPa w przypadku naturalnych warunków dojrzewania i przekraczających 150 MPa, gdy użyta zostanie autoklawizacja [5]. Betony geopolimerowe wykazują się również dużą kwasoodpornością oraz odpornością na chlorki i siarczany. Można także mówić o dobrej adhezji ze stalą oraz lepszej od betonu tradycyjnego ochronie zbrojenia przed korozją, małą wrażliwością na działanie czynników atmosferycznych oraz wysoką mrozoodpornością [4].

Na podstawie dostępnych wyników badań z zakresu betonów geopolimerowych wykazano, że do betonów opartych na omawianym rodzaju spoiwa stosować można kruszywa o zdecydowanie większym udziale frakcji pylistych. Jest to spowodowane faktem, że środowisko silnie alkaliczne, w którym powstaje cement, wchodzi w reakcję z występującymi w kruszywach minerałami ilastymi [5].

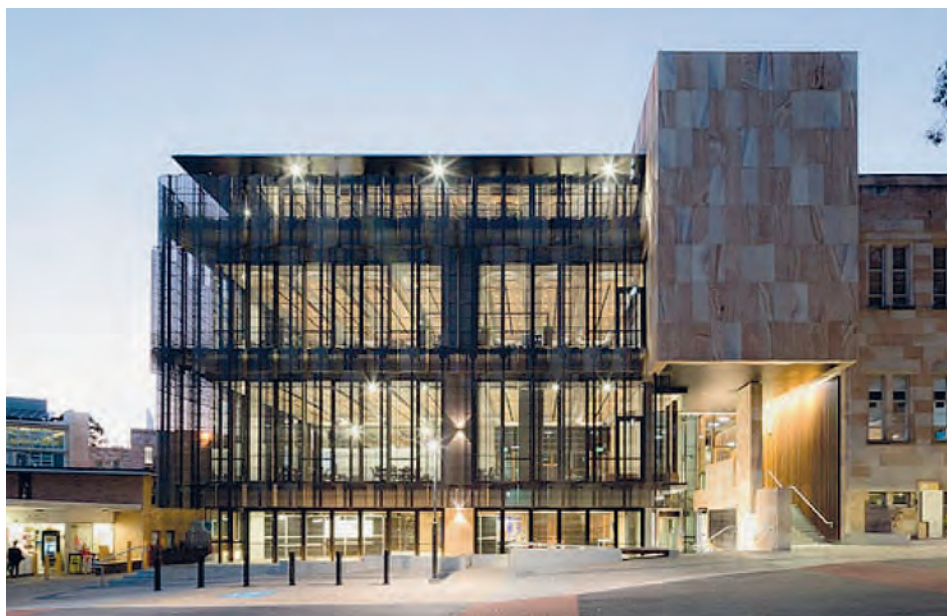
Dodatkowym atutem geopolimerów jest ich niska szkodliwość dla środowiska. Szacunkowo proces syntezy tego materiału wymaga dwukrotnie mniej energii niż produkcja cementu portlandzkiego, ponadto od 4 do 8 razy mniejsza jest emisja dwutlenku węgla [6].

Spojwa aktywowane alkaliami wykorzystywane są m.in. w górnictwie i geotechnice, przede wszystkim do uszczelnienia górotworów, budowy ekranów przeciwiłtracyjnych, które pozwalają na ograniczenie migracji różnego typu mediów oraz stabilizację gruntu [1].

4. Zastosowanie geopolimerów – przykłady

4.1. Budynek użyteczności publicznej ze strukturalnym betonem geopolimerowym

Marka Hassell wraz z firmami Bligh Tanner i Wagners zaprojektowały Global Change Institute Uniwersytetu Queensland (rys. 2). Budynek ten jest pierwszym, w którym do budowy użyto betonu geopolimerowego do celów konstrukcyjnych [7].



Rys. 2. Budynek GCI Uniwersytetu Queensland

Źródło: <https://www.geopolymer.org/news/worlds-first-public-building-with-structural-geopolymer-concrete/>
[dostęp: 8.05.2023].

Budynek składa się z czterech pięter i przeznaczony jest do użytku publicznego. Ma trzy podwieszane stropy z betonu geopolimerowego, które składają się z 33 prefabrykowanych paneli (rys. 3). Elementy wykonane są z betonu geopolimerowego, w którego w skład wchodzi żużel oraz popiół lotny [7].



Rys. 3. Płyta prefabrykowana – części posadzki z betonu geopolimerowego

Źródło: <https://www.geopolymer.org/news/worlds-first-public-building-with-structural-geopolymer-concrete/> [dostęp: 8.05.2023].

4.2. Port lotniczy ze strukturalnym betonem geopolimerowym

Brisbane West Wellcamp Airport w Australii (rys. 4) to największy obiekt, do którego budowy użyto betonu geopolimerowego. Port został zbudowany z ok. 40 000 m³ tego materiału, co sprawia, że jest to największe zastosowanie tej nowej klasy betonu na świecie. Beton ten wybrano ze względu na wysoką wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu, niski skurcz i właściwości urabialności. Trwały geopolimerowy beton mający grubość 435 mm używany jest do utwardzania skrzyżowań, płyt postojowych i dróg kołowania samolotów; w regularnym ruchu lotniczym między lotniskiem Toowoomba-Wellcamp BWWA a Hongkongiem przyjmuje ciężki ładunek boeinga 747.



Rys. 4. Brisbane West Wellcamp Airport w Australii

4.3. Rury kanalizacyjne z geopolimerów

Technologia wytwarzania rur kanalizacyjnych z geopolimerów zbrojonych stalą (rys. 5) została opracowana przez firmę Rocla. Wyprodukowano rury o średnicach od 375 do 1800 mm, które przechodzą konieczne badania i spełniają wszystkie australijskie normy, które dotyczą przenoszenia obciążeń i odporności na wewnętrzne ciśnienie hydrostatyczne. Beton geopolimerowy charakteryzuje się wytrzymałością na ściskanie, badany po siedmiu dniach w zakresie od 40 do 60 MPa [10].



Rys. 5. Rury kanalizacyjne wykonane ze zbrojonego betonu geopolimerowego

Źródło: J. Mikulá, M. Łach, Geopolimery – nowa przyjazna środowisku alternatywa dla betonów na bazie cementu portlandzkiego. Przykłady wdrożenia i wyniki badań.

4.4. Wyroby geopolimerowe firmy Wagners

Firma Wagners, zlokalizowana w Australii, wykonuje z betonów geopolimerowych różnego rodzaju powierzchnie, jak chodniki, płyty boisk, fundamenty budynków. Przykładami mogą być płyta boiska do tenisa (rys. 6) oraz chodnik (rys. 7), które zostały wykonane z betonu geopolimerowego w mieście Toowoomba w Australii. Firma ta produkuje również panele osłonowe (rys. 8) ze zbrojonego betonu geopolimerowego [10].



Rys. 6. Płyta boiska do tenisa wykonana z betonu geopolimerowego

Źródło: J. Mikula, M. Łach, Geopolimery – nowa przyjazna środowisku alternatywa dla betonów na bazie cementu portlandzkiego. Przykłady wdrożenia i wyniki badań.



Rys. 7. Chodnik w mieście Toowoomba w Australii wykonany z betonu geopolimerowego

Źródło: J. Mikula, M. Łach, Geopolimery – nowa przyjazna środowisku alternatywa dla betonów na bazie cementu portlandzkiego. Przykłady wdrożenia i wyniki badań



Rys. 8. Panele ścienne osłonowe wykonane z betonu geopolimerowego

Źródło: J. Mikuła, M. Łach, Geopolimery – nowa przyjazna środowisku alternatywa dla betonów na bazie cementu portlandzkiego. Przykłady wdrożenia i wyniki badań

5. GeCon – innowacyjny i ekologiczny materiał budowlany

W ramach projektu GeCon zrealizowanego ze środków MEiN w ramach projektu „Studenckie koła naukowe tworzą innowacje” wykonano nowy i ekologiczny materiał budowlany bez użycia cementu. Istotą całego projektu było opracowanie receptury mieszanki geopolimerowej z wykorzystaniem aktywatora w postaci wyłącznie wodorotlenku sodu. Mieszanka ta po zaformowaniu i stwardnieniu stworzyła kompozyt o bardzo dobrych właściwościach fizyczno-mechanicznych. Cechy te mogą być porównywalne z tymi, które otrzymuje się w przypadku geopolimerów wykonanych z mieszaniną NaOH i Na_2SiO_3 , a niektóre (m.in. wytrzymałość na ściskanie) są nawet lepsze niż w przypadku geopolimerów dostępnych obecnie na rynku. Jako dodatkowe *novum* wykorzystano kruszywo alternatywne (w celu wyeliminowania kruszywa naturalnego) oraz kruszywo lekkie popiołoporytowe typu Certyd. Dotychczas nie są wytwarzane lekkie produkty z geopolimerów bez wykorzystania szkła wodnego.



Rys. 9. Bloczek geopolimerowy na kruszywie popiołoporytowym

Przeprowadzono szereg badań nad betonami wykonanymi na bazie opracowanej receptury, a ostatecznie nad kompozytem geopolimerowym (bloczek o wymiarach $50 \times 30 \times 15$ cm), którego podstawowe parametry fizyczno-mechaniczne również określono. Analizowano m.in. wytrzymałość na ściskanie, nasiąkliwość, gęstość, współczynnik przewodzenia ciepła λ .

- W wyniku zrealizowanego eksperymentu uzyskano materiał konstrukcyjno-izolacyjny (bloczek) o dobrych właściwościach termicznych $\lambda = 0,223 \text{ W/m} \cdot \text{K}$.
- Wytrzymałość na ściskanie bloczku wzrastała w czasie. Najwyższą wartość otrzymano po 28 dniach – ok. 23 MPa, czyli o ok. 75% wyższą, niż prognozowały to wyniki prowadzone na kostkach (14 MPa).
- Gęstość objętościowa bloczku w stanie suchym wyniosła $1552,9 \text{ kg/m}^3$, a w stanie nasyconym $1632,9 \text{ kg/m}^3$. Wyrób można zakwalifikować do betonów lekkich według do klasy gęstości D1,6 (PN-EN 12390-7:2011).

6. Podsumowanie

Betony geopolimerowe mają przewagę nad betonami tradycyjnymi z powodu niskiej emisji dwutlenku węgla do atmosfery podczas procesu ich wytwarzania. Cechują się wysokimi właściwościami fizyczno-mechanicznymi, nie ustępując przy tym tradycyjnym betonom cementowym. Cechy

te zaczynają być dostrzegane i powoli są wprowadzane do codziennego użytku. Z pewnością duży popyt na ten produkt zostanie zaobserwowany w momencie wprowadzenia regulacji prawnych, które będą ograniczać emitowanie do atmosfery dwutlenku węgla. Aktualnie dość wysoka cena wodorotlenku sodu oraz wodnych roztworów krzemianów ma kluczowy wpływ na nierozprzestrzenienie się geopolimerów na globalną skalę. Przewiduje się, że w niedalekiej przyszłości geopolimery będą kluczowym używanym materiałem w wielu gałęziach przemysłu budowlanego, m.in. jako zaprawy naprawcze, materiały konstrukcyjne (belki, stropy), nomenklatura drogowa (kostka brukowa), wyroby betonowe (błoczek), czego dowodem są przedstawione przykłady zastosowań.

Literatura

- [1] *Beton. Technologie i metody badań*, red. Deja J., Kraków 2020, Wydawnictwo Stowarzyszenie Producentów Cementu.
- [2] <https://www.izolacje.com.pl/artykul/chemia-budowlana/163807,geopolimery-w-budownictwie> [dostęp: 2.05.2023].
- [3] Lelek-Borkowska U., *Geopolimery*, Akademia Górniczo-Hutnicza, 2022.
- [4] <https://www.wim.pw.edu.pl/Studenci/Kolo-naukowe-WAKANS/Material-miesiaca/materialmiesiaca-Geopolimery-krok-w-kierunku-zrownowazonego-budownictwa> [dostęp: 2.05.2023].
- [5] Błaszczyński T., Król M., *Ekospołwa geopolimerowe*, „Builder” 2021, R. 25, nr 8.
- [6] <https://edukacja.dziennik.pl/eureka-dgp/wynalazki-uczelnie/artykuly/480354,tworzywo-geopolimerowe-oraz-sposob-wytwarzania-tworzywa-geopolimerowego.html> [dostęp: 2.05.2023].
- [7] <https://www.geopolymer.org/news/worlds-first-public-building-with-structural-geopolymer-concrete/> [dostęp: 2.05.2023].
- [8] <https://www.geopolymer.org/news/visit-airport-eco-building/> [dostęp: 2.05.2023].
- [9] <https://australianaviation.com.au/2017/11/wellcamp-swaps-brisbane-west-for-toowoomba/> [dostęp: 2.05.2023].
- [10] Mikołaj J., Łach M., *Geopolimery – nowa przyjazna środowisku alternatywa dla betonów na bazie cementu portlandzkiego. Przykłady wdrożenia i wyniki badań*

Karolina Olszowy

Politechnika Rzeszowska | Koło Naukowe Mechaniki Budowli

Agata Wolanin

Politechnika Rzeszowska | Koło Naukowe Mechaniki Budowli

Bartosz Kraus

Politechnika Rzeszowska | Koło Naukowe Mechaniki Budowli

dr hab. inż. Piotr Nazarko, prof. uczelni

Politechnika Rzeszowska | Katedra Mechaniki Konstrukcji

**PORÓWNAWCZA OCENA WPŁYWU DRGAŃ
NA LUDZI W BUDYNKACH
NA PRZYKŁADZIE WYBRANEJ SALI DYDAKTYCZNEJ**

**COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE IMPACT OF VIBRATIONS
ON HUMANS IN BUILDINGS
– A CASE STUDY OF A SELECTED LECTURE HALL**

S U M M A R Y

The article contains the results of the assessment of the vibrations impact on people in buildings. Experimental measurements were carried out in one classroom using both piezoelectric sensors and non-contact methods using a single-point laser vibrometer. In the first case, the vibration accelerations were measured, while in the second, their velocities. Preliminary results indicate that the determined values of vibration perception in the case of vibration velocity measurements are higher, even indicating that the permissible vibration amplitude values specified in the polish standard are exceeded. The choice of the classroom was not accidental, but resulted from the indication of teachers conducting classes and suggesting low vibration comfort of people staying in the building and receiving vibrations in a passive way.

Key words

vibrations impact on people, structural dynamic, vibration comfort

1. Wstęp

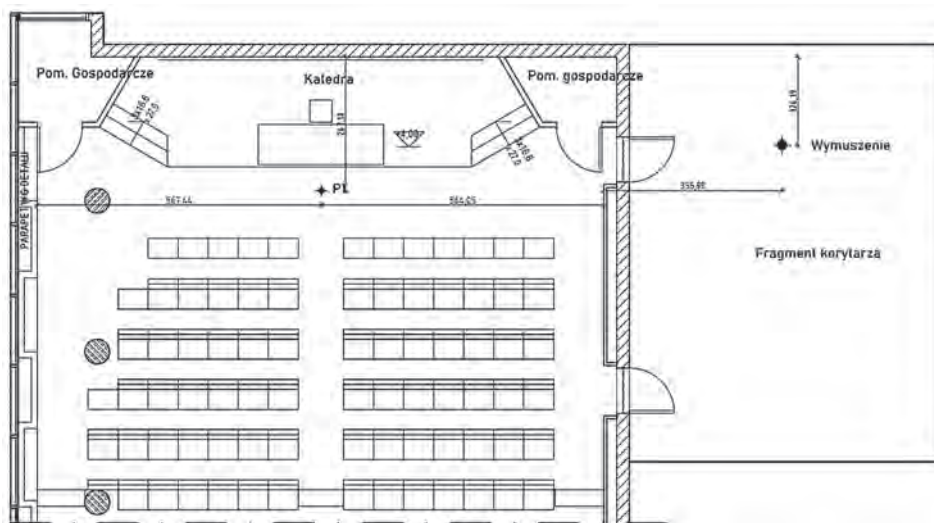
Budynki, w których czasowo lub stale przebywają ludzie, powinny spełniać warunki komfortu wibracyjnego określone w wymaganiach normowych [1]. Dopuszczalny poziom drgań zależy od przeznaczenia pomieszczeń oraz powtarzalności występowania zdarzeń powodujących dyskomfort. Najbardziej restrykcyjne warunki dotyczą m.in. sal operacyjnych i precyzyjnych laboratoriów, a największe poziomy drgań dopuszczalne są np. w warsztatach pracy. Pomieszczenia mieszkalne, biurowe i szkolne plasują się w grupie umiarkowanego wpływu drgań. Warto także wspomnieć, że organizm ludzki jest bardzo czułym instrumentem, który wyczuwa drgania, choć ich odbiór i poczucie dyskomfortu jest kwestią subiektywną [2]. Istnieją jednak procedury pozwalające na określenie częstotliwości i poziomu drgań, które mogą bardzo negatywnie wpływać na zdrowie i samopoczucie człowieka [2–5]. W niniejszym artykule omówione zostały wyniki badań doświadczalnych przeprowadzonych w jednej z sal dydaktycznych Politechniki Rzeszowskiej, w której zauważono, że w pewnych okolicznościach wyrażenie widoczne i wyczuwalne są drgania stropu oraz umieszczonych na nim elementów wyposażenia (biurka oraz mikrofonu umieszczonego na statywie, z których korzystają nauczyciele akademicki podczas prowadzenia zajęć dydaktycznych). Zastosowane techniki pomiarowe oraz sposób analizy uzyskanych wibrogramów odpowiadają aktualnym zaleceniom technicznym oraz wymaganiom określonym w odpowiednich przepisach [1].

2. Przedmiot i zakres badań

2.1. Opis budynku i badanego pomieszczenia

Badania wpływu drgań na ludzi w budynkach przeprowadzono w odniesieniu do sali wykładowej P-2, zlokalizowanej na pierwszym piętrze w budynku P przy ul. Poznańskiej 2 w Rzeszowie. Poza salami dydaktycznymi znajdują się tu także gabinety pracowników uczelni oraz pomieszczenia biurowe dziekanatu Wydziału Budownictwa, Inżynierii

Środowiska i Architektury Politechniki Rzeszowskiej. Inspiracją do przeprowadzenia pomiarów kontrolnych stały się spostrzeżenia nauczycieli akademickich prowadzących w tej sali zajęcia. Wskazywali oni na drgania biurka umieszczonego na katedrze (podwyższeniu) oraz znajdującego się na nim statywu z mikrofonem. Drgania mebla były wyczuwalne przy opieraniu na nim rąk (łokci), a drgania mikrofonu – wręcz widoczne gołym okiem. Z przeprowadzonej obserwacji wynika ponadto, że drgania te nie były związane z czynnikami zewnętrznymi i nie zależały np. od ruchu pojazdów przejeżdżających obok budynku – pojawiały się także w sytuacji braku ruchu. Zauważono natomiast, że występują wówczas, gdy sąsiadującym z salą korytarzem przemieszczają się użytkownicy budynku. Na tej podstawie stwierdzono, że drgania przenoszą się po stropie i wywoływane są przede wszystkim ruchem pieszych. Planując badania doświadczalne, przyjęto, że pomiar będzie odbywał się w punkcie kontrolnym P1, zlokalizowanym na posadzce przed katedrą, natomiast same drgania wymuszane będą na korytarzu (w odległości ok. 9 m) poprzez rytmiczne podskoki (jednej lub kilku osób). W podobny sposób są przeprowadzane badania dynamiczne kładek dla pieszych. Sytuację tę przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Szkic sytuacyjny sali dydaktycznej P2, lokalizacji punktu pomiarowego P1 i wymuszenia drgań

Źródło: opracowanie własne.

2.2. Metodyka i technika badań

Opisana sytuacja dotyczy biernego odbioru drgań przez człowieka, który nie ma bezpośredniego wpływu na pracę źródeł drgań. Norma [1] określa dopuszczalne poziomy drgań zarówno w odniesieniu do wartości skutecznych amplitud przyspieszeń, jak i prędkości drgań, obliczonych w pasmach 1/3 oktawy. Wartości te obliczano dla zdarzeń, w których czas trwania ocenianego parametru drgań był większe niż 0,2 wartości szczytowej po przepuszczeniu sygnału przez filtr dolnoprzepustowy o częstotliwości 120 Hz.

Do zrealizowania badań wykorzystano dwa zestawy pomiarowe z użyciem techniki:

- kontaktowej – za pomocą trójosiowych czujników przyspieszeń,
- bezkontaktowej – za pomocą wibrometru laserowego w układzie 1D.

Pierwsza z technik pomiarowych wykorzystuje czujniki przyspieszeń i umożliwia równoległy pomiar w przyjętych punktach kontrolnych. Zastosowanie czujnika trójosiowego pozwala przeprowadzić pomiary drgań w trzech prostopadłych do siebie kierunkach. Rejestrowaną wielkością fizyczną są w tym przypadku przyspieszenia drgań.

W drugim przypadku charakterystyczną mierzoną wielkością fizyczną są prędkości drgań punktu, na który pada wiązka lasera, a do ich określania wykorzystywane jest zjawisko Dopplera. Zaletą takiego podejścia jest możliwość pomiaru drgań bez konieczności wyposażania badanego obiektu w czujniki, co jest istotne w przypadku elementów, do których doklejenie czujnika (jako dodatkowej masy) jest niemożliwe lub może wprowadzać istotne zmiany w analizie ich zachowania. Jedno z ważnych ograniczeń stanowi natomiast fakt, że nie jest możliwe przeprowadzenie równoczesnego pomiaru w kilku punktach kontrolnych. Odbyna się to w kolejnych odstępach czasu (punkt po punkcie), podczas których warunki otoczenia mogą ulegać zmianie. W układach 1D prędkość drgań mierzona jest zasadniczo wzdłuż wiązki lasera.

W opisywanym tu przypadku zastosowanie wibrometru laserowego wymagało odpowiedniego zaplanowania pomiaru, ponieważ głowica lasera umieszczona była na statywie, stojącym bezpośrednio na drgającym stropie. Szerokość rozstawienia statywu może być neutralna dla pomiarów lub

powodować wzmacnianie mierzonych amplitud prędkości drgań. Z tego względu rozpatrzono następujące warianty konfiguracji układu pomiarowego:

1. Wibrometr ustawiony przed katedrą, nogi statywu rozstawione wąsko (głowica w położeniu wysokim), wiązka lasera skierowana w dół.
2. Statyw wibrometru rozstawiony jak w pkt. 1, lecz wiązka lasera skierowana została w górę, a pomiar drgań odbywał się w odniesieniu do nieruchomego sufitu podwieszanego.
3. Statyw wibrometru rozstawiony szeroko (mała odległość głowicy od punktu pomiarowego), laser skierowany w dół.
4. Statyw wibrometru rozstawiony szeroko i daleko od katedry (ostatni rząd krzeseł widoczny na rys. 1), laser skierowany poziomo na punkt pomiarowy.

Do pomiarów prędkości drgań w sposób bezkontaktowy zastosowano 1-punktowy wibrometr laserowy marki Polytec RSV-150. Urządzenie przeznaczone jest do bardzo czułego, zdalnego i precyzyjnego określania prędkości drgań oraz przemieszczeń. Pomiary ze znacznych odległości możliwe są dzięki sondzie laserowej. Umożliwia ona monitorowanie dynamiki budynków, pracujących maszyn i krytycznych obiektów produkcyjnych. Na urządzenie to składają się następujące elementy:

- zaawansowany czujnik laserowy z wbudowanym systemem celowania laserowego zintegrowanego z interferometrem dalekiego zasięgu,
- kompaktowy sterownik, który przekształca sygnał wyjściowy czujnika w napięcia monitorujące prędkość i przemieszczenie,
- statyw z regulacją wysokości,
- pakiet oprogramowania Vibsoft, umożliwiającego 2-kanalową akwizycję danych.

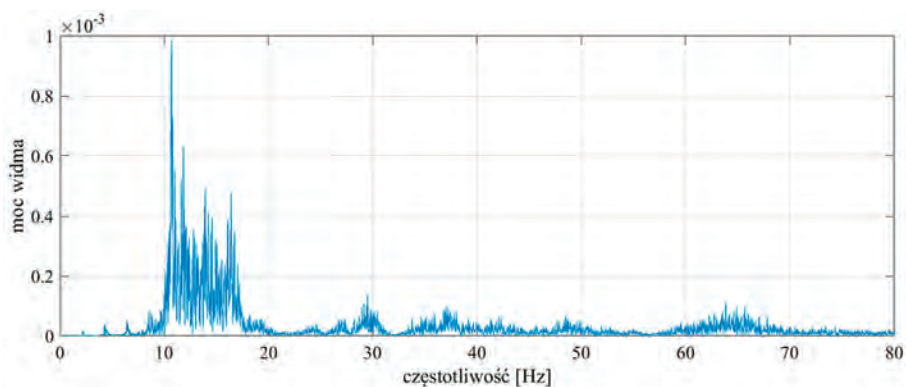
Wiązka laserowa jest skupiona na wibrującym celu, który moduluje częstotliwość lasera. Część modulowanej wiązki jest rozproszona i zbierana przez soczewkę dalekiego zasięgu. Wewnątrz czujnika znajduje się interferometr, który optycznie wyodrębnia modulację za pomocą fotodetektora przekształcającego ją w sygnał elektryczny o wysokiej częstotliwości. Następnie sterownik demoduluje sygnał FM na sygnały napięciowe, które przedstawiają prędkość obiektu lub jego przemieszczenie. Sygnały wyjściowe są udostępniane do akwizycji i analizy. Urządzenie to działa prawie na wszystkich powierzchniach, umożliwia zdalny dostęp do

odległych obszarów i jest dość łatwe w użytkowaniu (w porównaniu z systemami opierającymi się na czujnikach przyspieszeń).

W obu systemach pomiarowych ustawiono zbliżone czasy pomiaru i jednakowe częstotliwości próbkowania sygnałów, wynoszące 1024 Hz. Ponadto pomiar drgań w punkcie kontrolnym P1 odbywał się za pośrednictwem masy, mającej na celu wyeliminowanie wpływu drgań bryły sztywnej.

3. Prezentacja i analiza wyników

3.1. Sygnały przyspieszeń drgań

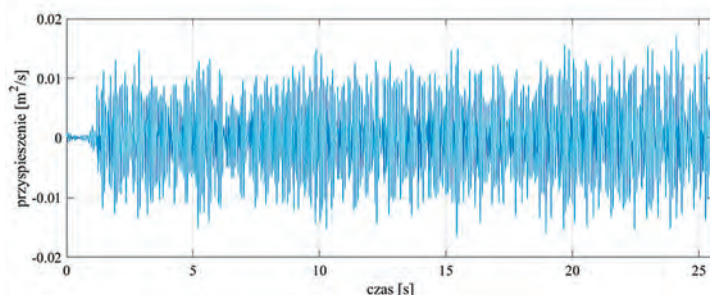


Rys. 2. Poglądowy wykres przyspieszeń drgań zarejestrowany w sposób kontaktowy.

Źródło: opracowanie własne

Przykładowy wibrogram z pomiarów drgań za pomocą czujników przyspieszeń przedstawiono na rys. 2. Każdy taki wibrogram wczytywany był do programu Matlab i podlegał określonej procedurze przetwarzania sygnałów, na którą składało się: przepuszczanie sygnału przez filtr dolnoprzepustowy o zaporowej częstotliwości 120 Hz oraz filtr w paśmie 1/3 oktawy, określonych w normie [1], wyznaczanie skutecznej amplitudy drgań mierzonych wielkości (prędkości/przyspieszeń), sporządzanie zbiorczych wykresów przedstawiających wartości poziomów odczuwalności drgań w poszczególnych pasmach częstotliwości. Dodatkowo w wybranych przypadkach z sygnałów czasowych wyznaczano widma częstotliwości drgań, korzystając z szybkiej transformacji Fouriera (funkcja programu Matlab). Celem tego było określenie składowych drgań, stanowiących

jednocześnie zestaw cech określających parametry dynamiczne badanego obiektu budowlanego (patrz rys. 3). Zauważyć można, że największe amplitudy widma częstotliwości występują w paśmie od 10 do 20 Hz, co ma swoje odzwierciedlenie także w wyznaczonych wartościach skutecznych, obliczonych w pasmach 1/3 oktawy.

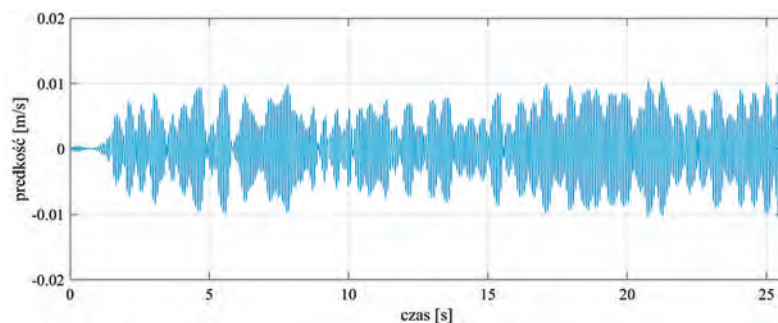


Rys. 3. Wykres widma częstotliwości

Źródło: opracowanie własne.

3.2. Sygnały prędkości drgań

Pomiary prędkości drgań zostały wykonane za pomocą wibrometru laserowego w czterech konfiguracjach, opisanych we wcześniejszym rozdziale. Na rys. 4 przedstawiono sygnał dla pierwszego schematu pomiarowego, widocznego na dołączonym zdjęciu. Wszystkie zarejestrowane przebiegi czasowe drgań podlegały podobnej procedurze przetwarzania sygnałów jak miało w przypadku sygnałów przyspieszeń.

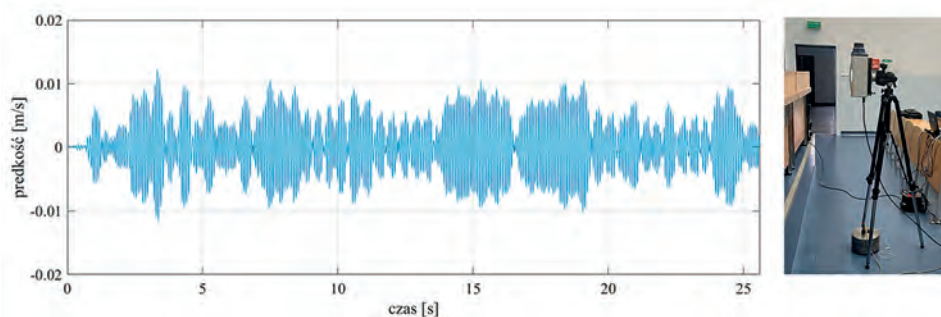


Rys. 4. Wykres prędkości drgań uzyskany dla schematu 1 (vz)

– usytuowanie głowicy lasera widoczne na zdjęciu

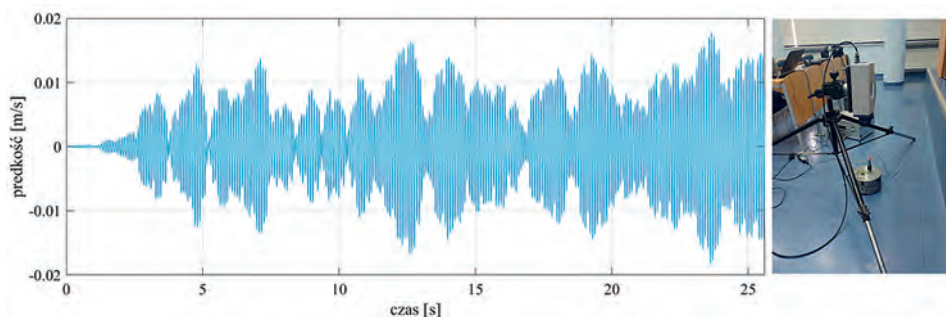
Źródło: opracowanie własne.

Kolejny wykres przedstawia prędkości drgań zarejestrowane w odniesieniu do nieruchomego sufitu podwieszanego (schemat 2, rys. 5). Można dostrzec, że charakter drgań jest nieco inny. Odnosi się to do wymuszenia (nie jest możliwe dokładne powtórzenie wymuszenia, gdyż jest ono realizowane poprzez niesynchroniczne skoki), jednak poziom amplitud prędkości drgań jest bardzo podobny (maksymalnie $\pm 0,01$ m/s). Ciekawe jest także to, że pomimo odwrócenia głowicy oraz skierowania wiązki lasera na sufit drgania przenoszą się przez statyw i są rejestrowane w odniesieniu do teoretycznie nieruchomego punktu.



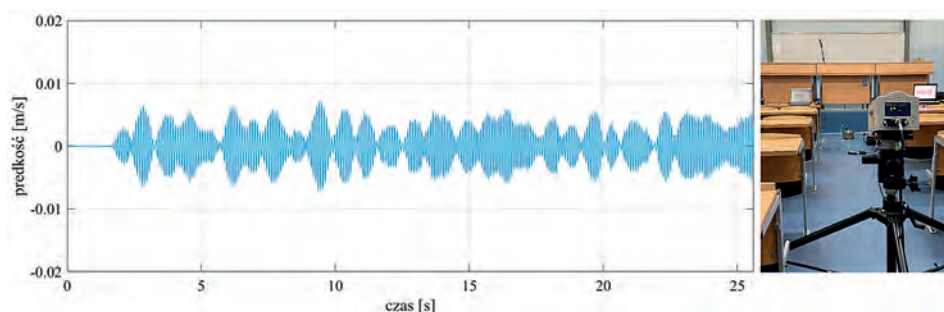
Rys. 5. Wykres prędkości drgań dla schematu 2 (vz) – usytuowanie głowicy lasera widoczne na zdjęciu
Źródło: opracowanie własne.

Kolejny sygnał czasowy prędkości drgań zarejestrowany został przy szeroko rozstawionym statywie i wiązce lasera skierowanej w dół na punkt pomiarowy P1 (schemat 3, rys. 6). W tej sytuacji można zauważyć, że amplitudy drgań są większe o ponad 50%, choć w odniesieniu do wcześniejszych pomiarów nic nie zmieniło się w sposobie wymuszenia drgań (to samo miejsce i ta sama liczba osób).



Rys. 6. Wykres prędkości drgań dla schematu 3 (vz) – usytuowanie głowicy lasera widoczne na zdjęciu
Źródło: opracowanie własne.

Ostatni z wykresów odpowiada sytuacji, gdy drgania mierzone były w kierunku poziomym (rys. 7). Amplitudy prędkości drgań są wyraźnie mniejsze niż w przypadku pomiarów w kierunku pionowym. Uzasadnieniem włączenia tego pomiaru do analizy jest to, że norma [1] przewiduje dla kierunku poziomego inne wartości graniczne, odpowiadające progowi odczuwalności.



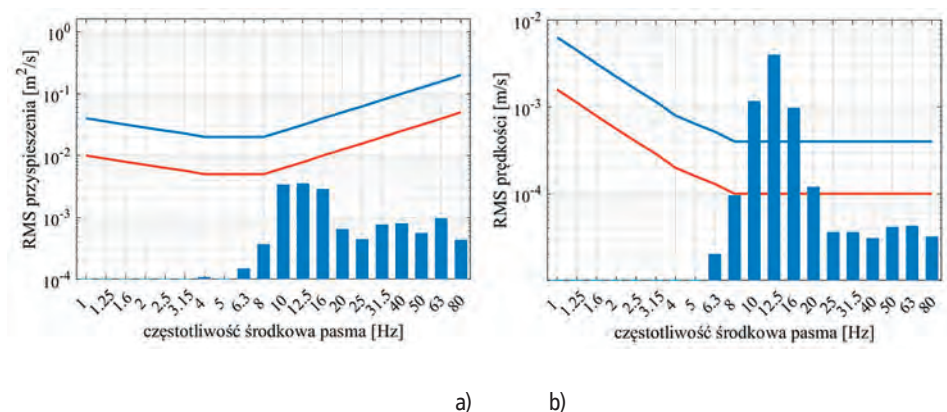
Rys. 7. Wykres prędkości drgań dla schematu 4 (vx) – usytuowanie głowicy lasera widoczne na zdjęciu

Źródło: opracowanie własne.

4. Porównanie wartości skutecznych drgań

Zgodnie z opisaną procedurą wszystkie zarejestrowane sygnały czasowe przyspieszeń i prędkości drgań zostały poddane działaniu filtra 1/3 oktawy [6], a następnie w każdym z zadanych w normie pasm częstotliwości obliczono wartości skuteczne amplitud drgań. Zestawienie wyników dla pierwszego ze schematów pomiarowych przedstawiono na rys. 8. Liniami ciągłymi zaznaczono tam dwa graniczne poziomy odczuwalności drgań określone w normie [1]. Pierwszy z nich (niższy – kolor czerwony) odnosi się do pomieszczeń wymagających wysokiego komfortu i ochrony, takich jak sale operacyjne i precyzyjne laboratoria (wartość współczynnika $n = 1$). Drugi odpowiada pomieszczeniom typu biura, urzędy i szkoły (wartość współczynnika $n = 4$), dla których drgania występują krótkotrwale o powtarzalności zdarzeń większej niż 10 w ciągu doby. Można zauważyć, że amplitudy skuteczne przyspieszeń nie przekraczają wartości dopuszczalnych, podczas gdy amplitudy prędkości drgań są wyższe niż wartości graniczne

w przypadku trzech kolejnych pasm częstotliwości, tj. 10, 12,5 oraz 16 Hz. Jest to zgodne z oczekiwaniami, gdyż pasma te pokrywają się z maksymalnymi amplitudami widma częstotliwości przedstawionego na rys. 3.



Rys. 12. Zestawienie wartości skutecznych amplitud drgań (schemat 1): a) przyspieszenia, b) prędkości

Źródło: opracowanie własne.

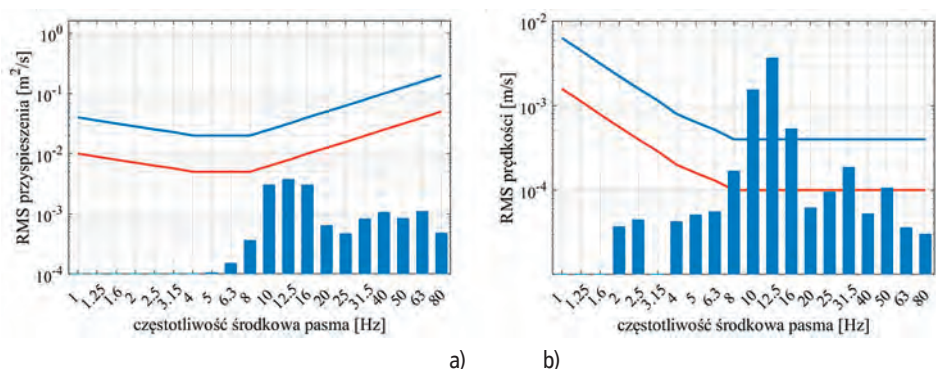
Podobną sytuację można zauważyć w przypadku pomiarów zarejestrowanych według schematu nr 2 (rys. 13). Skuteczne wartości amplitud prędkości drgań są przekroczone w tych samych pasmach i są porównywalne (sygnały czasowe miały też podobne amplitudy drgań). Natomiast poziom drgań dla wyższych pasm jest w tej sytuacji wyraźnie wyższy, a niekiedy przekracza nawet dopuszczalne normy dla krzywej granicznej o współczynniku $n = 1$.

Zestawienie wyników uzyskanych przy schemacie pomiarowym nr 3 przedstawiono na rys. 14. Uzyskane w ten sposób parametry są bardzo zbliżone do tych na schemacie pomiarowym nr 1 (por. rys. 12). Przekroczenie progu dopuszczalnych odczuwalności prędkości drgań dla współczynnika $n = 4$ dotyczy tych samych trzech kolejnych pasm częstotliwości, tj. 10, 12,5 oraz 16 Hz.

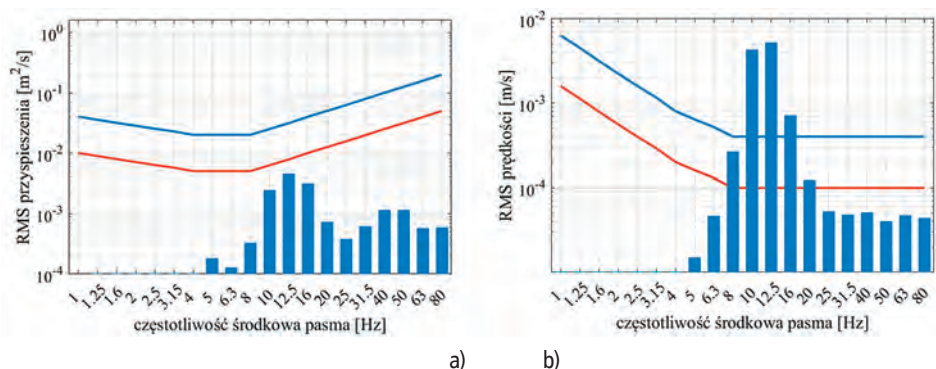
Ostatnie z zestawień dotyczy wyników pomiarów mających na celu określenie odczuwalności poziomych składowych prędkości i przyspieszeń drgań (rys. 15). Ponownie dopuszczalne wartości amplitud skutecznych przyspieszeń nie są przekroczone, natomiast amplitudy skuteczne prędkości drgań są wyższe niż dopuszczalny poziom w dwóch pasmach, tj. 10 oraz 12,5 Hz.

12. Porównawcza ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach...

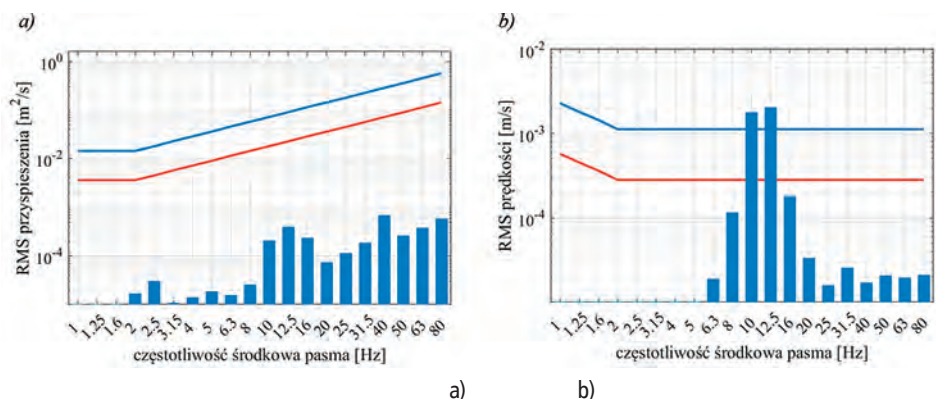
K. Olszowy, A. Wolanin, B. Kraus, P. Nazarko



Rys. 13. Zestawienie wartości skutecznych amplitud drgań (schemat 2): a) przyspieszenia, b) prędkości
Źródło: opracowanie własne.



Rys. 14. Zestawienie wartości skutecznych amplitud drgań (schemat 3): a) przyspieszenia, b) prędkości
Źródło: opracowanie własne.



Rys. 15. Zestawienie wartości skutecznych amplitud drgań (schemat 4): a) przyspieszenia, b) prędkości
Źródło: opracowanie własne.

5. Podsumowanie i wnioski

Uzyskane wyniki pomiarów przyspieszeń i prędkości prowadzą do rozbieżnej oceny wpływu drgań na ludzi w badanym pomieszczeniu. Pomiar prędkości drgań obarczony jest niepewnością z uwagi na drgania, które mogą przenosić się na statyw i głowicę wibrometru laserowego. Ponadto wykorzystany zestaw pomiarowy wykorzystuje oprogramowanie, w którym każdorazowa zmiana ustawień czułości kontrolera wymaga ręcznego wprowadzenia analogicznych zmian w ustawieniach programu. Jest to potencjalne miejsce, gdzie niewłaściwie podana czułość wpływać będzie na wartości rejestrowanych amplitud drgań (prędkości i/lub przemieszczeń). W trakcie pomiarów parametr ten sprawdzany był wielokrotnie i nie powinien być przyczyną wykazanych rozbieżności w ocenie odczuwalności oddziaływania drgań na ludzi w budynkach. Wibrometry laserowe, podobnie jak czujniki przyspieszeń i inne systemy pomiarowe, powinny być poddawane okresowym przeglądom i wzorcowaniu, aby wykluczyć ewentualne usterki układów elektronicznych, uszkodzenia mechaniczne i inne czynniki mogące przekładać się na dokładność pomiarów.

W związku z powyższym planowane jest przeprowadzenie kontrolnych pomiarów prędkości drgań z wykorzystaniem innego zestawu wykorzystującego wibrometrię laserową. Badania można także rozszerzyć o pomiary poziomu drgań głowicy lasera, np. poprzez zamocowanie na niej czujnika przyspieszeń.

Literatura

- [1] PN-B-02171:2017-06: Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach.
- [1] Kawecki J., Kowalska A., *Analysis of influence of vibrations on humans in buildings in standards approach*, "Archives of Civil Engineering" 2012, no. 58 (2), pp. 223–239.
- [2] Ebrahimpour A., Sack R., *A review of vibration serviceability criteria for floor structures*, "Computers and Structures" 2005, no. 83, pp. 2488–2494.
- [3] Kawecki J., Stypula K., *Methods of assessment for vibration impact on people in buildings*, "Proceedings of the Eleventh International Conference

- on Computational Structures Technology, Civil-Comp Press, Stirlingshire, Scotland” 2012, no. 177, pp. 1–9.
- [4] Kowalska-Koczwara A., Stypula K., *Assessment of the vibration influence on humans in buildings in the standards of different countries*, “Procedia Engineering” 2016, no. 161, pp. 970–974.
- [5] MathWorks, *Audio Toolbox Documentation*, <https://www.mathworks.com/help/audio/> [dostęp: 24.02.2023].

Grzegorz Siedlanowski

Politechnika Lubelska | Koło Naukowe Mechaniki i Grafiki Inżynierskiej

Piotr Matysiak

Politechnika Lubelska | Koło Naukowe Mechaniki i Grafiki Inżynierskiej

Grzegorz Mendak

Politechnika Lubelska | Koło Naukowe Mechaniki i Grafiki Inżynierskiej

dr inż. Ewa Zarzeka-Raczkowska

Politechnika Lubelska | Katedra Inżynierii Procesów Budowlanych

**BADANIE EFEKTYWNOŚCI
WZMACNIANIA NOŚNOŚCI BELEK Z DREWNA KLEJONEGO
PRĘTAMI KOMPOZYTOWYMI GFRP**

**STUDY OF THE EFFECTIVENESS
OF LOAD-BEARING CAPACITY REINFORCEMENT
OF GLUED LAMINATED TIMBER BEAMS
WITH GFRP COMPOSITE RODS**

S U M M A R Y

Characteristic feature is the ability to give it complex shapes. This material can be reinforced with composite elements, which increases its strength and stiffness. This article describes the results of a four-point bending test on glued laminated timber BSH GL24 beams reinforced with GFRP rods placed on the lower surface of the beams. The samples during the bending test were observed using the Aramis digital image correlation system, which allowed for the analysis of their deformations.

Key words

composite, glue laminated timber beams, aramis system

1. Wstęp

1.1. Zastosowanie drewna klejonego warstwowo

Obecnie w budownictwie drewno klejone warstwowo (ang. *glued laminated timber*) jest szeroko wykorzystywane. Cieszy się ono wysokim uznaniem wśród architektów, którzy chętnie je stosują ze względu na estetykę i możliwość swobodnego kreowania formy. Belki z drewna klejonego cechują się znaczną wytrzymałością pozwalającą osiągać rozpiętości niedostępne dla innych materiałów przy zachowaniu interesującego kształtu elementów konstrukcyjnych.

Wykorzystanie drewna klejonego warstwowo pozwala uzyskać niebanalne formy, co widzimy na przykładach pawilonów Chile i Francji na Expo 2015 w Mediolanie (rys. 1–2) [1].



Rys. 1. Pawilon Chile, Expo 2015 w Mediolanie

Źródło: M. Golański, Zastosowanie drewna klejonego w konstrukcji na przykładach pawilonów narodowych Chile i Francji na wystawie światowej Expo 2015 w Mediolanie, „Architecturae et Artibus” 2017, nr 2.



Rys. 2. Pawilon Francji, Expo 2015 w Mediolanie

Źródło: M. Golański, Zastosowanie drewna klejonego w konstrukcji na przykładach pawilonów narodowych Chile i Francji na wystawie światowej Expo 2015 w Mediolanie.

Poszukiwania nowoczesnych rozwiązań i form dla budownictwa z wykorzystaniem konstrukcji drewnianych skierowały się ostatnio w stronę możliwości zwiększania wytrzymałości drewna klejonego warstwowo za pomocą innych materiałów z jednoczesnym pozostawieniem jego naturalnych walorów. Obiecujące okazało się wzmacnianie drewna elementami kompozytowymi (pręty, taśmy, maty). Interesujące prace przedstawili m.in. H. Johnsson i in., którzy stosowali pręty CRFP [2], K. Andor i in., którzy przyklejali maty CFRP do dźwigara [3] czy B. Kawecki, który oprócz badań belek wzmocnionymi taśmami CFRP wykonał symulacje komputerowe [4].

Problematyka zwiększania nośności belek z drewna klejonego jest obecna zarówno w krajowej, jak i światowej literaturze. W Polsce badania podobne do opisanych w niniejszym opracowaniu przeprowadzano na Politechnice Częstochowskiej i Politechnice Kieleckiej. Zagraniczna literatura dotycząca zagadnienia wzmacniania belek pochodzi głównie z uniwersytetów w USA i Chinach, ale również z krajów europejskich, np. Portugalii. Sprawdzenie wytrzymałości na ścinanie wysokich belek dwuteowych z drewna klejonego sprawdzali w 4-punktowym zginaniu m.in. S. Aicher i D. Ohnesorge [5].

2. Przegląd literatury

2.1. Badanie współpracy prętów GFRP i drewna niskiej klasy związanych żywicą epoksydową

Na Uniwersytecie w Minho w Portugalii przeprowadzono badanie typu *pull-off* oraz badanie ścinania w celu oceny współpracy między prętami GFRP a drewnem niskiej klasy związanych trzema rodzajami żywicy epoksydowej. Przygotowano 180 próbek do ścinania oraz 72 próbki do badań *pull-off*. Badania przeprowadzano w warunkach suchych oraz po starzeniu w wodzie o podwyższonej temperaturze – wykazały niewielki wpływ podwyższonej temperatury na pracę żywicy. Uzyskano różne obrazy zniszczeń dla próbek suchych i po procesie starzenia. Średnia wytrzymałość na ścinanie próbek typu drewno-drewno wyniosła od 5,34 do 8,49 MPa. Wartości wytrzymałości na ścinanie różniły się pomiędzy próbkami suchymi a poddanymi procesowi starzenia od 5,16% do 13,18%. W badaniach *pull off* uzyskano wytrzymałość na ścinanie od 1,72 do 2,69 MPa. Parametry wytrzymałości na ścinanie różniły się pomiędzy próbkami suchymi a poddanymi procesowi starzenia odpowiednio o 4,14% i 36,53% [6].

2.2. Badania belek z drewna klejonego warstwowo wzmocnionych prętami bazalto-wo-epoksydowymi

W badaniu na Politechnice Częstochowskiej sprawdzano efektywność drewna klejonego warstwowo wzmocnionego prętami bazalto-wo-epoksydowymi. Belki miały przekrój 7×16 cm. Zastosowano zbrojenie w postaci prętów o średnicach 7 mm oraz 9 mm odpowiednio w strefie ściskanej i rozciąganej. Najlepszą pracę statyczną uzyskano dla próbek ze zbrojeniem $2 \varnothing 9$ w strefie ściskanej i $3 \varnothing 7$ w strefie rozciąganej, osiągając średnią nośność 66,98 kN przy średnim ugięciu 13,10 mm. Istotnym wnioskiem z opisywanego badania jest fakt, że wartości sił niszczących nie są proporcjonalne do procentu zbrojenia [7].

2.3. Badania belek z drewna klejonego warstwowo wzmacnianych taśmami CFRP

Współpraca amerykańskich i tureckich naukowców w badaniach nad wzmacnianiem belek typu glulam (ang. *glued laminated timber*) taśmami CFRP zaowocowała obszernym opracowaniem. W badaniu skupiono się na wpływie nagłego dynamicznego obciążenia pracy belek. Zastosowano innowacyjną metodę kotwienia taśm CFRP, co miało na celu opóźnienie rozwarstwienia się wiązania pomiędzy taśmą a drewnem. W programie eksperymentalnym badano takie zmienne, jak liczba laminatów użytych do produkcji belek klejonych z drewna klejonego, liczba pasków CFRP umieszczonych na belkach w celu wzmocnienia oraz obecność lub brak kotew typu wachlarzowego z CFRP na końcach pasków.

Badania wykazały, że wzmacnianie belek klejonych warstwowo za pomocą taśm CFRP jest efektywną metodą zwiększania nośności belek w warunkach nagłego, dynamicznego obciążenia. W porównaniu z próbkami referencyjnymi wartość przyspieszenia obciążenia niszczącego próbkę wzrosła o 251% i 121% odpowiednio dla próbek z zakotwiczeniem i bez niego w pięciu warstwach laminatu [8].

3. Procedura badawcza

3.1. Założenia przeprowadzonego badania – dyskusja

Podczas przygotowywania badania poddano pod dyskusję, w jaki sposób elementy drewniane powinny być wzmacniane oraz jakie materiały należy wykorzystać. Założono, że sposób wzmacniania powinien jak najmniej ingerować w naturalny wygląd elementów, aby zachować estetykę i atrakcyjną formę odkrytych konstrukcji. Dlatego z rozważań wyeliminowano wszelkiego rodzaju wzmacnianie taśmami.

Kolejnym ważnym założeniem była możliwość wykonania wzmocnienia w gotowych elementach z drewna klejonego warstwowo, co miało na celu obniżenie kosztów oraz wykorzystanie już istniejących linii produkcyjnych bez konieczności ich drogiego dostosowywania. Z tego powodu wzmacnianie elementów podczas ich wykonywania, czyli wklejanie taśm lub prętów pomiędzy ostatnią a przedostatnią lamelę, zostało odrzucone.

Zdecydowano się na wykonanie wzmocnienia w postaci prętów wklejanych w pasie przekroju pracującym na rozciąganie. Umożliwia to, przy zachowaniu odpowiednich warunków, zastosowanie wzmocnienia nawet na placu budowy.

Jako materiał do wykonania wzmocnienia rozważano pręty CFRP (ang. *Carbon Fiber Reinforced Polymer*, tworzywo sztuczne wzmocnione włóknem węglowym) oraz pręty GFRP (ang. *Glass Fiber Reinforced Polymer*, tworzywo sztuczne wzmocnione włóknem szklanym). Ze względu na znaczną cenę prętów CFRP odrzucono ten materiał, uznawszy jego zastosowanie za ekonomicznie nieuzasadnione.

Do zapewnienia współpracy prętów oraz drewna wykorzystano żywicę epoksydową.

Próbki – belki drewniane – podczas zamawiania nie były selekcjonowane, aby w jak największym stopniu zasymulować warunki rzeczywistej pracy materiału. Miało to również na celu określenie zagrożeń, jakie płyną ze stosowania materiału anizotropowego.

3.2. Materiały

3.2.1. Belki z drewna klejonego warstwowo BSH

Charakterystyka materiałowa belek z drewna klejonego warstwowo BSH przedstawia się następująco:

- wymiar belek: $120 \times 120 \times 2000$ mm,
- parametry lameli:
 - drewniane lamele o grubości 40 mm,
 - drewno świerkowe suszone komorowo,
 - czterostronnie strugane oraz fazowane,
 - łączone na mikrowczepy,
- klasa wytrzymałości GL 24 według PN-EN 14080:2013-07 [9].
- wilgotność $6,0 \div 9,0\%$
- gęstość objętościowa ok. 450 kg/m^3

Część parametrów możliwych do zbadania metodami nieniszczącymi została określona w laboratorium budownictwa na Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej, natomiast parametry wyznaczone metodami niszczącymi zostały przyjęte na podstawie deklaracji producenta.

3.2.2. Pręty GFRP

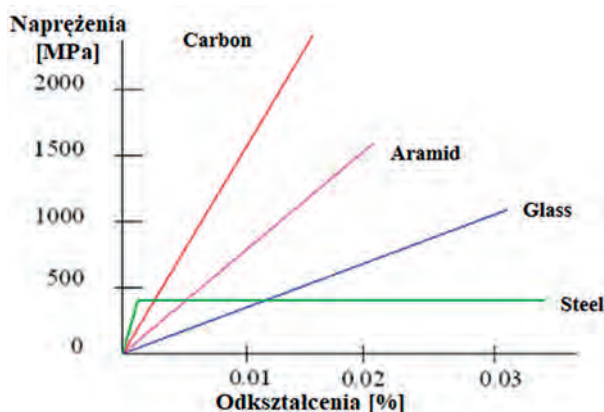
Zdecydowano się na zastosowanie prętów GFRP ze względu na ich właściwości i niską cenę w stosunku do oferowanej wytrzymałości. Włókna szklane wzmacniane polimerami cechuje ogromna wytrzymałość na rozciąganie oraz niska waga. W tabeli 1 zestawiono ze sobą wady oraz zalety prętów GFRP.

Tabela 1. Wady i zalety prętów GFRP

Zalety zbrojenia GFRP	Wady zbrojenia GFRP
wysoka wytrzymałość na rozciąganie	brak uplastycznienia przed kruchym zerwaniem
odporność korozyjna	niska odporność na alkalia
niski ciężar własny	niski moduł sprężystości
bardzo niska przewodność cieplna i elektryczna	niska wytrzymałość na obciążenia długotrwałe i wielokrotnie zmienne
łatwość cięcia	brak możliwości spawania i gięcia prętów na placu budowy
cena porównywalna z ceną stali	niska odporność na wysokie temperatury
	niska wytrzymałość na ściskanie w porównaniu z wytrzymałością na rozciąganie

Źródło: A. Rduch, Ł. Rduch, R. Walentyński, Właściwości i zastosowania kompozytowych prętów zbrojeniowych, „Przegląd Budowlany” 2017, nr 11, ss. 43–46.

Porównanie zależności naprężenie–odkształcenie dla prętów z różnymi matrycami oraz dla stali przedstawia rys. 3.



Rys. 3. Wykres zależności naprężeń od odkształceń dla prętów kompozytowych oraz stali

Źródło: R. Fico, Limit states design of concrete structures reinforced with FRP bars, PH.D. Thesis, 2008, www.fedoa.unina.it.

Charakterystyka materiałowa prętów GFRP przedstawia się następująco:

- pręty kompozytowe z włókna szklanego z polimerową osnową,
- średnica 10 mm,
- maksymalna wartość siły rozciągającej dla prętów o przyjętej średnicy – 63,72 kN (wytrzymałość ok. 810 MPa),
- kręgi po 50 mb,
- moduł sprężystości podłużnej – 55 MPa.

3.2.3. Żywica epoksydowa z utwardzaczem

Zdecydowano się na zastosowanie żywicy epoksydowej niskocząsteczkowej o małej lepkości. **Jej charakterystyka materiałowa jest następująca:**

- zastosowany utwardzacz: utwardzacz IDA (modyfikowany addukt poliaininy cykloalifatycznej),
- niskocząsteczkowa żywica epoksydowa Epidian® 6011,
- gęstość w 25°C – ok. 1,10 g/cm³,
- czas żelowania w temperaturze pokojowej – 50 min,
- kompozycja – na 100 części wagowych żywicy Epidian® 6011 dodawano 50 części wagowych utwardzacza IDA,
- lepkość w 25°C, mPAS – 200 ÷ 400 [10].
liczba epoksydowa, mol/100g – 0,470 ÷ 0,510 [10].

Niskocząsteczkowość żywicy umożliwiła odpowiednią penetrację materiału drzewnego podczas gruntowania w celu zapewnienia właściwej współpracy elementów. Niska lepkość pozwoliła uniknąć powstawania pęcherzyków powietrza osłabiających połączenie.

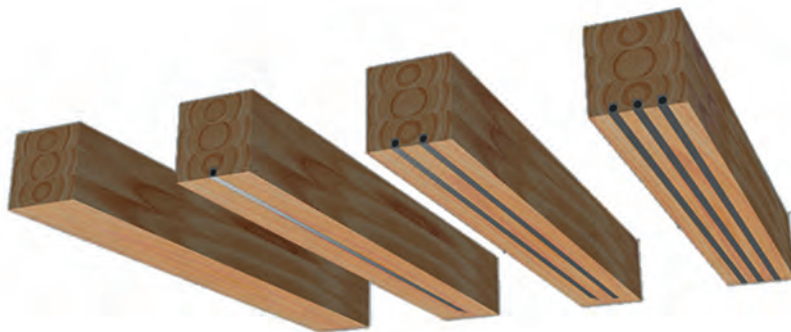
3.3. Przygotowanie próbek do badań laboratoryjnych

3.3.1. Założenia

Badane belki zróżnicowano pod względem stopnia zbrojenia. Podzielono je na cztery serie: A, B, C, D, po trzy sztuki w każdej z nich:

- seria A: belki referencyjne, niewzmaniane,
- seria B: belki wzmocnione jednym prętem GFRP,
- seria C: belki wzmocnione drugim prętem GFRP.
- seria D: belki wzmocnione trzecim prętem GFRP (rys. 4).

Chciano w ten sposób uzyskać informacje na temat korelacji pomiędzy nośnością elementów a zastosowanym stopniem zbrojenia.



Rys. 4. Modele próbek przygotowanych do badania, odpowiednio od lewej: seria A (bez prętów), seria B (jeden pręt), seria C (dwa pręty), seria D (trzy pręty)

Źródło: opracowanie własne.

Zdecydowano się na rozmieszczenie prętów równomiernie na całym przekroju belki tak, aby zmaksymalizować powierzchnię kontaktu oraz równomiernie wzmocnić przekrój belki. Założono również prostopadłą do kierunku obciążania orientację lameli w belkach, pomimo wyraźnie słabszej nośności elementu w tym kierunku. Belki o wyższych przekrojach oraz nieregularnych kształtach są konstruowane w orientacji lameli prostopadłej do kierunku pracy. Dlatego uznano inne ustawienie belek za bezzasadne, niemożliwe do zastosowania w praktyce.

3.3.2. Wykonanie frezowania w belkach

Z dostarczonej partii wybrano belki referencyjne oraz te podlegające wzmocnieniu, na których naniesiono szkic przebiegu prętów. Następnie za pomocą frezarki z frezem walcowym wykonano bruzdy o głębokości 15 mm, szerokości 12 mm i długości ok. 1950 mm (rys. 5). Bruzdy wykonywano w min. trzech przejazdach po koło 5 mm tak, aby zapobiec zwiększonemu tarcia, którego efektem jest „przypalenie drewna”. Niszczy ono strukturę drewna oraz zaburza adhezję żywicy i drewna, co jest zjawiskiem niekorzystnym.



Rys. 5. Bruzdy wykonane w belkach serii B (jeden pręt)

Źródło: opracowanie własne.

3.3.3. Gruntowanie powierzchni kontaktu drewna z żywicą

Ze względu na dużą chłonność żywicy przez drewno podjęto decyzję o wykonaniu gruntowania wstępnego żywicą zmieszaną w takich samych proporcjach z utwardzaczem, jak ta zastosowana później do wypełnienia. Jej celem było wyrównanie chłonności podłoża. Pędzlami nanoszono cienką warstwę żywicy, którą pozostawiono do utwardzenia na 24 godziny (rys. 6).



Rys. 6. Aplikacja warstwy gruntującej żywicy w brzdach za pomocą pędzli

Źródło: opracowanie własne.

3.3.4. Wklejanie prętów GFRP

Po upływie 24 godzin od zakończenia gruntowania przystąpiono do wklejania prętów GFRP w przygotowane bruzdy. Zdecydowano się na zastosowanie metody „zatapiania”, która polega na częściowym, równomiernym wypełnieniu bruzd żywicą, w które wtapia się przygotowane pręty. Brakującą ilość żywicy uzupełnia się do poziomu lica belki. Metoda ta zapobiega powstawaniu pęcherzy powietrza pod prętami lub w okół nich, co ma znaczący wpływ na poziom współpracy poszczególnych materiałów. Po wykonaniu tego zabiegu belki pozostawiono do pełnego utwardzenia żywicy (rys. 7).



Rys. 7. Belki z wklejonymi prętami GFRP

Źródło: opracowanie własne.

3.3.5. Przygotowanie próbek do badania przemieszczeń systemem ARAMIS

Zastosowanie metody optycznego badania odkształceń systemem ARAMIS wymagało wykonania na badanych próbkach odpowiedniego desenu. Zdecydowano się na śledzenie przemieszczeń górnej i bocznej płaszczyzny. Po utwardzeniu żywicy naniesiono na badanych powierzchniach co najmniej dwie warstwy białej matowej farby, stanowiącej bazę kontrastującą dla wzoru. Po wyschnięciu białego podkładu specjalnymi wałkami został naniesiony deseń umożliwiający systemowi ARAMIS śledzenie odkształceń i przemieszczeń [11].

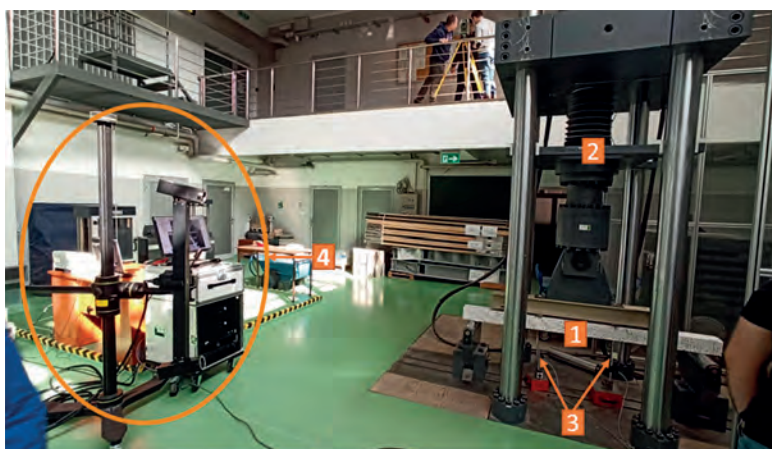


Rys. 8. Belka przygotowana do badania systemem ARAMIS z naniesionym wzorem

Źródło: opracowanie własne.

3.4. Opis badań eksperymentalnych

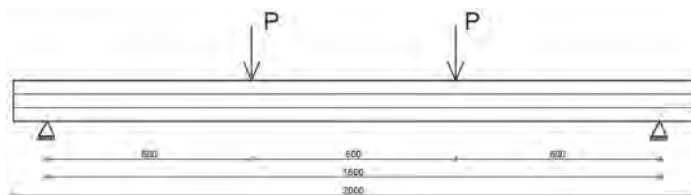
Badaniom podano 12 próbek. Podzielono je na cztery serie, którym nadano nazwy A, B, C oraz D, odpowiadające kolejno wariantom: bez zbrojenia (próbki referencyjne), zbrojenie jednym, dwoma oraz trzema prętami. Próbki starannie opisano. W przypadku każdej z nich przeprowadzono badanie wilgotności za pomocą cyfrowego miernika. Przygotowano stanowisko badawcze, w którego skład wchodziły: badana belka (0 nr 1), maszyna wytrzymałościowa marki Zwick/Roell Z3000H (0 nr 2), czujniki LVDT (0 nr 3) oraz aparatura systemu ARAMIS (0 nr 4).



Rys. 9. Stanowisko badawcze

Źródło: opracowanie własne.

Badane belki poddano próbie 4-punktowego zginania. Ich rozpiętość w świetle podpór wynosiła 1800 mm, siły P przykładano symetrycznie względem środka belki w odległości 600 mm od podpór (rys. 10).



Rys. 10. Schemat statyczny 4-punktowego zginania badanych belek

Źródło: opracowanie własne.

Po umieszczeniu belki na podporach maszyny wytrzymałościowej w miejscach przyłożenia sił umieszczono stalowe podkładki półwalcowe zapewniające punktowe działanie sił. Prędkość nacisku tłoka maszyny wytrzymałościowej wynosiła 2 mm/min. Podczas badania rejestrowana była wartość siły obciążającej i niszczącej. Do analizy przemieszczeń wykorzystano system ARAMIS, który rozpoczął obserwację w chwili uzyskania siły równej 200 N. Ustawiono ekrany zaciniające w celu uzyskania równomiernego w czasie oświetlenia belki, co jest niezbędne do przeprowadzenia prawidłowej obserwacji cyfrowej korelacji obrazu (rys. 11).

Po zniszczeniu próbki wykonano zdjęcia dokumentujące przebieg pęknięć oraz inne istotne cechy obrazu zniszczeń (rys. 28–30).



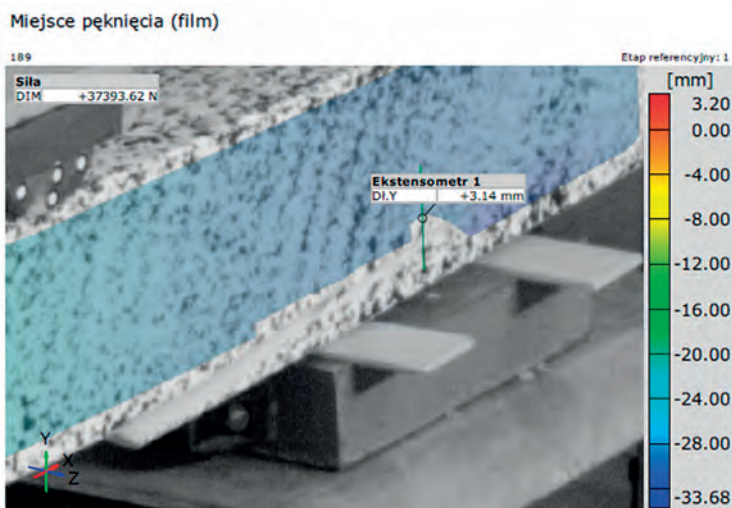
Rys. 11. Ekran zaciniający

Źródło: opracowanie własne.

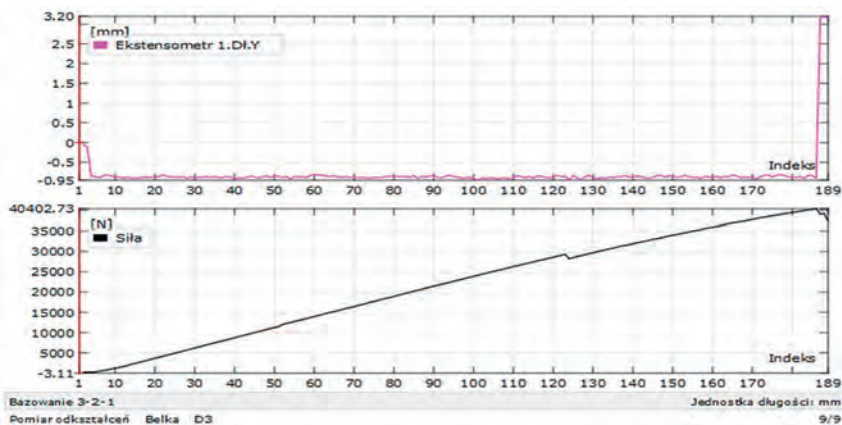
4. Wyniki

4.1. Wyniki uzyskane z systemu ARAMIS [10]

Przykładowe wyniki badań z systemu ARAMIS, które podlegały analizie, przedstawiono na rys. 12 oraz 13.



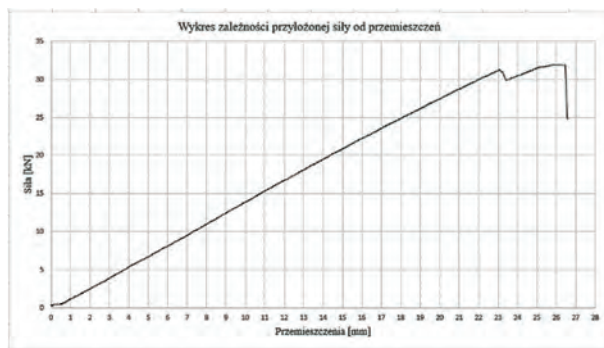
Rys. 12. Klatka nagrania ze zniszczeniem próbki, odczytane maksymalne przemieszczenie



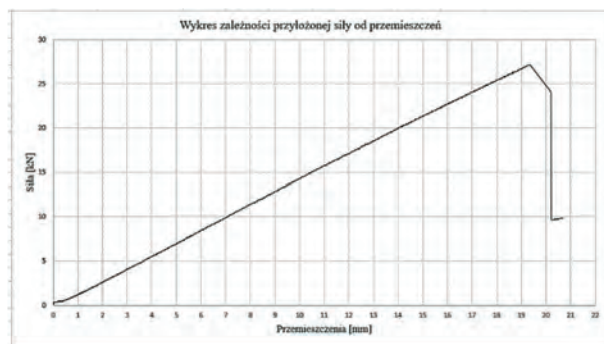
Rys. 13. Wykresy z systemu ARAMIS (górny wykres przemieszczenie–czas, dolny wykres siła–czas)

4.2. Wykresy zależności siły od odkształceń dla badanych belek

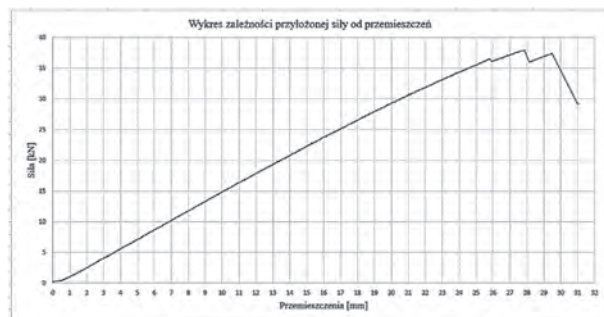
Belki serii A



Rys. 14. Wykres siła–odkształcenia dla belki serii A nr 1

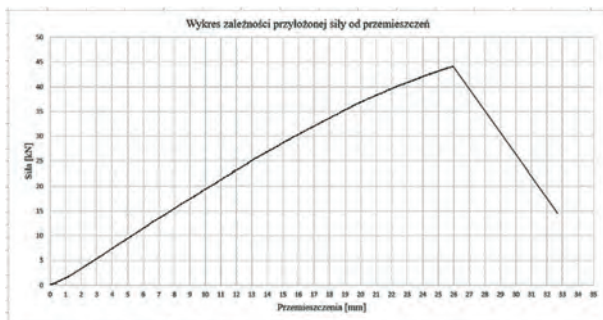


Rys. 15. Wykres siła–odkształcenia dla belki serii A nr 2



Rys. 16. Wykres siła–odkształcenia dla belki serii A nr 3

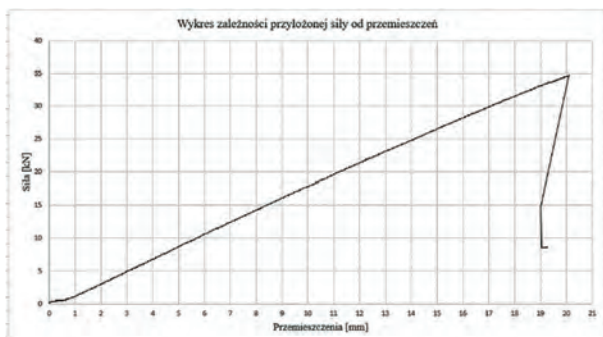
Belki serii B



Rys. 17. Wykres siła–odkształcenia dla belki serii B nr 1

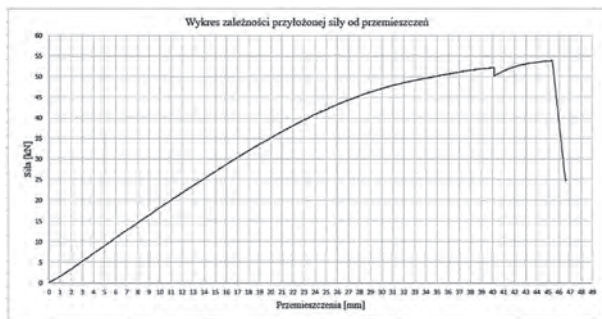


Rys. 18. Wykres siła–odkształcenia dla belki serii B nr 2

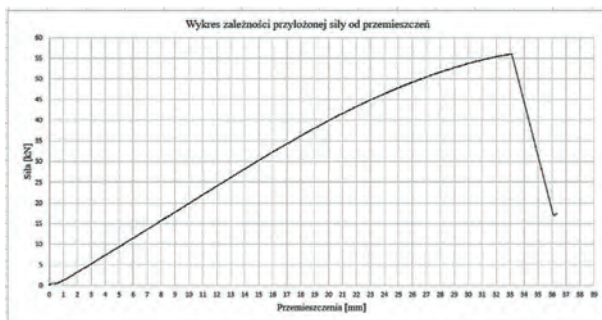


Rys. 19. Wykres siła–odkształcenia dla belki serii B nr 3

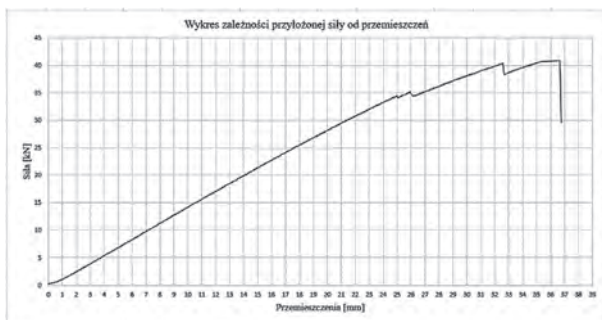
Belki serii C



Rys. 20. Wykres siła–odkształcenia dla belki serii C nr 1

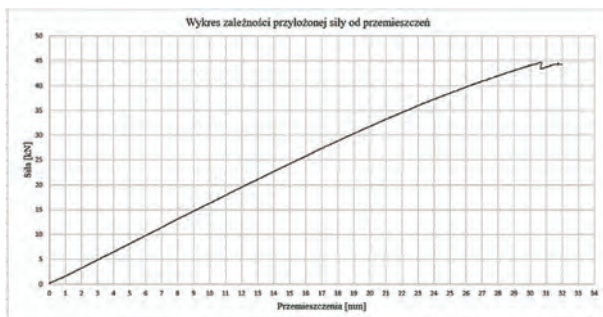


Rys. 21. Wykres siła–odkształcenia dla belki serii C nr 2



Rys. 22. Wykres siła–odkształcenia dla belki serii C nr 3

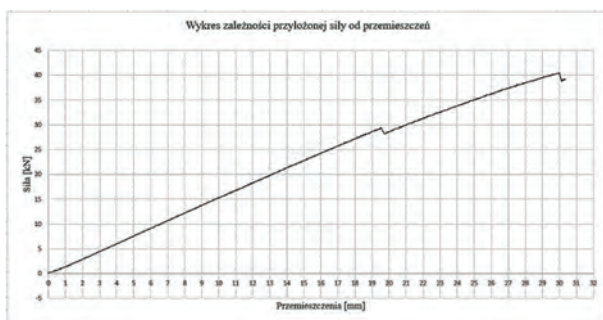
Belki serii D



Rys. 23. Wykres siła–odkształcenia dla belki serii D nr 1



Rys. 24. Wykres siła–odkształcenia dla belki serii D nr 2



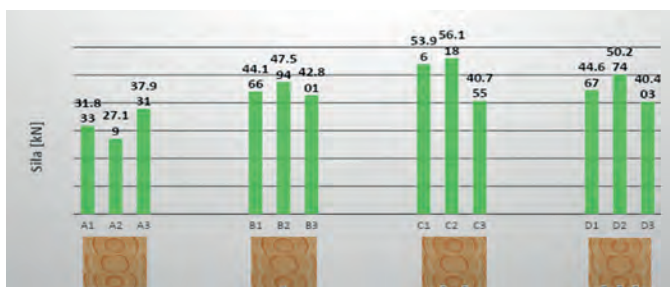
Rys. 25. Wykres siła–odkształcenia dla belki serii D nr 3

4.3. Zestawienie wyników uzyskanych z badania

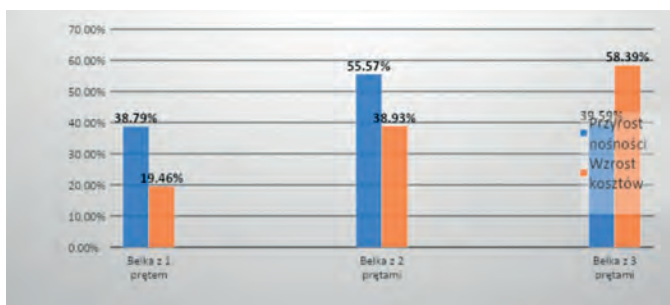
Tabela 2. Zestawienie maksymalnych zarejestrowanych sił i odkształceń dla poszczególnych belek

Seria	Próbka	Zbrojenie	Siła niszcząca [N]	Średnia siła niszcząca [N]	Maksymalne przemieszczenie [mm]	Średnie ugięcie przy zniszczeniu [mm]
A	A1	brak (seria referencyjna)	31 833,34	32 318,14	26,77	26,70
	A2		27 189,89		22,18	
	A3		37 931,19		31,16	
B	B1	1 Φ 10	44 166,13	44 853,70	32,85	34,77
	B2	1 Φ 10	47 593,97		31,23	
	B3	1 Φ 10	42 801,01		40,24	
C	C1	2 Φ 10	53 960,12	50 277,90	46,73	39,70
	C2	2 Φ 10	56 118,38		35,9	
	C3	2 Φ 10	40 755,20		36,46	
D	D1	3 Φ 10	44 666,70	45 114,43	32,07	36,30
	D2	3 Φ 10	50 273,87		46,47	
	D3	3 Φ 10	40 402,73		30,36	

4.4. Porównanie serii badanych belek



Rys. 26. Porównanie wyników badań z poszczególnych serii



Rys. 27. Zestawienie wzrostu nośności belek oraz kosztów

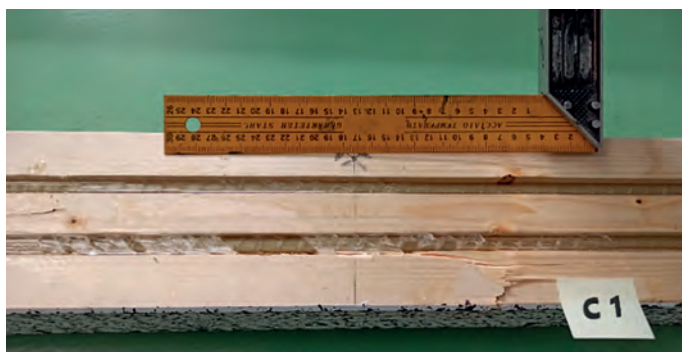
4.5. Obrazy zniszczeń



Rys. 28. Obraz zniszczeń rozpoczynający się od mikrowczepu, belka serii A nr 1



Rys. 29. Obraz zniszczeń rozpoczynający się od mikrowczepu, belka serii D nr 3



Rys. 30. Obraz zniszczeń, belka serii C nr 1

5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów stwierdzono, że wzmacnianie belek z drewna klejonego warstwowo BSH za pomocą prętów kompozytowych GFRP jest efektywne. W badaniu uzyskano znaczący wzrost wytrzymałości materiału bazowego belek (od 38,79% do 55,57%).

Największy przyrost nośności odnotowano dla belek wzmacnianych dwoma prętami GFRP – aż 55,57%. Pod względem wytrzymałości i ekonomiki kosztów (wzrost ceny o 38,93%) jest to najefektywniejszy model.

Wyniki uzyskane dla belek wzmacnianych trzema prętami wykazały, że nadmierne osłabienie przekroju bruzdowaniem pod pręty przynosi efekt odwrotny do zamierzonego. Belki wzmocnione trzema prętami wykazały zwiększenie nośności na poziomie tych z jednym prętem (39,59%). Świadczy to o zbyt dużej ingerencji w przekrój, który nie jest w stanie bezpiecznie współpracować z elementami prętowymi GFRP.

Natomiast pod względem ekonomicznym najkorzystniejszy okazał się przypadek z jednym prętem, ponieważ uzyskano prawie dwukrotnie większy wzrost nośności (38,79%) w stosunku do poniesionych kosztów (19,46%). Materiały kompozytowe wciąż należą do drogich elementów.

Istotnym zagadnieniem wpływającym na wytrzymałość badanych belek był sam proces dodawania wzmocnień. Starannie wykonane bruzdy, bez efektu „przypalonego drewna”, i dobrze zaimpregnowane pręty, zatapiane stopniowo w żywicy o małej lepkości, pozwalają uniknąć pęcherzyków powietrza, które wpływają na osłabienie połączenia.

Należy również oddzielnie omówić sam materiał, jakim jest drewno. Podczas badań wykazano, że w większości badanych belek inicjacja zniszczenia następowała w najsłabszych miejscach struktury drewna – w miejscach mikrowczepów i sęków. Zwraca to uwagę na trudność efektywnego wzmacniania belek drewnianych. Anizotropowość materiału drzewnego znacząco utrudnia proces badawczy, jednakże zaproponowana przez autorów metoda wzmocnienia drewna klejonego prętami GFRP pomimo tych problemów wykazała istotny wzrost nośności badanych elementów.

Literatura

- [1] Golański M., *Zastosowanie drewna klejonego w konstrukcji na przykładach pawilonów narodowych Chile i Francji na wystawie światowej Expo 2015 w Mediolanie*, „Architecturae et Artibus” 2017, nr 2.
- [2] Johnsson H., Blanksvärd T., Carolin A., *Glulam members strengthened by carbon fibre reinforcement*, “Materials and Structures” 2007, vol. 40, pp. 47–56.
- [3] Andor K., Lengyel A., Polgár R., Fodor T., Karácsonyi Z., *Experimental and statistical analysis of spruce timber beams reinforced with CFRP fabric*, “Construction and Building Materials” 2015, vol. 99, pp. 200–207.
- [4] Kawecki B., *Dobór parametrów modeli obliczeniowych pełnych dźwigarów z kompozytów drewno-polimerowych zbrojonych włóknami*, Lublin 2021.
- [5] Aicher S., Ohnesorge D., *Shear strength of glued laminated timber made from European beech timber*, “European Journal of Wood and Wood Products” 2011, vol. 69, pp. 143–154.
- [6] Basterra L. A., Balmori J. A., Branco J. M., *Behaviour of the adhesive bond between low-grade wood*, Minho 2021, Asdsada.
- [7] Rajczyk M., Jończyk D., *Badania belek z drewna klejonego warstwowo wzmocnionych prętami bazaltowo-epoksydowymi*, Częstochowa 2018.
- [8] Karagöz İşleyen Ü., Ghoroubi R., Mercimek Ö., Anıl Ö., Tuğrul Erdem R., *Investigation of impact behavior of glulam beam strengthened with CFRP*, “Structures” 2023.
- [9] PN-EN 14080:2013-07, Konstrukcje drewniane. Drewno klejone warstwowo i konstrukcyjne sklezione drewno lite. Wymagania.
- [10] Sarzyna Chemical, Arkusz techniczny, EPIDIAN 6011, <https://sarzynachemical.pl>.
- [11] <https://lenso.com.pl/oferta/systemy-pomiarowe>.

Damian Orzechowski

Politechnika Białostocka | Koło Naukowe IO

Alan Kondrusik

Politechnika Białostocka | Koło Naukowe IO

Łukasz Masajło

Politechnika Białostocka | Koło Naukowe IO

dr inż. Agnieszka Choroszucho

Politechnika Białostocka | Katedra Elektrotechniki, Energoelektroniki i Elektroenergetyki

ROWER ELEKTRYCZNY Z MOŻLIWOŚCIĄ SZYBKIEGO ŁADOWANIA NA PUBLICZNYCH STACJACH ŁADOWANIA

ELECTRIC BICYCLE WITH FAST-CHARGING CAPABILITY AT PUBLIC CHARGING STATIONS

S U M M A R Y

The article presents an electric bicycle with the possibility of quick charging. The bike is adapted to ride both on public and off-road roads. The main assumption was to solve one of the biggest problems related to charging electric two-wheelers. According to the assumptions of the project, the innovative electric bike is prepared for fast battery charging thanks to the installation of a special on-board charger and TYPE 2 connector, which, according to the IEC 62196 standard, is used on a large scale at public charging stations (e.g. GeenWay, Orlen Charge). Charging the battery from zero to full will take less than 2 hours, which will allow you to drive another 150 km.

Key words

renewable energy sources, energy efficiency, electric vehicles, charging

1. Wstęp

Rozwój elektromobilności ma ogromne znaczenie. Nie tylko dla środowiska, ale także dla przemysłu, gospodarki i różnych branż, nawet motoryzacji. Elektromobilność, e-mobilność, *e-mobility* to zagadnienia związane z szeroko pojętą elektryfikacją pojazdów. Dotyczą samochodów, rowerów, motocykli, autobusów czy środków transportu osobistego, takich jak hulajnogi lub deskorolki. Elektromobilność powinna być traktowana jako całość. To nie tylko końcowy produkt, ale cały proces technologiczny i produkcyjny, opracowywanie i budowa infrastruktury, zakup i użytkowanie takich pojazdów, a także kwestie prawne z tym związane. Elektromobilność to nie tylko środki transportu zasilane energią elektryczną, lecz także związana z nimi infrastruktura. W Polsce powstaje coraz więcej punktów ładowania pojazdów elektrycznych. Od lipca 2021 roku zaczyna się nabór wniosków o dopłaty do domowych instalacji fotowoltaicznych [1].

Rower elektryczny zyskuje coraz większą popularność. Wielu osobom taki *e-bike* może zastąpić nawet samochód, a koszty jego utrzymania są niemal zerowe, ponieważ rower elektrycznego nie trzeba tankować ani nawet ubezpieczać. Z pewnością łatwiej i szybciej można dojechać nim np. do pracy, bez stania w korkach i męczenia się tak jak na zwykłym rowerze. Dla wielu osób taki zakup będzie sposobem na utrzymanie aktywności fizycznej. Elektryki są też ekologiczne.

Elektromobilność to bardzo szerokie pojęcie. To zarówno pionierskie rozwiązania w motoryzacji, np. większe akumulatory, jak i hulajnogi, kodeks drogowy oraz rządowe dotacje do fotowoltaiki.

2. Rowery elektryczne

Wybór najlepszego roweru wyposażonego w silnik (rys. 1) należy rozpocząć od ustalenia, w jaki sposób planujemy z niego korzystać, czy jako rower miejski, czy może górski (MTB).



Rys. 1. Rower elektryczny

Źródło: opracowanie własne.

Bardzo istotną kwestią dla każdego użytkownika roweru elektrycznego jest zamocowanie silnika. W najdroższych i najlepszych rowerach znajduje się on na środku, co zapewnia odpowiednie wyważenie pojazdu. W tych bardziej budżetowych modelach silnik montowany jest z przodu lub z tyłu, przy czym za bardziej komfortową i bezpieczniejszą opcję traktowany jest montaż przy tylnym kole. Bateria to także ważny element roweru elektrycznego. Najważniejsza jest jej pojemność. Pojemność ok. 6–8 Ah pozwala przejechać na jednym ładowaniu maksymalnie ok. 50–60 km. Należy też sprawdzić lokalizację ogniwa, ponieważ wpływa to na komfort ładowania i rozkład masy roweru. Opcjonalne rozwiązanie to akumulator zintegrowany, czyli wewnątrz ramy lub przymocowany do dolnej rury roweru. Jednak często bateria znajduje się w miejscu bagażnika. Rower elektryczny powinien oferować użytkownikom komfortową jazdę także bez wspomagania. Z tego powodu należy zwrócić uwagę na budowę roweru, czyli: przerzutki, amortyzatory, hamulce, oświetlenie, bagażnik czy stopkę. Bardzo ważna też jest waga roweru, rozmiar kół czy ogólne wymiary.

3. Założenia projektu studenckiego koła naukowego IO

Celem jest wykonanie innowacyjnego napędu elektrycznego, który może być zastosowany w pojazdach elektrycznych (m.in. rowery, motorowery). Napęd zostanie wykorzystany w nowatorskim rowerze, co z pewnością wpłynie na rozwój i promocję elektromobilności. Głównym założeniem pracy jest rozwiązanie jednego z największych problemów związanych z ładowaniem jednośladów elektrycznych. Zgodnie z koncepcją innowacyjny napęd elektryczny wraz z przykładowym pojazdem (rowerem) będzie przystosowany do szybkiego ładowania akumulatorów dzięki instalacji specjalnej ładowarki pokładowej oraz złącza Type 2, które według standardu IEC 62196 [2] jest stosowane na szeroką skalę na publicznych stacjach ładowania (np. GeenWay, Orlen Charge itp.). Takie rozwiązanie umożliwi dostęp do ponad tysiąca stacji ładowania w całej Polsce. Naładowanie akumulatora od zera do pełna zajmie mniej niż 2 h, co pozwoli na przejechanie kolejnych 150 km.

Realizacja tego projektu wymagała przeprowadzenia wielu badań i eksperymentów, m.in. wykonania testów pojazdu w trasie (badanie efektywności, zasięgu, przyspieszenia, funkcji szybkiego ładowania, zawieszenia na różnych nawierzchniach).

Innowacyjny rower elektryczny, który będzie zgodny ze standardem IEC 62196, z założenia powinien mieć następujące parametry:

- zasięg: ok. 120–150 km,
- czas ładowania: 2 h,
- moc: 250 W/8 kW,
- kalibracja i programowanie napędu, przygotowanie pojazdu do jazdy,
- prędkość maksymalna: 25–80 km/h.

4. Uzasadnienie wyboru tematyki projektu

Napęd należy rozumieć jako cały zestaw komponentów. Taki napęd, opracowany raz, może posłużyć do montażu w wielu pojazdach, z uwzględnieniem

pewnych różnic konstrukcyjnych, np. w rowerze będzie to napęd z silnikiem w kole, natomiast w czterokołowcu – silnik elektryczny BLDC o klasycznej konstrukcji z wyprowadzoną osią i przełożeniem łańcuchowym.

Kosztorys zakłada zakup gotowego silnika, niemniej jednak sam silnik nie stanowi kompletnego napędu, a jest tylko częścią instalacji. W projekcie równie istotną rolę odgrywają elementy, takie jak: sterownik silnika, bateria, która zostanie skonstruowana zgodnie z wymaganiami projektu, oraz ładowarka przerobiona stosownie do założeń (tj. możliwość szybkiego ładowania oraz kompatybilność pojazdu ze standardem złącza Type 2). Rower jest jednym z praktycznych zastosowań takiego zestawu napędowego. Akumulator zostanie zbudowany przez studentów z zakupionych ogniw litowo-jonowych (3,8 kWh).

5. Rower elektryczny z możliwością szybkiego ładowania

Rower elektryczny z możliwością szybkiego ładowania na stacjach typu Orlen jest przedstawiony na rys. 2.



Rys. 2. Rower elektryczny z możliwością szybkiego ładowania

Źródło: opracowanie własne.

Po pełnym naładowaniu pojazd dysponuje energią 3,5 kWh, co w efekcie pozwala na przejechanie ok. 140 km w cyklu mieszanym. Zmierzone maksymalną prędkość pojazdu – to ok. 80 km/h. Zaletą roweru jest to, że lekkie naciśnięcie klamki hamulcowej uruchamia hamowanie regeneracyjne, a mocniejsze powoduje hamowanie mechaniczne. Jest to odzysk energii, ale także oszczędność klocków hamulcowych, co zmniejsza konieczność częstej wymiany klocków. Zastosowano również chłodzenie sterownika i ładowarki. Oba te podzespoły produkują sporo ciepła i są umieszczone wewnątrz ramy, gdzie nie ma obiegu powietrza, z tego powodu wykorzystano chłodzenie cieczą.

Rower jest także wyposażony w komputer pokładowy. Daje możliwość ograniczenia mocy i prędkości oraz uruchomienia napędu za pomocą nacisku na pedały, dzięki czemu jest dostosowany do przepisów obowiązujących rowery elektryczne w ruchu drogowym (rys. 3). Projekt był finansowany ze środków Politechniki Białostockiej oraz sponsora – firmę Elsolar.



Rys. 3. Rower elektryczny
wykonany przez studenta ze Studenckiego Koła Naukowego IO
(D. Orzechowskiego)

Źródło: opracowanie własne.

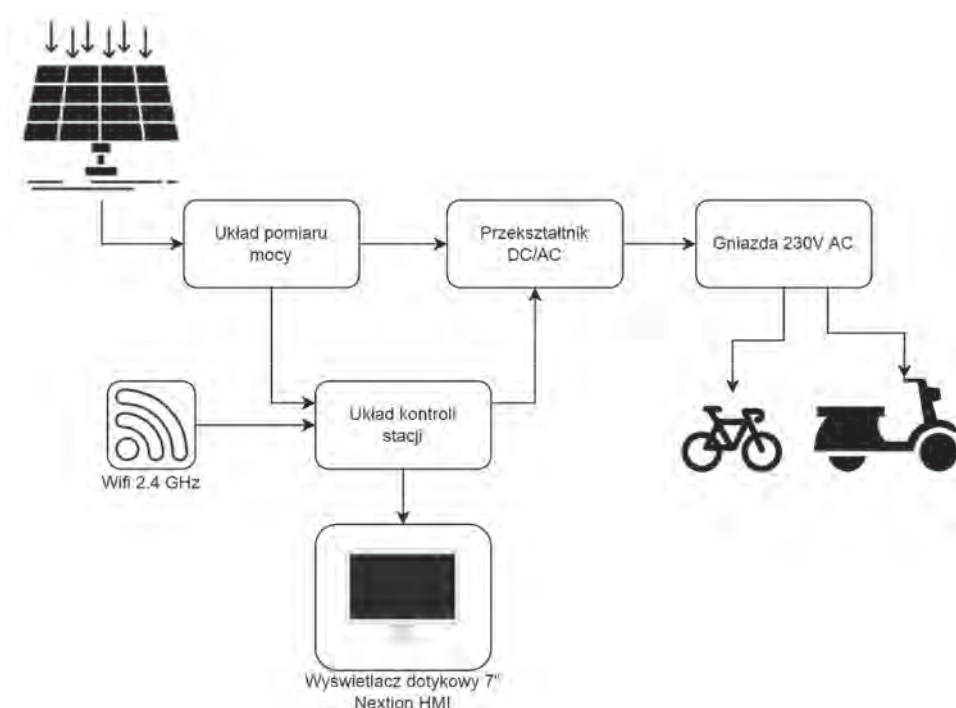
6. Stacja solarna do ładowania osobistych pojazdów elektrycznych

Prezentowany rower elektryczny ma także możliwość ładowania na stacjach fotowoltaicznych. Osoby wykorzystujące m.in. rowery elektryczne, hulajnogi, deskorolki do transportu, np. do pracy czy szkoły, muszą te pojazdy gdzieś przetrzymywać, a w niektórych sytuacjach ładować. Jest to niewątpliwie utrudnione w miejscach użyteczności publicznej czy przestrzeniach biurowych, gdzie kilka takich pojazdów znacząco zajmuje wolną przestrzeń. W związku z tym powstała koncepcja opierająca się na idei wiat rowerowych wraz z infrastrukturą elektryczną zasilaną panelami fotowoltaicznymi w celu ładowania wymienionych pojazdów oraz ich parkowania. Rower elektryczny opisany we wcześniejszej części artykułu daje możliwość parkowania i ładowania w tego typu wiatkach. Na rys. 4 został przedstawiony przykładowy schemat blokowy takiej wiaty.

Wszystkie podzespoły elektroniczne i energoelektroniczne zostały umieszczone w skrzynce hermetycznej przeznaczonej do montażu osprzętu elektrycznego. Jest ona zamykana na klucz, co utrudnia dostęp osobom niepowołanym. Na froncie umieszczone są gniazda sieciowe 230 V do podłączenia pojazdów. Układ sterowania stacją może być zbudowany z użyciem mikrokontrolera ESP8266 z łącznością bezprzewodową Wi-Fi 2,4 GHz i docelowo będzie pracować w sieci jako urządzenie IoT. Funkcje sieciowe pozwalają na zdalny podgląd parametrów elektrycznych, m.in. mocy pobieranej przez pojazdy i ilości wygenerowanej energii za dany okres (np. dzień lub miesiąc). Do obsługi stacji służy wyświetlacz dotykowy o przekątnej 7" firmy Nextion, funkcjonujący jako panel HMI (panel operatorski).

Zakładana przetwornica DC/AC dysponuje mocą ciągłą 1000 W oraz mocą chwilową 2000 W. Falownik generuje na wyjściu napięcie w kształcie tzw. modyfikowanej sinusoidy. Wybór ten był motywowany faktem, że odbiornikiem energii również jest przetwornica impulsowa (AC/DC), która pełni funkcję ładowarki pojazdu. W związku z tym nie ma konieczności stosowania w stacji falownika zapewniającego sinusoidę na jego wyjściu,

co wiązałoby się z wyższymi kosztami. Deklarowana sprawność zastosowanej przetwornicy wynosi 85%. Wartość ta została uwzględniona w dalszych obliczeniach efektywności stacji.



Rys. 4. Schemat blokowy stacji solarnej

Źródło: opracowanie własne.

7. Wyniki analizy możliwości stacji solarnej

Energia elektryczna generowana jest za pomocą czterech paneli fotowoltaicznych o mocy znamionowej 280 Wp każdy. Cała stacja dysponuje mocą znamionową 1,12 kWp. Według danych producenta jeden panel fotowoltaiczny składa się z 60 ogniw o wymiarach 156×156 mm. Sprawność paneli fotowoltaicznych deklarowana przez producenta wynosi 17,21%. W tabeli 1 przedstawiono wartości średniej mocy padającej na powierzchnię paneli.

14. Rower elektryczny z możliwością szybkiego ładowania na publicznych stacjach ładowania

D. Orzechowski, A. Kondrusik, Ł. Masajło, A. Choroszucho

Tabela 1. Wartości średniej mocy padającej na powierzchnię paneli, mocy na wyjściu paneli oraz energii miesięcznej na wyjściu stacji z uwzględnieniem sprawności przetwornicy

Miesiąc	Moc padająca [W/5,84 m ²]	Moc wyjściowa paneli [W]	Energia brutto [kWh]
Kwiecień	992,8	145,23	104,57
Maj	1 109,6	162,32	116,87
Czerwiec	1 401,6	205,03	147,62
Lipiec	1 284,8	187,95	135,32
Sierpień	1 168,0	170,86	123,02
Wrzesień	700,8	102,52	73,81
Październik	467,2	68,34	49,21

Źródło: opracowanie własne.

Przedstawione dane (tabela 2) są wartościami średnimi, oczekiwanymi w optymalnych warunkach. Nie uwzględniają warunków atmosferycznych, terenowych, obciążenia oraz innych czynników mogących znacząco wpłynąć na zasięg pojazdu. Z danych wynika, że średnie zużycie energii przez różne osobiste pojazdy elektryczne jest zbliżone. Wśród wymienionych szybkie rowery elektryczne i motocykle odznaczają się wyższym zapotrzebowaniem na energię. Na podstawie przeciętnej pojemności akumulatora można oszacować zasięg pojazdu osiągnięty dzięki energii pozyskanej ze słońca. W celach analitycznych założono, że sprawność ładowarki do pojazdu elektrycznego wynosi 80%.

Tabela 2. Zużycie energii elektrycznej przez wybrane grupy pojazdów

Rodzaj pojazdu elektrycznego	Zużycie energii [W h/km]	Średnie zużycie energii [Wh/km]
Rower	10–20	15
Hulajnoga	9–20	14,5
Deskorolka	8–20	14
Rower sportowy lub lekki motocykl elektryczny (pojazdy o masie własnej powyżej 50 kg)	20–50	35

Źródło: opracowanie własne.

Z analizy wynika, że najbardziej efektywnym środkiem transportu pod względem zużycia energii jest deskorolka elektryczna (tabela 3). Niestety ten pojazd cechuje się najmniejszym zasięgiem. Na końcu zestawienia znajdują się rowery klasy sportowej i lekkie motocykle elektryczne, które charakteryzują się największym zasięgiem i prędkością maksymalną, ale również najwyższym zużyciem energii.

Tabela 3. Szacowany dystans pokonany przez pojazd używający energii tylko ze stacji (km)

Miesiąc	Rower	Hulajnoga	Deskorolka	Rower sportowy lub lekki motocykl
Kwiecień	5 577	5 765	5 969	2 390
Maj	6 233	6 443	6 671	2 672
Czerwiec	7 873	8 139	8 427	3 375
Lipiec	7 217	7 460	7 725	3 093
Sierpień	6 561	6 782	7 022	2 812
Wrzesień	3 937	4 069	4 213	1 687
Październik	2 624	2 713	2 809	1 125

Źródło: opracowanie własne.

Dane przedstawione w tabeli 3 pokazują wyraźny sezonowy charakter korzystania z pojazdów elektrycznych zasilanych energią ze stacji – dystans pokonywany przez wszystkie typy pojazdów wzrasta od kwietnia, osiąga szczyt w czerwcu, a następnie systematycznie spada aż do października. Największe wartości odnotowano w czerwcu (np. deskorolka: 8 427 km), a najniższe w październiku (np. rower sportowy lub lekki motocykl: 1 125 km), co wskazuje na silne uzależnienie od warunków pogodowych. Spośród lekkich pojazdów największe dystanse regularnie pokonywała deskorolka elektryczna, nieco wyprzedzając hulajnogę i rower, natomiast rower sportowy lub lekki motocykl generował znacząco niższe wartości, co może sugerować mniejsze wykorzystanie lub alternatywne źródła ładowania. W okresie maj–czerwiec widoczny jest największy wzrost wykorzystania (np. dla deskorolki: + 1 756 km), a w miesiącach wrzesień–październik – największy spadek (np. hulajnoga: – 1 356 km). Wyniki sugerują, że planując rozwój infrastruktury ładowania, warto uwzględnić zarówno sezonowość, jak i dominujące typy pojazdów w poszczególnych okresach.

Tabela 4. Szacunkowy zasięg pojazdu przy danej pojemności akumulatora

Rodzaj pojazdu elektrycznego	Pojemność akumulatora Wh]	Szacowany zasięg pojazdu [km]
Rower	816	54,4
Hulajnoga	460	31,7
Deskorolka	192	13,7
Rower sportowy lub lekki motocykl elektryczny	4 000	114,3

Źródło: opracowanie własne.

W przypadku motocykla elektrycznego rozbieżność pojemności jest duża, od 1 kWh do nawet 8 kWh. Oczywiście powyższe dane są uśrednione, ponieważ zasięg roweru po naładowaniu jest także zależny od pory roku (tabela 1).

8. Podsumowanie

W artykule przedstawiono rower elektryczny z możliwością szybkiego ładowania, którego koszt jest rzędu 1,50 zł, a czas ładowania to ok. 2 h. Taki rower z pewnością nadaje się na różne nawierzchnie i różnego typu wycieczki. W artykule zaprezentowano również rezultaty analizy efektywności projektu solarnej stacji do ładowania osobistych pojazdów elektrycznych. Celem niniejszej analizy było określenie praktycznych walorów użytkowych takiego rozwiązania. Wyniki pokazują urzeczywistnione wartości energii, jaka może zostać uzyskana ze stacji solarnej. Przy zakładanych parametrach wartości te mogą zostać wykorzystane w praktyczny sposób do ładowania. Umożliwiłoby to użytkownikom poprawienie komfortu użytkowania osobistych pojazdów elektrycznych.

Niniejsza analiza rozpatruje efektywność w ogólnym rachunku energetycznym. Nieobciążanie stacji skutkuje niewykorzystaniem energii. Próby używania stacji poza godzinami słonecznymi, podczas niekorzystnych warunków pogodowych czy też nadmierne jej obciążenie będą dawały mierne rezultaty. W celu poprawienia rzeczywistych aspektów praktycznych możliwe jest podłączenie stacji do sieci energetycznej. Dzięki

takiemu rozwiązaniu zapewniona zostanie ciągłość pracy stacji, niezależnie od warunków słonecznych czy też pogodowych. To wiąże się jednak z pogorszeniem aspektów ekonomicznych poprzez zwiększenie wymagań technicznych [5] oraz prawnych, które należałby spełnić, aby mogła funkcjonować.

Literatura

- [1] Informacje dotyczące elektromobilności, <https://www.cire.pl/artykuly/elektromobilnosc-materialy-problemowe/183438-czym-tak-naprawde-jest-elektromobilnosc-auta-to-tylko-wierzcholek-gory-lodowej> [dostęp: 9.05.2023].
- [2] Standard IEC 62196, <https://webstore.iec.ch/publication/59922> [dostęp: 15.04.2023].
- [3] Zestaw wniosków dotyczących przeglądu i aktualizacji prawodawstwa UE, <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/eu-plan-for-a-green-transition/> [dostęp: 20.04.2023].
- [4] Espressif Systems (grudzień 2021), https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf [dostęp: 25.04.2023].
- [5] Zielińska A., *Bezpieczeństwo współpracy instalacji fotowoltaicznej z siecią elektroenergetyczną*, „Biuletyn Techniczny Oddziału Krakowskiego SEP”, 2017, nr 67.

Piotr Dziura

Politechnika Rzeszowska | Koło Naukowe Studentów Chemii „Esprit”

Anna Rybka

Politechnika Rzeszowska | Koło Naukowe Studentów Chemii „Esprit”

Julia Ząbczyk

Politechnika Rzeszowska | Koło Naukowe Studentów Chemii „Esprit”

prof. dr hab. inż. Wiktor Bukowski

Politechnika Rzeszowska | Katedra Technologii i Materiałoznawstwa Chemicznego

W JAKI SPOSÓB MOLEKULARNI ARCHITEKCI NATURY INSPIRUJĄ PROJEKTOWANIE NOWYCH ORGANOKATALIZATORÓW DO ZRÓWNOWAŻONEJ SYNTEZY ASYMETRYCZNEJ

HOW NATURE'S MOLECULAR ARCHITECTS INSPIRE THE DESIGN OF NEW ORGANOCATALYSTS FOR SUSTAINABLE ASYMMETRIC SYNTHESIS

S U M M A R Y

Asymmetric catalysis is a branch of organic synthesis that has been intensively developed in the last few decades. The pioneers in this field were W. S. Knowles and R. Noyori and K. B. Sharpless, who received the Nobel Prize in Chemistry in 2001 for their work on asymmetric hydrogenation and asymmetric oxidation reactions in the presence of chiral metal complexes. A further breakthrough was made possible by the discoveries of 2021 Nobel laureates B. List and D. W. C. MacMillan, who were recognized “for the development of asymmetric organocatalysis”. Their works were based on the use of readily available, non-toxic and easy-to-use chiral organic compounds as catalysts in asymmetric synthesis. The development of methods of organocatalysis led to new technologies to produce medicinal products.

Key words

organocatalysis, asymmetric catalysis, sustainable synthesis, green chemistry

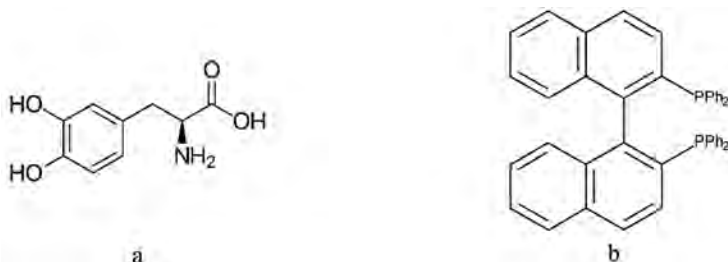
1. Wstęp

Jednym z ważnych działów syntezy organicznej rozwijanych intensywnie w ostatnich kilku dekadach jest tzw. synteza asymetryczna, która umożliwia otrzymanie produktów w postaci enancjomerów (tj. związków chiralnych, których cząsteczki nie mają płaszczyzny ani środka symetrii) z niechiralnych substratów. Początkowo wytworzenie takich produktów było możliwe jedynie na bazie dostępnych w naturze substancji chiralnych jako substratów lub z wykorzystaniem jako katalizatorów enzymów, tj. substancji wielkocząsteczkowych wyodrębnianych z organizmów żywych. Zasadniczym ograniczeniem stosowania tych ostatnich jest ich tzw. specyficzność substratowa. Wysoce specyficzne działanie enzymów wobec substratów sprawia, że katalizują one zaledwie kilka reakcji spośród wielu możliwych dla danej grupy substratów. Fakt ten zawęża zakres stosowania poszczególnych enzymów do małej grupy przemian chemicznych.

Wobec powyższego zaczęto poszukiwać efektywnych narzędzi mogących znacząco rozszerzyć i uprościć dostęp do związków chiralnych, w tym substancji pozyskiwanych często w skomplikowany i kosztowny sposób z surowców naturalnych. Motorem napędowym tych poszukiwań była m.in. konieczność uniknięcia sytuacji, która wydarzyła się w latach 60., związanej ze stosowaniem przez kobiety w ciąży talidomidu w postaci mieszaniny racemicznej. Jak się okazało, jeden z enancjomerów wchodzących w skład tego leku wykazywał silne działanie teratogenne, czego następstwem było uszkodzenie płodu. Zanim odkryto ten fakt, ofiarami stosowania talidomidu zostało ok. 15 tys. ludzkich płodów. Zapewnienie poprzez użycie odpowiednich chiralnych katalizatorów dostępu do substancji aktywnych biologicznie w postaci enancjomerycznie czystej stworzyło możliwości dokładnych badań aktywności biologicznie czynnej obu enancjomerów przed ich ewentualnym dalszym wykorzystaniem jako komponentów produktów leczniczych.

Pierwszym milowym krokiem przyczyniającym się do rozwoju metod wytwarzania substancji biologicznie czynnych w postaci enancjomerycznie czystej było zastosowanie chiralnych ligandów jako składników układów

katalitycznych bazujących na kompleksach metali przejściowych. Pionierami w tym zakresie byli W. S. Knowles, R. Noyori oraz K. B. Sharpless, laureaci Nagrody Nobla z chemii w 2001 roku [1]. Pierwsi dwaj prowadzili badania w zakresie reakcji asymetrycznego uwodornienia, natomiast trzeci w zakresie reakcji asymetrycznego utlenienia. W. S. Knowles, jeszcze pod koniec lat 60. zauważył, że jeśli wprowadzi chiralne otoczenie w sferę koordynacyjną aktywnego katalitycznie metalu, jest w stanie selektywnie ukierunkować uwodornienie wiązania $C = C$ zawierającego prochiralny atom węgla. Jego badania szybko doprowadziły do rozpoczęcia przez firmę Monsanto przemysłowego procesu produkcji leku LDOPA (rys. 1a), stosowanego w leczeniu choroby Parkinsona. Opracowanie z początkiem lat 80. aktywnych i efektywnych katalizatorów rodowych zawierających chiralną bifosfinę, znaną pod nazwą BINAP (rys. 1b), pozwoliło na wykorzystanie asymetrycznego uwodornienia zarówno do związków zawierających wiązania $C = C$, jak i w reakcjach z udziałem związków karbonylowych z prochiralnymi atomami węgla.

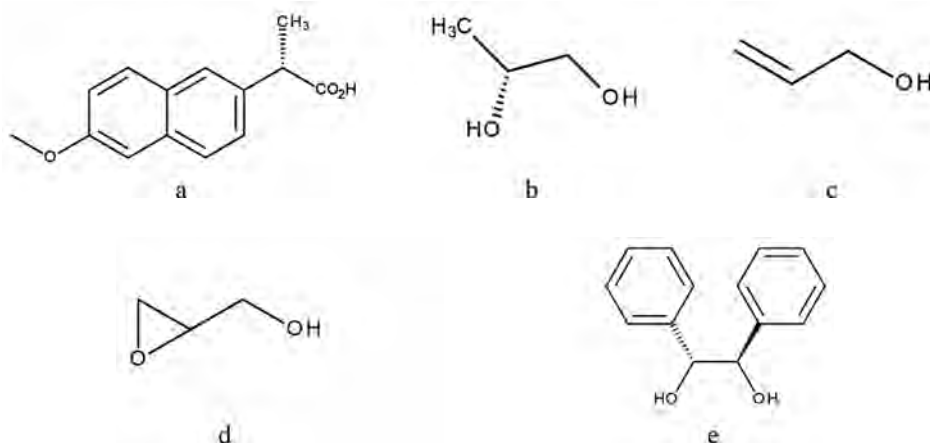


Rys. 1. Wzory L-DOPA (a) i BINAP (b)

Źródło: opracowanie własne i <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2001/advanced-information/>

Skutkowało to m.in. ułatwionym dostępem do (S)-naproksenu (rys. 2a), popularnego leku przeciwzapalnego, czy (R)-1,2-propanediolu (rys. 2b), używanego do przemysłowej syntezy lewofloksacyny – leku przeciwbakteryjnego. Można było również w prosty i wydajny sposób zsyntezować chiralną pochodną alkoholu allilowego (rys. 2c), wykorzystywaną jako blok budulcowy w syntezie witaminy E. Z kolei dzięki opracowanym przez K. B. Sharplessa katalizatorom tytanowym, zawierających jako ligand chiralny (S,S lub R,R) winian dietylu oraz chiralnym

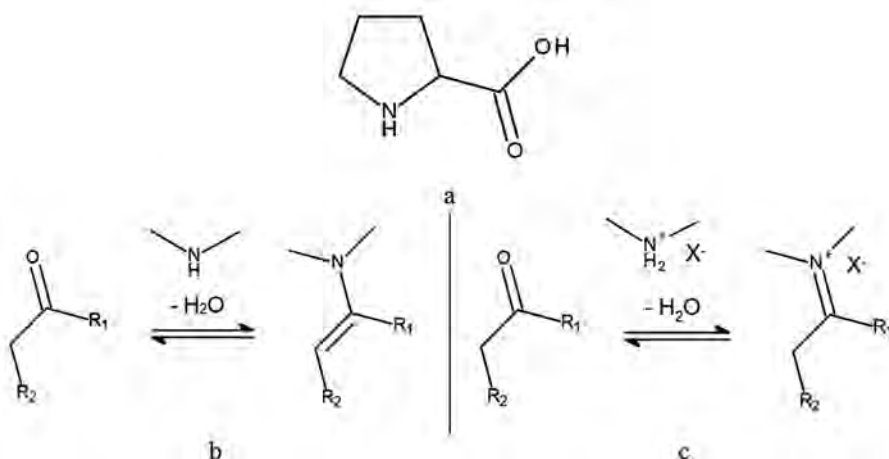
katalizatorom bazującym na tlenku osmu (VIII) otworzył się dostęp do wielu epoksydowanych pochodnych alkoholu allilowego (rys. 2d) w reakcjach asymetrycznej epoksydacji odpowiednich związków olefinowych oraz chiralnych dioli (rys. 2e) w reakcjach asymetrycznej hydroksylacji związków z wiązaniami C=C. Uzyskiwane we wspomnianych reakcjach produkty stanowią wartościowe chiralne bloki budulcowe szeroko stosowane w syntezie farmaceutycznej.



Rys. 2. Wzory (S)-naproksenu (a), (R)-1,2-propanediolu (b), alkoholu allilowego (c), epoksydowanego alkoholu allilowego (d) i chiralnego diolu hydrobenzoiny (e).

Źródło: opracowanie własne i <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2001/advanced-information/>

Dalszy przełom w zakresie katalizy asymetrycznej dokonał się niewątpliwie za sprawą odkryć laureatów Nagrody Nobla z 2021 roku – B. Lista i D. W. C. MacMillana, którzy zostali docenieni „za rozwój asymetrycznej organokatalizy” [2]. Ich prace, zainicjowane ok. dwie dekady wcześniej, opierały się na idei wykorzystania w procesach katalitycznych jako „zamienników enzymów” łatwo dostępnych, nietoksycznych i prostych w użyciu substancji pochodzenia naturalnego. Do takich zaliczyć należy naturalny aminokwas – prolinę (rys. 3a), którą B. List oraz D. W. C. McMillan wraz współpracownikami wykorzystali do aktywacji enaminowej i iminowej (rys. 3b i 3c), odpowiednio w asymetrycznym wariacie reakcji aldolowej oraz w organokatalitycznej reakcji Dielsa-Aldera.



Rys. 3. Aminokwas prolina (a) oraz schemat aktywacji enaminowej (b) i iminiowej (c)

Źródło: opracowanie własne i <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2021/advanced-information/>

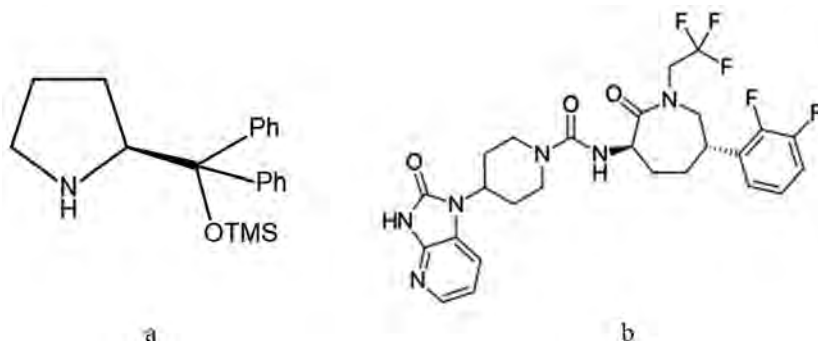
Dalszy rozwój metod organokatalizy doprowadził w kolejnych latach do odkrycia szeregu innych sposobów aktywacji organokatalitycznej [3], a postęp w zakresie asymetrycznej organokatalizy do opracowania wielu nowych technologii wytwarzania specjalistycznych produktów leczniczych [4].

2. ASYMETRYCZNA ORGANOKATALIZA W PRZEMYŚLE FARMACEUTYCZNYM I POKREWNYM

Przemysł farmaceutyczny jest branżą przemysłu chemicznego, która korzysta w największym stopniu ze współczesnych osiągnięć w zakresie katalizy asymetrycznej. Synteza produktów leczniczych jest zwykle wieloetapowa i wysoce odpadowa. Użycie selektywnych katalizatorów (homolub heterogenicznych) znacząco upraszcza syntezę określonych produktów oraz ogranicza ilość trudnych do zagospodarowania odpadów. Przykładem może tu być proces wytwarzania ibuprofenu, który dzięki zastosowaniu selektywnych katalizatorów udało się uprościć z sześciu do trzech etapów. Nieocenione znaczenie dla rozwoju nowoczesnej syntezy farmaceutycznej, ukierunkowanej na wytwarzanie nowych specjalistycznych leków, mają niewątpliwie osiągnięcia z zakresu organokatalizy. Wykorzystanie

w charakterze organokatalizatorów związków uzyskiwanych z tanich surowców pochodzących ze źródeł naturalnych, np. alkaloidów, L-proliny, naturalnych aminokwasów, kwasu winowego lub ich pochodnych syntetycznych, czyni z organokatalizy ekologiczną, przyjazną dla środowiska naturalnego metodę syntezy wartościowych chemikaliów, zgodną z zasadami tzw. zielonej chemii, zalecającymi „projektowanie produktów i procesów chemicznych bezpiecznych dla środowiska naturalnego w celu ograniczenia lub wyeliminowania stosowania i wytwarzania niebezpiecznych substancji” [5]. Używanie organokatalizatorów pozwala też na uniknięcie wielu problemów napotykanych często w katalizie kompleksami metali, wynikających w szczególności ze skomplikowanych technik syntezy w warunkach bezwodnych i beztlenowych, podnoszących koszty produkcji, oraz trudności związanych z zanieczyszczeniem produktów leczniczych pozostałościami toksycznych metali, które wymagają żmudnych, kosztownych metod oczyszczania. Użycie organokatalizatorów jest zwykle prostsze, umożliwia łatwe skalowanie procesu i niejednokrotnie przeprowadzanie syntez w środowisku wodnym, tj. w najbardziej ekologicznym rozpuszczalniku.

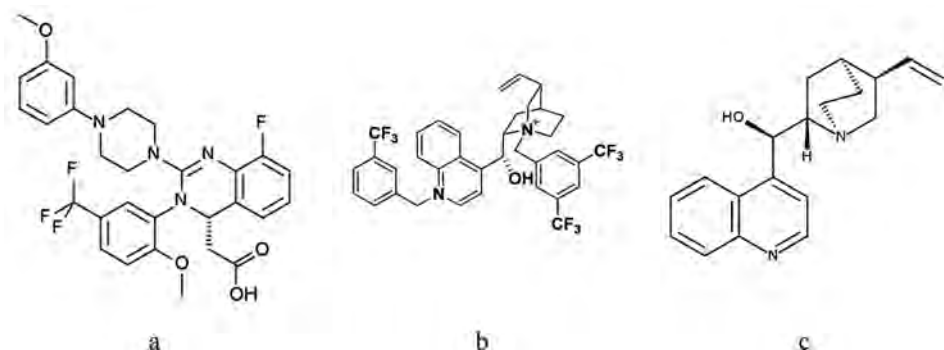
Użycie organokatalizy, a w szczególności tzw. katalizatora Jørgensena-Hayashiego (rys. 4), na jednym z kluczowych etapów syntezy umożliwiło firmie Merck syntezę telcagepantu (leku przeciwmigrenowego), zawierającego chiralny pierścień α -amidokaprolaktamu. Odpowiednią syntezę udało się przeprowadzić powtarzalnie nawet w skali 250 kg [6].



Rys. 4. Wzory katalizatora Jørgensena-Hayashiego (a) i telcagepantu (b)

Źródło: opracowanie własne i L. Bernardi, A. Carlone, F. Fini, *Methodologies in amine synthesis: Challenges and applications*, Boschstr 2021

Do substancji syntezowanych z użyciem organokatalizatorów należy także grupa leków przeciwwirusowych stosowanych w leczeniu zakażeń wirusem HIV. Przykładem takiego leku jest letermowir (rys. 5a), który został zaaprobowany przez FDA w 2017 roku do leczenia zakażeń ludzkim cytomegalowirusem. Półprodukty wykorzystywane w syntezie substancji czynnej letermowiru można wytworzyć z wysoką enancjoselektywnością przy użyciu organokatalizatora, będącego donorem wiązań wodorowych (rys. 5b), lub pochodnej cynchonidyny, działającej na zasadzie katalizatora przeniesienia fazowego (rys. 5c) [7].



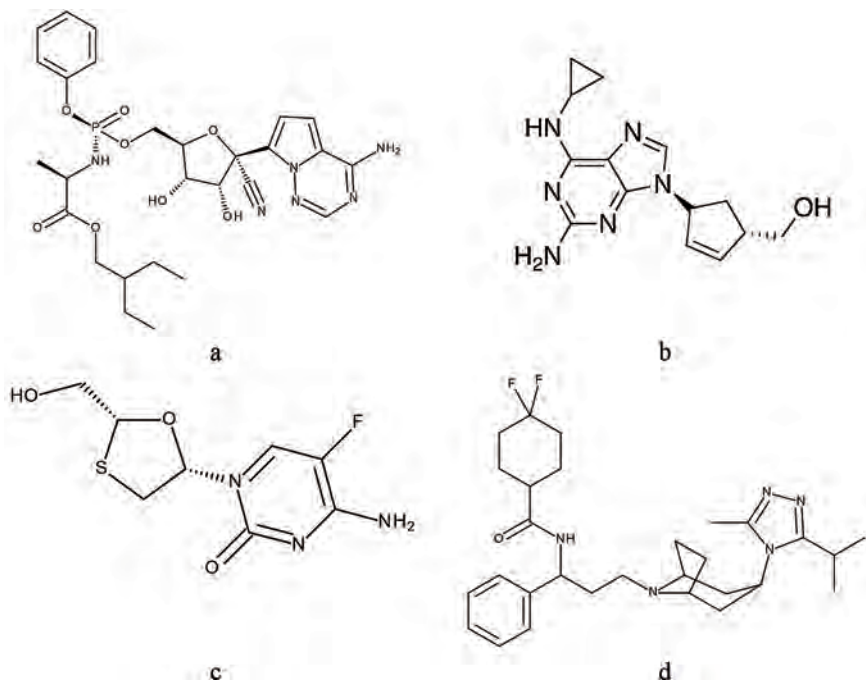
Rys. 5. Wzory letermowiru (a) i organokatalizatorów przydatnych w wytwarzaniu farmaceutyków – donora wiązań wodorowych (b) i cynchonidyny (c)

Źródło: opracowanie własne i E. M. da Silva, H. D. A. Vidal, A. G. Corrêa, *Advances on greener asymmetric synthesis of antiviral drugs via organocatalysis*, "Pharmaceuticals" 2021, no. 14, p. 1125

Innym znamienym przykładem wykorzystania chiralnych organokatalizatorów w produkcji nowoczesnych leków jest synteza remdesiwiru (rys. 6a). Lek ten został opracowany w celu walki z wirusem ebola, ale także stosowany był w leczeniu zakażeń SARS-CoV-2. Innymi przykładami mogą być abacavir, emtrycynabina i maravinoc (rys. 6b–d). Wszystkie one są stosowane w terapii antyretrowirusowej [7].

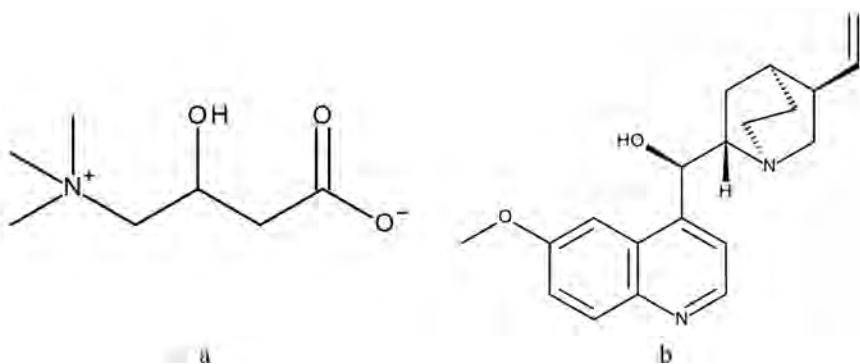
Organokataliza przydatna jest również w syntezie substancji aktywnych biologicznie wykorzystywanych w produkcji suplementów diety. Przykładem może tu być wytwarzanie L-karnityny (rys. 9a), którą naturalnie człowiek pozyskuje z produktów mlecznych i mięsnych. Produkcja suplementów diety na skalę przemysłową wymaga szybkiego i wydajnego

syntetycznego źródła L-karnityny. Taką możliwość stwarza organokataliza z wykorzystaniem pochodnej naturalnej chininy (rys. 7b), [4].



Rys. 6. Leki przeciwwirusowe: remdesivir (a), abacavir (b), emtricycynabina (c) i maravinoc (d).

Źródło: opracowanie własne i E. M. da Silva, H. D. A. Vidal, A. G. Corrêa,
Advances on greener asymmetric synthesis of antiviral drugs via organocatalysis



Rys. 7. L-karnityna (a) i chinina (b)

Źródło: opracowanie własne i D. L. Hughes, asymmetric organocatalysis in drug development
– highlights of recent patent literature, "Organic Process Research & Development" 2018, no. 22 (5), pp. 574–584

3. Podsumowanie

Wiele z produktów użytkowych, czy to wytworzonych na bazie materiałów polimerowych, czy otrzymanych z udziałem małowcząsteczkowych związków chemicznych, np. tych stosowanych do produkcji leków, bądź przy wytwarzaniu zaawansowanych wyrobów elektronicznych, nie byłoby dostępnych bez udziału złożonych procesów katalitycznych [8]. Potrzeba poszukiwania coraz to nowych substancji chemicznych oraz materiałów o unikalnych właściwościach katalitycznych już od ponad 100 lat generuje popyt na nowe technologie w dziedzinie inżynierii chemicznej i materiałowej. Z tego też względu na całym świecie stale prowadzone są m.in. badania nad nowymi systemami katalitycznymi. Spektakularne efekty tych badań w przeszłości wielokrotnie nagradzane były Nagrodą Nobla z dziedziny chemii. Do takich przełomowych rozwiązań technologicznych zaliczyć można też opisane powyżej wykorzystanie chiralnych organokatalizatorów w katalizie asymetrycznej, które ułatwiło stworzenie wielu nowoczesnych produktów leczniczych lub wręcz otworzyło do nich drogę.

Literatura

- [1] <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2001/advanced-information/>
- [2] <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2021/advanced-information/>
- [3] Groger H., *Asymmetric organocatalysis on a technical scale: Current status and future challenges*, “Ernst Schering Foundation Symposium Proceedings” 2008, no. 2, pp. 141–158.
- [4] Hughes, D. L., *Asymmetric organocatalysis in drug development – highlights of recent patent literature*, “Organic Process Research & Development” 2018, no. 22 (5), pp. 574–584.
- [5] Antenucci A., Dughera, S., Renzi P., *Green chemistry meets asymmetric organocatalysis: A critical overview on catalysts synthesis*, “ChemSusChem” 2021, no. 14 (14), pp. 2785–2853.
- [6] Bernardi L., Carlone A., Fini F., *Methodologies in amine synthesis: Challenges and applications*, Boschstr 2021.

- [7] da Silva E. M., Vidal H. D. A., Corrêa A. G., *Advances on greener asymmetric synthesis of antiviral drugs via organocatalysis*, "Pharmaceuticals" 2021, no. 14, p. 1125.
- [8] Shaikh I. R., *Organocatalysis: Key trends in green synthetic chemistry, challenges, scope towards heterogenization, and importance from research and industrial point of view*, "Journal of Catalysts" 2014, Article ID 402860.

dr inż. arch. Anna Martyka

Politechnika Rzeszowska | Katedra Architektury i Dziedzictwa Kulturowego

dr inż. arch. Joanna Figurska-Dudek

Politechnika Rzeszowska | Katedra Architektury i Dziedzictwa Kulturowego

Martyna Kuśmierska

Politechnika Rzeszowska | Koło Architektoniczne ZARYS

Natalia Sorek

Politechnika Rzeszowska | Koło Architektoniczne ZARYS

Joanna Owsiak

Politechnika Rzeszowska | Koło Architektoniczne ZARYS

**STUDIUM PRZYPADKU WYBRANYCH FILII MIEJSKICH
BIBLIOTEK PUBLICZNYCH W RZESZOWIE
JAKO FUNKCJI MIEJSKICH**

**CASE STUDY OF SELECTED BRANCHES OF MUNICIPAL
PUBLIC LIBRARIES IN RZESZÓW
AS MUNICIPAL FUNCTIONS**

S U M M A R Y

Municipal public libraries are part of the public function of the city, playing an important role in community life and being a place of integration. Libraries are used by a large group of people of all ages, but many do not realise the potential of these places due to limited access and use. The basis for this article was the participation of the ZARYS Architecture Club in a UNICEF project in cooperation with the Municipal Public Library in Rzeszów. The architecture students carried out an inventory as a prelude to designing new interiors for selected libraries in order to improve their functioning. The study can serve as a basis for further research and transformation of library spaces in Rzeszów.

Keywords

library, interior design, Rzeszów

Wstęp

Biblioteka jest miejscem, w którym czytelnik przenosi się w świat literatury – fantazji, historii czy nauki. Wiele osób traktuje to miejsce tylko jako budynek, w którym gromadzi się, przechowuje i udostępnia zbiory książek. Biblioteka jest jednocześnie miejscem spotkań i wydarzeń kulturalnych, dlatego też powinna stanowić wyższą funkcję w społeczeństwie [5]. Ta rola powinna się skupiać na nauce, integracji użytkowników, rozwoju ich pasji i zainteresowań. Aura biblioteki skłaniać powinna do tworzenia miejsca dla spotkań tematycznych oraz być przyjazna użytkownikowi. Temat przestrzeni bibliotecznych we współczesnym świecie staje się coraz bardziej znaczący. Wiele osób powraca do korzystania z papierowych wersji książek, czasopism czy artykułów. Doznania sensoryczne – zapach książek, tekstura papieru, możliwość fizycznego przerzucania stron staje się dla bardzo ważna w zestawieniu do cyfrowego świata. Zauważalna jest potrzeba kontaktu z żywą książką nie tylko wśród osób starszych, ale także u młodzieży i najmłodszych, którzy również wracają do tradycyjnych form czytelniczych [1, 3, 4].

Cel, zakres, materiały i metody

W kontekście przedstawionej we wstępie problematyki funkcjonowania współczesnych bibliotek, artykuł podejmuje próbę odpowiedzi na następujące pytania: Czym jest biblioteka dla lokalnej społeczności? Jaką rolę pełni? Jak mieszkańcy postrzegają tę przestrzeń? Jak wygląda jej dostępność? Badania przeprowadzono w Rzeszowie, mieście założonym w 1354 roku na prawie magdeburskim, od początku odgrywającym kluczową rolę w regionie. Obecnie Rzeszów wyróżnia się dynamicznym rozwojem gospodarczym, społecznym, kulturalnym i infrastrukturalnym. Jest znaczącym

ośrodkiem akademickim z silnym potencjałem w szkolnictwie wyższym oraz gospodarką opartą na wiedzy, co podnosi jego konkurencyjność. Rzeszów pełni zarówno funkcje regionalne, jak i krajowe, i jest jednym z najszybciej rozwijających się miast w Polsce, co zwiększa zapotrzebowanie na inwestycje kulturalne, w tym biblioteki.

W pracy, kierując się wyzwaniem, przed którymi stoją rzeszowskie biblioteki, podjęto próbę odpowiedzi na pytanie, jak kreować wnętrza czterech filii bibliotek miejskich, aby były bardziej atrakcyjne wizualnie i funkcjonalnie, a tym samym zwiększały zainteresowanie lokalnych mieszkańców. Trzy filie (nr 2, 4, 9) zbadano pod kątem ich kontekstu urbanistycznego i zinwentaryzowano, aby ostatecznie zaprojektować nową aranżację wewnątrz. Opracowanie ma charakter opisowy i graficzny. Przyjęte metody oraz wybrane techniki pozwoliły zgromadzić szeroki zakres informacji, które posłużyły jako baza do określenia problemów i projektowania bibliotek miejskich w Rzeszowie. Zastosowane metody i techniki badawcze przedstawiono na Ryc. 1.



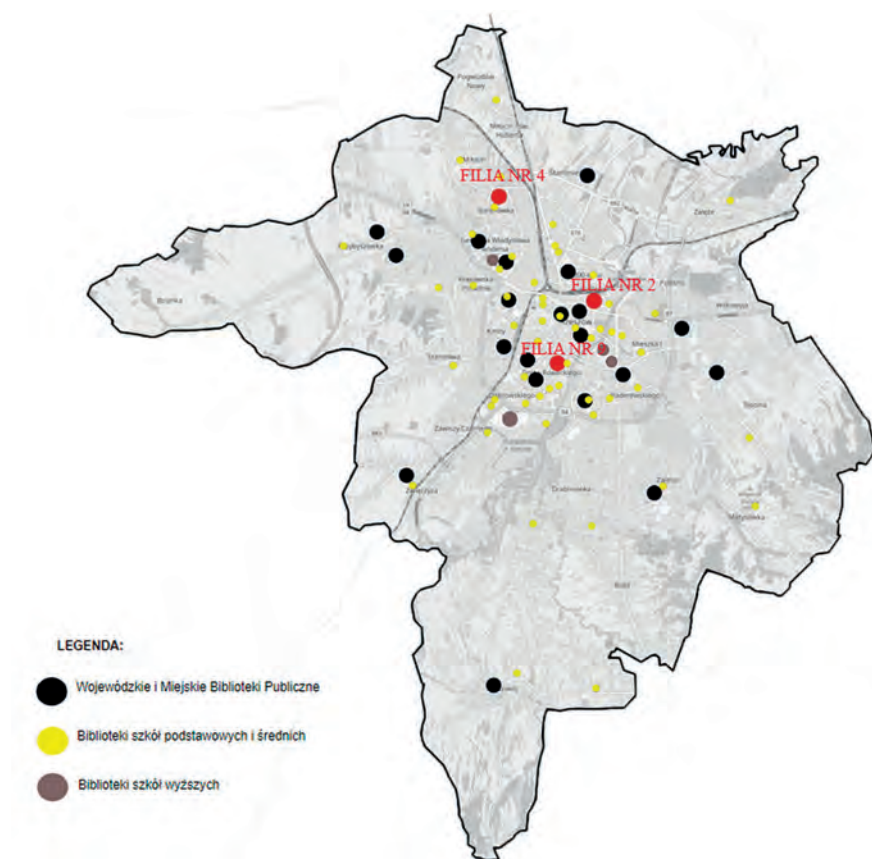
Ryc. 1. Metody i techniki badawcze wykorzystane w procesie przygotowawczym projektu architektury wewnątrz.

Badania; źródło: opracowanie własne

Charakterystyka miejskich bibliotek publicznych w Rzeszowie

Na terenie miasta wyróżniamy trzy główne rodzaje bibliotek. Są to: miejskie biblioteki publiczne, których liczba wynosi 23, biblioteki uniwersyteckie – 4 oraz szkolne – 54 (Ryc. 2, 3; Tab. 1) [6,7]. Autorki skupiły się na bibliotekach publicznych, ponieważ to z nich głównie korzystają osoby

w różnym wieku, statusie społecznym i stanie zdrowia. Biblioteki miejskie nie są nastawione głównie na jedną określoną grupę użytkowników, stąd też zakłada się, że ich dostępność czy funkcjonalność muszą być dostosowane do różnych potrzeb i wymagań. Ten typ bibliotek rozlokowany jest na terenie miasta Rzeszów nierównomiernie. Największe zagęszczenie bibliotek miejskich występuje w centrum miasta i jego najbliższej okolicy. Takie lokalizacje są uwarunkowane dużym zagęszczeniem zabudowy na tym obszarze, liczbą mieszkańców oraz liczbą usług. Na obrzeżach miasta występuje niewielka ilość bibliotek, która wynika z polityki przestrzennej miasta skierowanej głównie na rozwój funkcji mieszkaniowych.

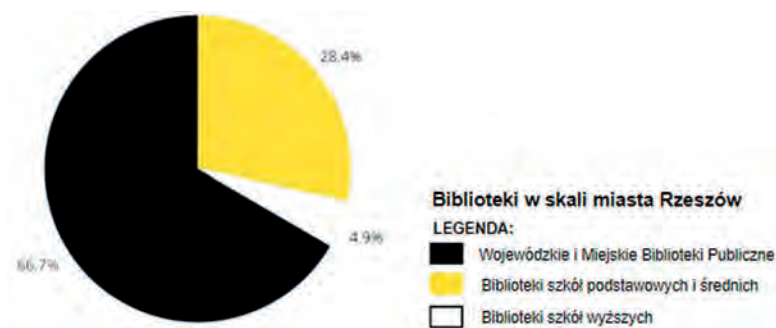


Ryc. 2. Inwentaryzacja bibliotek w skali miasta Rzeszów

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem geoportal.gov.pl, danych uzyskanych z Wojewódzkiej i Miejskiej Biblioteki Publicznej w Rzeszowie i własnych doświadczeń.

16. Studium przypadku wybranych filii miejskich bibliotek publicznych w Rzeszowie...

A. Martyka, J. Figurska-Dudek, M. Kuśmierska, N. Sorek, J. Owsiak



Ryc. 3. Procentowy rozkład rodzajów bibliotek w Rzeszowie
 Źródło: opracowanie własne na podstawie badań ankietowych

Tab. 1. Wykaz Miejskich Bibliotek Publicznych

Numer na mapie	Nazwa	Adres
1.	Wypożyczalnia Główna	ul. Dąbrowskiego 33A
2.	Wypożyczalnia Muzyczna	ul. Żeromskiego 2
3.	Oddział dla dzieci i młodzieży	ul. Słowackiego 11
4.	Czytelnia Główna	ul. Sokoła 13
5.	Oddział Dokumentów Życia Społecznego	ul. Langiewicz 17
6.	Filia nr 1	ul. Bohaterów 5
7.	Filia nr 2	ul. Fredy 5
8.	Filia nr 3	ul. Krzyżanowskiego 6
9.	Filia nr 4	ul. Ofiar Katynia 15
10.	Filia nr 5	ul. Budziwojska 194
11.	Filia nr 6	ul. Podwisłocze 6
12.	Filia nr 7	ul. Osmeckiego 51
13.	Filia nr 8	ul. Okulickiego 3
14.	Filia nr 9	ul. Czackiego 5
15.	Filia nr 10	ul. Podchorążych 1
16.	Filia nr 11	ul. Dębicka 170
17.	Filia nr 12	ul. Beskidzka 5
18.	Filia nr 13	ul. Iwonicza 38
19.	Filia nr 15	ul. Łwowska 60
20.	Filia nr 16	ul. Gromskiego 10c
21.	Filia nr 17	ul. Paderewskiego 154
22.	Filia nr 18	ul. Łukasiewicza 78
23.	Filia nr 20	ul. Solarza 9a

źródło: <https://www.wimbp.rzeszow.pl/lokalizacja-bibliotek.html>

Analiza kontekstu urbanistycznego

Kluczowym etapem prac badawczych była analiza urbanistyczna otoczenia wybranych do analizy filii bibliotek oraz ich wpływ na funkcjonowanie, rodzaj grupy czytelniczej i odbiór otoczenia. W analizie uwzględniono otoczenie komunikacyjne, w tym dostępność środków transportu publicznego, parkingów i infrastruktury pieszej oraz rowerowej. Kolejnym aspektem była funkcja otoczenia w jakim się znajduje, skupiając się na usługach, zabudowie mieszkaniowej, kontekście społecznym i edukacyjnym. Analiza kontekstu urbanistycznego pozwoliła na zdefiniowanie czynników środowiskowych mających istotny wpływ na funkcjonowanie i odbiór biblioteki w analizowanej przestrzeni. Rezultatem analizy stało się sformułowanie wniosków w zakresie poprawy i funkcjonowania filii bibliotecznych oraz wyznaczenia zarysu głównych kierunków projektowych zgodnych z przewodnią funkcją. Przykładem jest Filia nr 2 WiMBP i jej temat przewodni: peron, podróż, który określony został ze względu na otoczenie wśród głównych ciągów komunikacyjnych i lokalizację blisko dworca głównego PKP i PKS.

Inwentaryzacja i projekt architektury wnętrz wybranych Filii bibliotek miejskich

Celem tego etapu było wykonanie kompleksowej dokumentacji dotyczącej wyposażenia, układu przestrzennego oraz aktualnego stanu technicznego wnętrza, aby ostatecznie opracować koncepcyjny projekt architektury wnętrz. Etap ten został przedstawiony za pomocą rysunków technicznych, tj. szkiców, rzutów z wymiarami, rozwinięć ścian, schematów elektryki.

Podczas wizji lokalnej wykonano dokumentację fotograficzną, narzędziami pomiarowymi zostały zmierzone i opisane ręcznie za pomocą schematycznych rysunków wszystkie pomieszczenia każdej z filii. W następnej kolejności wykreślono rzuty i modele w programach komputerowych. Inwentaryzacja pozwoliła na poznanie przestrzeni, zrozumienie jej funkcjonowania oraz dostrzeżenie cech indywidualnych. Badania *in-situ* były również kluczowe do obserwacji zachowań użytkowników i rozmów z bibliotekarzami.

Koncepcyjne projekty architektury wnętrz filii Bibliotek

Filia nr 2

Temat

Tematem przewodnim filii nr 2 WiMBP w Rzeszowie był PERON i na tym motywie oparte zostały projekty koncepcyjne wnętrz. Filia zlokalizowana jest w śródmieściu, przy głównych węzłach samochodowych, autobusowych i kolejowych. Planami kierownictwa filii są regularne spotkania z podróżnikami, warsztaty i wydarzenia międzykulturowe.

Kontekst urbanistyczny z inwentaryzacją

Filia nr 2 WiMBP w Rzeszowie zlokalizowana jest przy ulicy Fredry 5. Ta część miasta jest kluczowym obszarem licznych usług zdrowotnych, obszarem dynamicznie się rozwijającym, podlegającym transformacjom drogowym. Ten obszar zawiera kluczowe funkcje: transportowe, handlowo-usługowe, administracyjne i mieszkalne. Urbanistycznie cechuje się dużą intensywnością zabudowy, a architektonicznie łączy elementy historyczne ze współczesnymi. W bliskiej odległości znajduje się Główny Dworzec Kolejowy, Główny Dworzec PKS, Rzeszowska kładka, Galeria Rzeszów, Urząd Wojewódzki czy historyczna przestrzeń jak Plac Ofiar Getta. Biblioteka jest dobrze skomunikowana i dostępna, prowadzą do niej ścieżki piesze, rowerowe, łatwo można dojechać komunikacją miejską oraz prywatnym transportem samochodowym.



Ryc. 4. Schemat kontekstu urbanistycznego – filia nr 2

Źródło: opracowanie własne

Część projektowa

Część projektowa rozpoczęła się od szczegółowej inwentaryzacji wnętrza filii i zrozumienia jej funkcjonowania. Głównym wyzwaniem projektowym stała się niewielka powierzchnia pomieszczenia, które miało jednocześnie pełnić wiele funkcji przy zachowaniu funkcjonalności, czytelności i bezpieczeństwa w czytelniku.

Charakterystyka wnętrza:

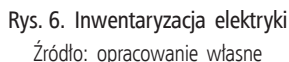
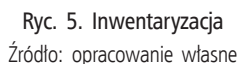
- Zalety:
 - dwie ściany zewnętrzne, przeszklone – dużo światła naturalnego, co sprawia, że przestrzeń jest jasna, ciepła i przytulna;
 - integracja z otoczeniem – duże przeszklenia w ścianach pozwalają na kontakt wzrokowy ze światem zewnętrznym, co dodaje wnętrzu wymiarowości i kojarzone jest np. z długim pociągami;
 - szerokie parapety, którym można nadać dodatkową funkcję na poszerzenie przestrzeni o dodatkowe siedziska lub ekspozycję książek
- Wady:
 - niewielka przestrzeń, brak funkcjonalności – ograniczona powierzchnia bez układu funkcjonalnego i podziału przestrzeni ogranicza prowadzenie warsztatów utrudniając poruszanie się po bibliotece;
 - przegrzewanie się pomieszczenia latem, straty ciepła zimą;
 - brak dobrego ustawienia mebli w pomieszczeniu poprzez zasłonięcie okien, co skutkuje brakiem dostępu do światła naturalnego;
 - zniszczony parkiet z licznymi ubytkami.



Fot. 1–3. Dokumentacja fotograficzna Filii WiMBP nr 2 w Rzeszowie

Źródło: opracowanie własne

A. Martyka, J. Figurska-Dudek, M. Kuśmierska, N. Sorek, J. Owsiak



Kolejnym etapem było przystąpienie fazy projektowej i wariantowania przekształceń przestrzeni. W jednej z koncepcji jako inspirację przyjęto urokliwe historyczne dworce kolejowe, których ściany pokrywały

cegły. Nawiązanie do podróżowania wprowadza duża drewniana mapa świata, pod którą znajduje się skrzynia z siedziskiem, służąca do przechowywania składanych krzeseł. Chcąc maksymalnie wykorzystać przestrzeń Filii, parapety zostały przekształcone w siedziska, stosując miękkie materiały na obicia. Taka koncepcja dała możliwość pomieszczenia większej liczby osób, a także stworzenia miejsc do siedzenia i czytania książek. W przestrzeni postawiono na mobilność, aby przestrzeń biblioteki z łatwością mogła zmieniać swoje przeznaczenie. Zastosowano przesuwane regały montowane na szynach, dzięki którym Filia zyskałaby elastyczność. Zaproponowano trzy układy funkcjonalne: układ biblioteczny, układ warsztatowy i zajęciowy, układ na spotkania autorskie i podróżnicze. W oknach zaproponowano montaż rolet, zapobiegając przegrzewaniu się pomieszczenia. Przestrzeń wzbogacona została zieloną ścianą z naturalną roślinnością. Dodano kredowy fragment ściany, aby wyzwolić kreatywność młodszych i starszych. Zaproponowana aranżacja sprzyja wypoczynkowi oraz inspirowaniu do podróży.

UKŁAD FUNKCJONALNY - RZUT Z GÓRY

Ryc. 7. Rzut – układ funkcjonalny

Źródło: opracowanie własne

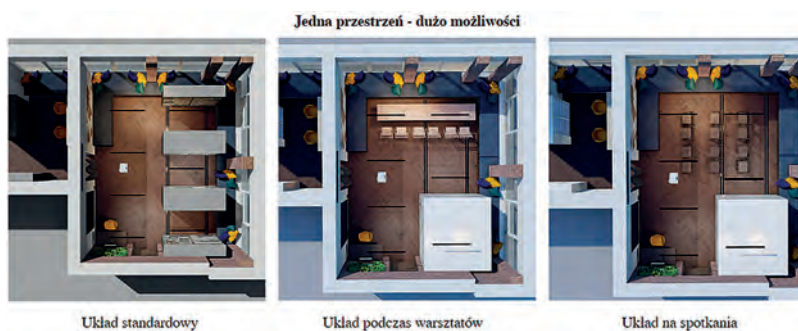
Autorzy: Natalia Sorek,

Agnieszka Stolińska, Aleksandra Sowa



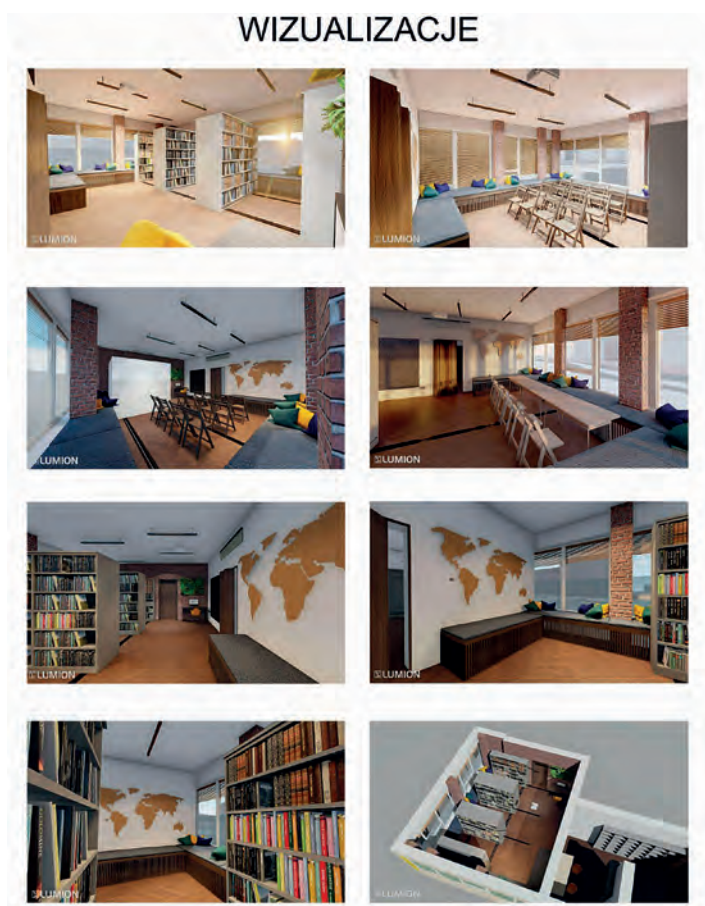
16. Studium przypadku wybranych filii miejskich bibliotek publicznych w Rzeszowie...

A. Martyka, J. Figurska-Dudek, M. Kuśmierska, N. Sorek, J. Owsiak



Ryc. 8. Układ funkcjonalny

Źródło: opracowanie własne; Autorzy: Natalia Sorek, Agnieszka Stolińska, Aleksandra Sowa



Ryc. 9. Układ funkcjonalny

Źródło: opracowanie własne; Autorzy: Natalia Sorek, Agnieszka Stolińska, Aleksandra Sowa

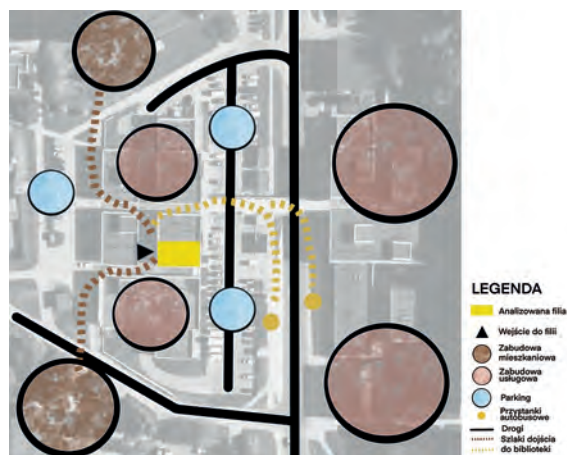
Filia nr 4

Temat

Tematem przewodnim Filii nr 4 WiMBP w Rzeszowie było stworzenie projektu, który w swoim zamyśle i rozwiązaniach wnętrzarskich miał realizować przewodni temat stref relaksu, odpoczynku, osiągnięcia wewnętrznego i zewnętrznego spokoju. Motywem przewodnim przedmiotowej przestrzeni miał stać się CHILLOUT. Zapotrzebowanie na takie miejsce w bibliotece wynikało z potrzeby poszerzenia już istniejącej niewielkiej strefy. Dodatkowym elementem, który miał znaleźć się w Filii była konieczność określenia przestrzeni do spotkań edukacyjno-autorskich, która miałyby być tłem dla różnych wydarzeń związanych z książką, nowymi publikacjami czy cyklicznymi spotkaniami z autorami.

Kontekst urbanistyczny z inwentaryzacją

Filia nr 4 znajduje się w północno-zachodniej części Rzeszowa przy ul. Ofiar Katynia 15. Obszar, na którym znajduje się biblioteka, mieści się na osiedlu budynków w zabudowie wielorodzinnej. Nieopodal biblioteki przebiega droga lokalna, przy której znajdują się dwa przystanki autobusowe. Biblioteka jest dobrze skomunikowana, a dzięki temu jest często odwiedzana przez osoby starsze, jak również dzieci i młodzież. Filia nr 4 znajduje się w kompleksie usługowym, co dodatkowo może zwiększyć w przyszłości liczbę osób chcących skorzystać z tej przestrzeni.



Ryc. 10. Schemat kontekstu urbanistycznego – filia nr 4

Źródło: opracowanie własne

Część projektowa

Prace projektowe rozpoczęto od szczegółowej inwentaryzacji oraz wykonania dokumentacji fotograficznej. Określenie założeń i celów kluczowych dla sukcesu koncepcji projektowej oparto na wielofunkcyjności, przy zachowaniu wszystkich książek i stworzeniu oddzielonych przestrzeni na małej powierzchni.

Charakterystyka wnętrza:

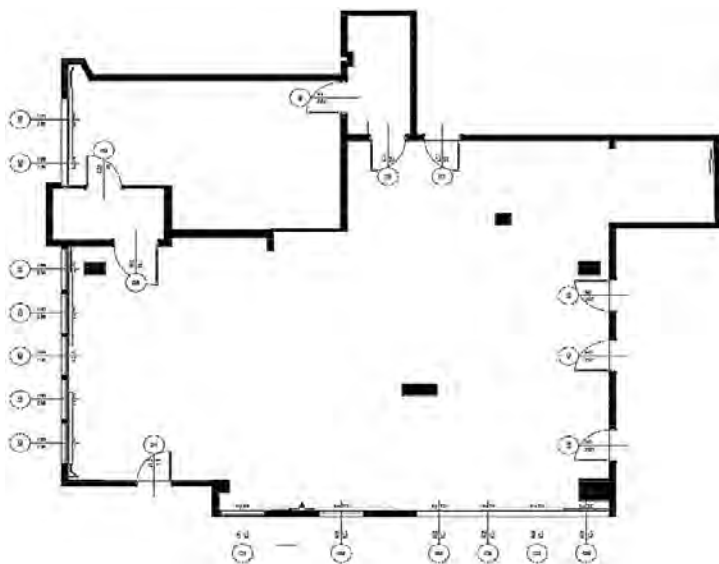
- Zalety:
 - dobra dostępność dla osób z niepełnosprawnościami;
 - czytelna część wejściowa;
 - wydzielona strefa dla małego czytelnika;
 - dobre wyposażenie w sprzęty multimedialne.
- Wady:
 - mała powierzchnia biblioteki;
 - duża ilość regałów i książek;
 - nieczytelny układ pomieszczeń.



Fot.4-6. Dokumentacja fotograficzna Filii WiMBP nr 4 w Rzeszowie
Źródło: opracowanie własne

Faza koncepcji architektonicznej wnętrza Filii nr 4 oparta została na dwóch strefach: codziennej, w której strefa wejściowa mieści kanapy i fotele do czytania książek oraz strefa specjalnych wydarzeń. Druga ze stref mogła zostać stworzona dzięki zastosowaniu rozkładanej sceny oraz umocowaniu na kilku pierwszych regałach metalowych kółek umożliwiających

ich przemieszczenie i stworzenie większej przestrzeni. Dodatkowo w projekcie zastosowano kilka wysokich regałów przyściennych, tak aby pomieścić wszystkie zbiory biblioteczne. Pozostawiono również strefę małego czytelnika, którą wzbogacono o miejsca do zabawy dla najmłodszych. W celu uczynienia rozkładu funkcji w bibliotece, w małym korytarzu między dwoma pomieszczeniami, wydzielono część na schowek, w którym można pomieścić dodatkowe urządzenia i przybory. Dzięki zastosowaniu takiego rozwiązania przejście między wnętrzami stało się bardziej przejrzyste. W koncepcji projektowej strefę wcześniejszej czytelnicy podzielono na dwie części: pierwszą, w której stworzono miejsca do pracy indywidualnej i grupowej oraz drugą, nieznacznie wydzieloną przez regały, strefę wypoczynku z możliwością samotnego zatopienia się w lekturze. Dobra kolorystyka pomieszczenia ma tworzyć aurę spokoju, relaksu, wyciszenia. Jako bazowe odcienie zastosowano biel i beż, które zostały przełamane naturalną zielenią, będącą kolorem odprężającym i dającym wytchnienie. Mimo małej powierzchni pomieszczenia, koncepcja projektowa zrealizowała wszystkie założenia projektowe: przestrzeń warsztatową, kącik dla najmłodszych, strefę pracy oraz strefę wypoczynku.



Ryc. 11. Inwentaryzacja

Źródło: opracowanie własne

16. Studium przypadku wybranych filii miejskich bibliotek publicznych w Rzeszowie...

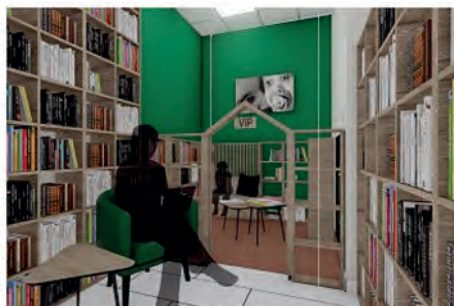
A. Martyka, J. Figurska-Dudek, M. Kuśmierska, N. Sorek, J. Owsiak

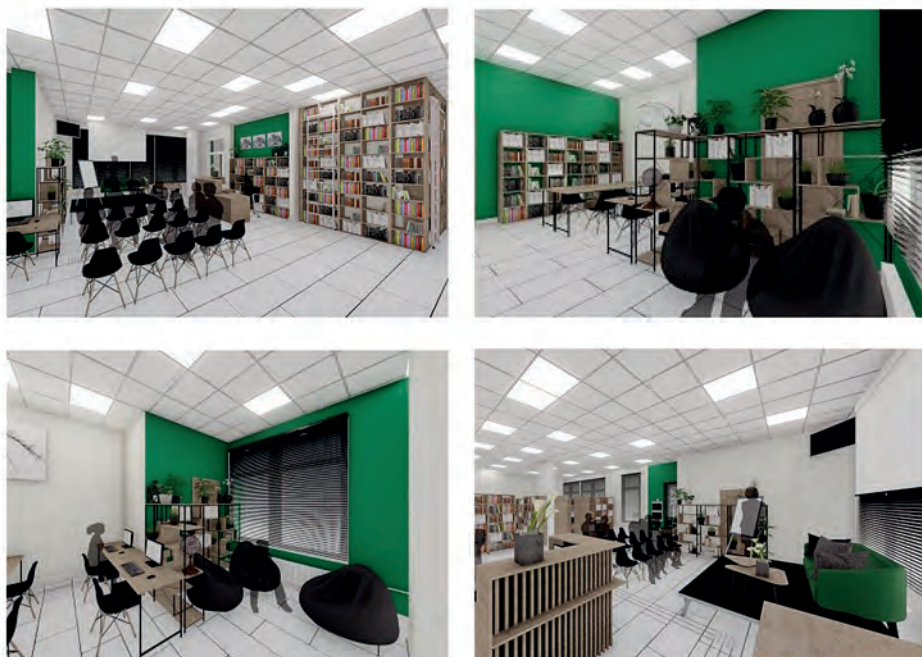


Ryc. 12. Rzut – Układ Funkcjonalny

Źródło: opracowanie własne; Autorzy: Joanna Owsiak, Magdalena Obszyńska, Aleksandra Paradysz

Wizualizacje





Ryc. 13. Wizualizacje projektowe

Źródło: opracowanie własne ; Autorzy: Joanna Owsiak, Magdalena Obszyńska, Aleksandra Paradysz

Filia nr 9

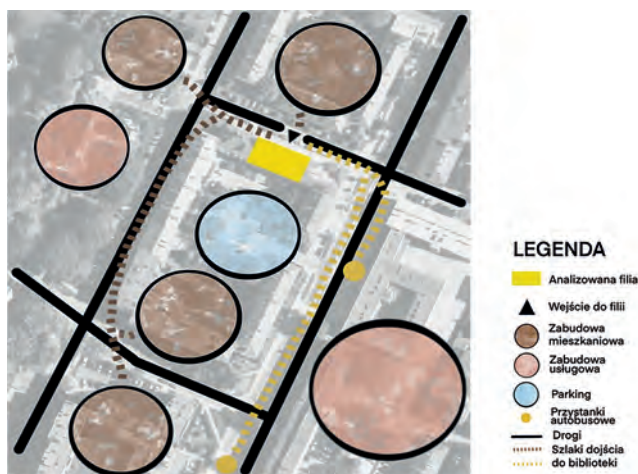
Temat

Tematem przewodnim determinującym stworzenie projektu wnętrza Filii nr 9 WiMBP w Rzeszowie było stworzenie zarówno przestrzeni pobudzającej kreatywność użytkowników, jak i miejsca wyciszenia, relaksu. Obecnie w bibliotece organizowane są głównie spotkania edukacyjne dla uczniów pobliskich szkół i przedszkoli, stąd motywem głównym stała się WARSZTATOWNIA.

Kontekst urbanistyczny z inwentaryzacją

Filia nr 9 znajduje się w południowo-zachodniej części Rzeszowa przy ul. Tadeusza Czackiego 5. W najbliższym otoczeniu dominuje zabudowa wielorodzinna oraz usługowa. W pobliżu biblioteki przebiega jedna z głównych ulic w mieście – ul. Hetmańska, przy której zlokalizowane są liczne przystanki

autobusowe. Takie usytuowanie jest bardzo korzystne, przyciąga nie tylko mieszkańców pobliskich budynków, ale też odwiedzających z innych części miasta. Siedziba biblioteki znajduje się w kompleksie mieszkalno-usługowym, co dodatkowo zwiększa jej atrakcyjność w przestrzeni miejskiej.



Ryc. 14. Schemat kontekstu urbanistycznego – filia nr 9

Źródło: opracowanie własne

Część projektowa

Część projektową rozpoczęła inwentaryzacja pomieszczenia czytelnii Filii nr 9 oraz przeprowadzenie rozmów środowiskowych w celu poznania potrzeb pracowników i użytkowników biblioteki. Wyzwania projektowe oparto na wdrożeniu przestrzeni uniwersalnej ze względu na różnorodność odwiedzających. Biorąc pod uwagę niewielki rozmiar pomieszczenia uznano, że wyposażenie wnętrza powinno być mobilne. Istotnym elementem stała się konieczność stworzenia przestrzeni do przechowywania akcesoriów używanych podczas warsztatów dla najmłodszych. Całość koncepcji miała dopełnić zmiana wizerunku i estetyki czytelnii.

Charakterystyka wnętrza:

- Zalety:
 - dobra dostępność dla osób z niepełnosprawnościami;
 - czytelna część wejściowa;
 - czytelne poruszanie się po bibliotece.

- Wady:
 - mała powierzchnia biblioteki;
 - nieatrakcyjna przestrzeń czytelní;
 - mało miejsca na przechowywanie elementów niezbędnych do warsztatów;
 - brak wyraźnego podziału na strefę aktywną i strefę relaksu.



Fot. 7–9. Dokumentacja fotograficzna filii nr 9

Źródło: opracowanie własne

Po inwentaryzacji rozpoczęto fazę projektową, w której przyjęto prosty układ czytelní. W centrum znalazł się duży stół z krzesłami, którego przeznaczeniem jest integracja czytelników oraz członków osiedlowego klubu książki. W celu powiększenia przestrzeni użytkowej zabudowano grzejniki nadając nieużywanym dotąd powierzchniom nową funkcję wypoczynku. Na ścianie zlokalizowano rzutnik, a aby sprostać wymaganiom najmłodszych, południową ścianę pokryto czarną farbą tablicową, kreując tym samym miejsce rozwoju młodych artystów. We wschodniej części czytelní przewidziano strefę cichą, a na przeciwległej ścianie przeznaczono miejsce na warsztatownię. Aby odpowiedzieć na potrzebę przestrzeni do przechowywania, w narożniku blisko biura pracowników, zaprojektowano pojemną szafę. W jej asortymencie znajdują się głównie miękkie pufy, używane podczas warsztatów z uczniami szkół i przedszkoli. Wnętrze zostało zaprojektowane w stylu industrialnym. W projekcie bazowymi barwami stały się kolory neutralne, jednak poczucie przytulności wprowadzają zastosowane w dodatkach ciepłe odcienie. Kolor żółty ma w sobie

dużą dawkę pozytywnej energii, pobudza do działania, ale też odpręża, natomiast pomarańczowy pozytywnie wpływa na samopoczucie. Czerwony budzi ekscytację i szczęście. Całość założenia, pomimo niewielkich rozmiarów pomieszczenia, łączy ze sobą kreatywną przestrzeń warsztatową oraz strefę relaksu i wyciszenia dla pochłoniętych książką czytelników.



Ryc. 15. Plansze projektowe

Źródło: opracowanie własne.

Autorzy: Sylvia Tworek, Martyna Kuśmierska



Ryc. 16. Widoki projektowanych ścian

Źródło: opracowanie własne; Autorzy: Sylwia Tworek, Martyna Kuśmierska



Ryc. 17. Wizualizacje projektowe

Źródło: opracowanie własne; Autorzy: Sylwia Tworek, Martyna Kuśmierska

Podsumowanie

Architektura bibliotek miejskich ewoluuje, odpowiadając na wyzwania i potrzeby współczesnego społeczeństwa. Współczesne projekty stawiają na funkcjonalność, estetykę, dostępność i zrównoważony rozwój, tworząc przestrzenie, które służą nie tylko jako miejsce przechowywania książek, ale również jako centra społecznościowe, kulturalne i edukacyjne [2]. Rosnące zapotrzebowanie na przestrzenie integracyjne i aktywizacyjne w mieście sprzyja rozwojowi bibliotek miejskich. Bogata oferta zajęć edukacyjno-literackich oraz warsztatów dla młodych miłośników książki, nieustannie przyciąga nowych użytkowników do rzeszowskich filii. Starania pracowników pomagają stworzyć przestrzenie przyjazne dla odwiedzających.

Mimo wielu zalet, biblioteki publiczne w Rzeszowie wciąż wymagają przemian. Głównym zadaniem jest przede wszystkim przystosowanie przestrzeni dla osób z niepełnosprawnościami. Poprawa dostępności pozwoli na zrównoważony rozwój tworząc różnorodną społeczność. Trzy przykłady projektów aranżacji wnętrz bibliotecznych zaprezentowane w artykule pokazują, jak różnorodne mogą być filie bibliotek miejskich, odpowiadając na specyficzne potrzeby lokalnych społeczności, jednocześnie tworząc inspirujące i funkcjonalne przestrzenie.

Tematem przewodnim projektu filii nr 2 jest motyw peronu, co znalazło odzwierciedlenie w projektach wnętrz. Filia zlokalizowana jest w śródmieściu, w pobliżu głównych węzłów komunikacyjnych. Planowane są regularne spotkania z podróżnikami oraz warsztaty międzykulturowe. Urbanistycznie obszar ten charakteryzuje się dużą intensywnością zabudowy i różnorodnymi funkcjami miejskimi. Projekt wnętrza zakładał maksymalne wykorzystanie przestrzeni, integrację z otoczeniem i elastyczność aranżacji. Główne wyzwania to niewielka powierzchnia oraz problemy z przegrzewaniem się pomieszczenia. W projektach wykorzystano mobilne regały i przekształcone parapety, tworząc funkcjonalne i atrakcyjne wizualnie wnętrza.

Projekt filii nr 4 koncentruje się na temacie chilloutu, tworząc przestrzeń relaksu i spokoju. Biblioteka zlokalizowana jest na osiedlu wielorodzinnym, dobrze skomunikowana i często odwiedzana przez różne grupy wiekowe. Projekt wnętrza zakłada wielofunkcyjność, z wydzielonymi

strefami do pracy indywidualnej, spotkań edukacyjnych i odpoczynku. Zastosowano jasne, stonowane kolory przełamane zielenią, co sprzyja relaksowi. Wnętrze wyposażono w mobilne regały i rozkładaną scenę, co pozwala na łatwe przekształcanie przestrzeni w zależności od potrzeb.

Koncepcja fili nr 9 łączy przestrzeń pobudzającą kreatywność z miejscem wyciszenia. Biblioteka znajduje się w południowo-zachodniej części miasta, w kompleksie mieszkalno-usługowym, co przyciąga różnorodnych użytkowników. Projekt wnętrza skupia się na mobilności wyposażenia i uniwersalności przestrzeni. W centrum umieszczono duży stół do integracji czytelników, a ścianę pokryto farbą tablicową dla młodych artystów. Zastosowano ciepłe barwy w dodatkach, które wprowadzają przytulną atmosferę. Projekt łączy przestrzeń warsztatową z strefą relaksu, tworząc funkcjonalne i estetyczne wnętrze.

Podsumowując, odpowiednie przekształcenie wnętrz istniejących bibliotek pozwoli na stworzenie przytulnych przestrzeni, które zachęcą lokalną społeczność do korzystania z tych instytucji. Wprowadzenie do przestrzeni współczesnych technologii dostosuje biblioteki do wyzwań XXI wieku.

Literatura

- [1] Aleksandrowicz, R., *Książka i biblioteka w procesie komunikacji społecznej*, Oficyna Wydaw. ATUT, Wrocław 2015.
- [2] Buck, A., Simonjetz, M., Kotlarek, D., *Miejsce spotkań. Biblioteka jako przestrzeń społeczna: (na przykładzie województwa lubuskiego)* Wydaw. Naukowe i Edukacyjne Stowarzyszenia Bibliotekarzy Polskich, Warszawa 2019.
- [3] Jasiewicz, J., *Cyfryzująca biblioteka. W: Instytucje kultury jako ośrodki życia społecznego*. Pod red. Mierzeckiej, A., Zybert, E., Wydaw. SBP, Warszawa 2017.
- [4] Kruszewski, T., *Przestrzenie biblioteki: o symbolicznej, fizycznej i społecznej obecności instytucji*. Wydawnictwo Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń 2012.
- [5] Plucieniczak, B., *Biblioteka jako miejsce spotkania z „Innym”. W: Czas przemian – czas wyzwań: rola bibliotek i ośrodków informacji w procesie kształtowania kompetencji współczesnego człowieka.*, Praca zbiorowa pod red. Jasiewicz, J., Zybert, E., Wydaw. SBP, Warszawa 2013.
- [6] Lista bibliotek szkolnych; <https://www.erzeszow.pl/510-oswiata/6908-wykaz-szkol.html>, dostęp dnia 24.05.2024.
- [7] Lista bibliotek; <https://www.wimbp.rzeszow.pl/lokalizacja-bibliotek.html>, dostęp dnia 24.05.2024.

Rafał Strojny

Politechnika Lubelska | Katedra Architektury, Urbanistyki i Planowania Przestrzennego

Dominika Małys

Politechnika Lubelska | Koło Naukowe Architektury i Budownictwa Ekologicznego „Archinature”

Marta Wachowska

Politechnika Lubelska | Koło Naukowe Architektury i Budownictwa Ekologicznego „Archinature”

Blanka Zielińska

Politechnika Lubelska | Koło Naukowe Architektury i Budownictwa Ekologicznego „Archinature”

**WYBRANE
ALTERNATYWNE EKOLOGICZNE METODY BUDOWY ŚCIAN
– ANALIZA PORÓWNAWCZA**

**SELECTED
ALTERNATIVE ECO-FRIENDLY METHODS OF WALL CONSTRUCTION
– A COMPARATIVE ANALYSIS**

S U M M A R Y

The subject of the research was a comparative analysis of hemp concrete, rammed earth and straw wall construction methods as alternatives to contemporary building technologies. The aim was to identify their advantages, disadvantages and the degree of difficulty in implementing them. The study revealed that they are relatively simple to implement and their physical, thermal and acoustic properties are better than traditional materials. In addition, the materials mostly have very good fire protection properties. Although they are not widely used and can sometimes be more expensive, they are an environmentally friendly alternative, especially for small and medium – sized buildings.

K e y w o r d s

hemp concrete walls, strawbale, rammed earth walls

Wstęp

We współczesnym budownictwie dominują materiały uprzemysłowione, jak beton, stal czy szkło [1]. Przy budowie ścian wykorzystuje się także różnego rodzaju materiały ceramiczne, beton komórkowy, silikaty, keramzyto-beton i inne. W ostatnich latach na popularności zyskuje także budowanie ścian w technologii drewna klejonego. Biorąc pod uwagę zmiany klimatyczne oraz wciąż zmieniające się wymagania dotyczące budownictwa, które w Unii Europejskiej zakładają, że od 2030 roku wszystkie budynki mają spełniać standardy zero emisyjności, konieczne będzie szukanie optymalnych ekologicznych rozwiązań, aby te wytyczne spełnić. W XXI wieku rozwinęły się także różnego rodzaju wielokryterialne systemy certyfikacji budynków (np. BREEAM, LEED), których zadaniem jest ocena wpływu środowiska na zdrowie czy działania budynku przez użytkownika [2]. Stosowanie popularnych obecnie materiałów w budownictwie może, w przypadku niektórych z nich, wpływać na niespełnienie przez budynki ekologicznych standardów oraz kryteriów certyfikacji.

Biorąc pod uwagę troskę o środowisko, jakość budownictwa, pozytywne oddziaływanie na człowieka oraz zero emisyjność, warto rozważyć alternatywne metody budownictwa, które zwłaszcza w przypadku mniejszych budynków mają szansę na implementację. Celem badań jest określenie zalet i wad ekologicznych technologii budowania ścian oraz stopnia trudności ich wdrożenia poprzez opracowanie ich charakterystyki porównawczej. Do badań wybrano metodę budowy ścian z betonu konopnego, ziemi ubijanej oraz słomy. Są to materiały w znacznym stopniu naturalne, stanowiące niszę, jeśli chodzi o powszechność ich stosowania na rynku budowlanym.

Stan badań

Tematyka związana z naturalnymi ekologicznymi materiałami w budownictwie stała się w ostatnich latach przedmiotem badań wielu naukowców w Polsce i zagranicą. P. Brzyski w swoich badaniach nad kompozytem

wapienno-konopnym, z którego buduje się ściany, opisał wieloaspektową charakterystykę tego materiału oraz jego zastosowanie w zrównoważonym budownictwie [3–5]. Beton konopny był także przedmiotem badań w kontekście właściwości termoizolacyjnych [6], zastosowania w budownictwie domów jednorodzinnych [7] oraz trwałości i różnego rodzaju właściwości [8–12]. Technologia budowania straw bale była przedmiotem badań w kontekście jej właściwości fizycznych [13–14], termicznych i mechanicznych [15–16] oraz akustycznych [17]. Badania związane z budowaniem z ziemi, dotyczyły m.in. jej konstrukcyjnego zastosowania [18–20], charakterystyki materiału [21–22] oraz realizacji i eksploatacji budynków powstałych w tej technologii [23].

Metodologia badań

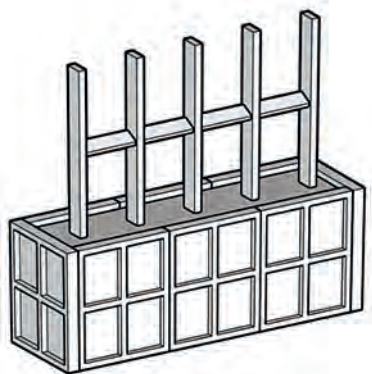
Pierwszym etapem badań był przegląd literatury oraz analiza piśmiennictwa dotyczącego budownictwa z ekologicznych naturalnych materiałów, w szczególności z betonu konopnego, słomy oraz ziemi ubijanej. Przeglądu dokonano na platformach Google Scholar, Science Direct oraz Scopus. Następnie na podstawie selekcji podzielono znalezioną literaturę na grupy tematyczne związane z trzema wybranymi metodami budowy ścian. Kolejnym elementem było opracowanie wielokryterialnej charakterystyki tych materiałów, stosowanych przy badanych technologiach wznoszenia ścian, z określeniem następujących aspektów:

- składników tworzących ścianę (wraz z jej materiałami wykończeniowymi),
- właściwości fizycznych, termicznych i akustycznych,
- właściwości przeciwpożarowych,
- czasu budowy,
- łatwości wykonania,
- kosztów budowy,

W kolejnym etapie dokonano analizy porównawczej badanych trzech metod budowy ścian, w celu określenia korzyści oraz trudności wynikających z ich zastosowania w budownictwie. Ostatnim etapem było określenie stopnia trudności implementacji tych metod do budowy ścian, a także oszacowanie, która z tych technologii jest najkorzystniejsza do wdrożenia.

Wyniki badań – wybrane alternatywne technologie budowy ścian

Ze względu na różne techniki formowania ścian wyróżnia się ściany monolityczne, ściany budowane za pomocą natrysku kompozytu, ściany wykonane z elementów drobnowymiarowych w postaci bloczków oraz elementów prefabrykowanych – paneli ściennych. Ściany monolityczne są wykonane z mieszanki układanej warstwowo w deskowaniu tymczasowym z centralnie ustawionymi słupami w stosunku do osi ścian o wysokości w przedziale od 40 do 60 cm jednej warstwy (Rys. 1). Alternatywnym podejściem jest wykorzystanie ram drewnianych, montowanych wewnątrz przegrody, do których montowane są płyty deskowania traconego. Formowanie ściany przez natrysk jest metodą znacznie krótszą od tradycyjnej monolitycznej. Składniki są wprowadzane osobno za pomocą sprężonego powietrza, a ich mieszanie zachodzi w momencie wylotu z indywidualnych przewodów. Ta metoda charakteryzuje się krótszym czasem schnięcia kompozytu w porównaniu do metody ręcznego ubijania mieszanki w ścianach [11].

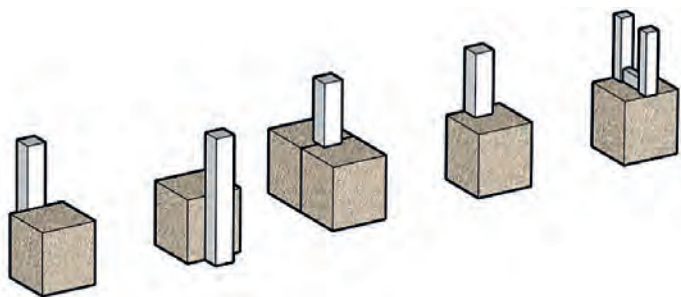


Rys. 1 Schemat formowania ściany monolitycznej z betonu konopnego w deskowaniu tymczasowym
Źródło: Opracowanie autorzy na podstawie [11].

Ściany ze słomy również nie wymagają specjalistycznego sprzętu. Można podzielić je na dwa rodzaje: ściany o konstrukcji nośnej oraz

nienośnej. Nośna technika powstała w USA pod koniec XIX wieku. W tej konstrukcji kostki słomy przenoszą obciążenia. W technologii nienośnej kostki słomy nie pełnią funkcji statycznych, są jedynie wypełnieniem pomiędzy elementami konstrukcyjnymi oraz izolacją. Konstrukcja nośna zazwyczaj wykonana jest w formie drewnianej ramy bądź szkieletu. Dopuszczalne jest stosowanie szkieletów żelbetowych bądź stalowych, jednak konieczne jest wówczas zwrócenie uwagi na mostki termiczne [24].

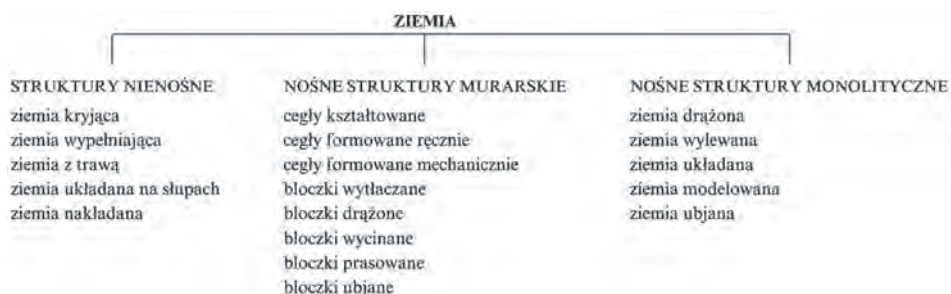
Na rysunku 2 przedstawiono przykładowe ustawienie słupów w ścianach ze słomy w konstrukcji nienośnej. W każdym przypadku istotne jest, aby łączyć kostki słomy z konstrukcją. Dzięki temu materiał nie będzie się przemieszczał między elementami drewnianymi. Pokrycie systemów ramowych płytami bądź przekątnym deskowaniem dodatkowo usztywni ściany i zabezpieczy je przeciw obciążeniom pionowym (np. wiatrowym) [24].



Rys. 2 Przykładowe ustawienie słupów w ścianach ze słomy w konstrukcji nienośnej

Źródło: Opracowanie autorzy na podstawie [24].

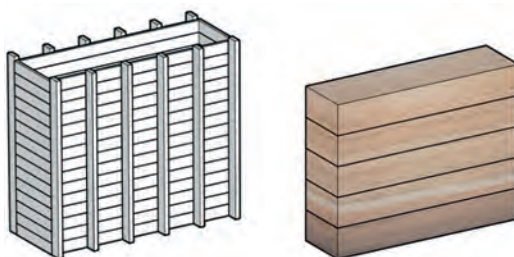
Przez lata rozwinęło się wiele technologii budowy z wykorzystaniem ziemi (Rys. 3). Poszczególne techniki zależne są od występującego na danym obszarze materiału oraz warunków klimatycznych. Techniki ziemne mogą być stosowane zarówno w elementach nośnych jak i jako wypełnienie konstrukcji z innych materiałów. Od przeznaczenia ściany zależny jest skład mieszanki i użyte w niej dodatki, takie jak między innymi piasek, żwir czy też glina. Elementy nośne charakteryzują się większą zawartością piasku i wykonywane są jako ziemia ubijana w szalunku lub z bloczków [23]. Do wznoszenia ścian z ziemi stosuje się materiał pozyskiwany spod warstwy humusu [19].



Rys. 3. Podział technik budowlanych

Źródło: Na podstawie opracowania Centre on Earthen Architecture (CRAterre) [19].

Ziemia ubijana zwana również rammed earth to technika budowania z ziemi polegająca na ubijaniu warstw ziemi w specjalnie przygotowanym szalunku za pomocą tradycyjnych narzędzi jak również młotów pneumatycznych (Rys. 4). Zagęszczanie warstwowe pozwala uzyskać optymalne właściwości na całej powierzchni muru [19].



Rys. 4. Aksonometryczny widok poglądowy z poszczególnymi elementami ścian w technologii ziemi ubijanej o strukturze monolitycznej

Źródło: Opracowanie autorzy na podstawie [18].

Charakterystyka badanych ścian

Analiza porównawcza właściwości badanych materiałów wykazała, że największą wytrzymałość na ściskanie posiada ziemia ubijana, zwłaszcza z dodatkiem 6% cementu wynoszącym – dodatek ten znacząco zwiększa wytrzymałość tego materiału do 3,7 MPa. Porównując to z betonem kopnym, wytrzymałość ta oscyluje jedynie w granicach $0,4 \div 0,7$ MPa.

17. Wybrane alternatywne ekologiczne metody budowy ścian – analiza porównawcza

R. Strojny, D. Małys, M. Wachowska, B. Zielińska

Tabela 1. Wielokryterialna charakterystyka badanych ścian z betonu konopnego, słomy oraz ziemi ubijanej

	Beton konopny	Słoma	Ziemia ubijana
Łatwość wykonania	Łatwy – nie wymaga użycia specjalnego sprzętu	Średni – konieczne wyrównanie kostek, wypełnienie nierówności, tynkowanie przynajmniej trzykrotnie	Łatwy – nie wymaga specjalistycznych narzędzi i maszyn
Czas budowy	Beton konopny należy pozostawić do całkowitego wyschnięcia	Nie licząc czasu na kierowanie budową i wykonanie dokumentacji, nakład wynosi ok. 6,6 godzin na 1 m ² powierzchni ściany	Wznoszenie ścian metodą tradycyjną wynosi 20-30 roboczogodzin na m ² , natomiast przy użyciu mechanicznych sposobów przygotowania mieszanki zajmuje ok. 2 godzin na 1 m ²
Składniki	- pałeczki konopne - spoino (wapno hydratyzowane, cement portlandzki, metalakolinit) - woda	- kostki słomy - konstrukcja drewniana	Przykładowa mieszanka 61,3 składa się z 6kg piasku, 1kg żwiru i 3kg ilu pylistego
Właściwości fizyczne	Niska wytrzymałość na ściskanie (0,4 – 0,7 MPa)	Bardzo niska wytrzymałość na ściskanie około 0,017 MPa (sam materiał – miesztynkowana, niewzmocniona ściana)	Średnia wytrzymałość ziemi ubijanej powędry 0,7 a 1,5 MPa. Problemem z dodatkem cementu wynoszącym 6% – wytrzymałość na ściskanie 3,7 MPa
Właściwości termiczne	Niski współczynnik przenikania ciepła: - dla ścian o grubości 30 cm $U = 0,23 - 0,36 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ - dla ścian o grubości 40 cm $U = 0,13 - 0,15 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ Współczynnik przewodzenia ciepła 0,07 – 0,09 W/(m·K) Zdolność akumulacji ciepła	- przepływ ciepła równoległy do łodyg $\lambda = 0,080 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ - przepływ ciepła prostopadły do łodyg $\lambda = 0,052 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ - $U = 0,15 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$	Ściana z ziemi ubijanej o grubości 0,5m charakteryzuje się przewodnością ciepłą równą 0,8 W/(m·K), przenikalnością równą 1,6 W/(m ² ·K) i akumulacyjnością ciepłą 810 (kJ/K)
Właściwości akustyczne	Bardzo dobre właściwości akustyczne	Isolacyjność akustyczna ścian z kostek słomy otynkowanej z obu stron jest wyższa niż innych, tak samo ciężkich konstrukcji jednowarstwowych - kostki wykazują działanie sprężynujące Pochłanają dźwięk	Bardzo dobre właściwości akustyczne
Koszty	Od ok. 350 zł do 1000 zł/m ² . Gotowe blocki do samodzielnego układania to koszt ok. 800 zł za 1 m ² .	Okolo 16 zł za 1 m ² miesztynkowanej ściany miedzy ze słomy o grubości 50 cm	Materiał potrzebny do wzniesienia ściany może być pozyskany lokalnie
Ochrona przeciwpożarowa	Niepalny	Słoma: klasa B2 (normalnie zapalny) Ściana ze słomy otynkowana z obu stron 8 mm tynkiem gipsowym: klasa B1 (trudno zapalny)	Według normy DIN 4102 cz. 4 gлина to materiał budowlany klasy A1 (niepalny)

Źródło: Opracowanie autorzy.

Najslabszym izolatorem termicznym jest ziemia ubijana, która charakteryzuje się największymi współczynnikami przenikania i przewodzenia ciepła. Słoma oraz beton konopny są materiałami o dobrych właściwościach izolacyjnych i porównywalnych wartościach współczynników. Wybór między nimi może zależeć tylko od preferencji projektowych. Wszystkie trzy materiały charakteryzują się dobrymi właściwościami akustycznymi.

Słoma jest materiałem palnym, jednak w przypadku gdy ściana ze słomy jest otynkowana staje się ona materiałem trudno zapalnym. Natomiast zarówno beton konopny jak i ziemia ubijana są materiałami niepalnymi.

Analiza czasu budowy ścian w omawianych technologiach wykazała, iż metoda budowania ścian z betonu konopnego jest najdłuższą metodą, gdyż sam czas schnięcia materiału trwa do kilku tygodni. Metoda budowania ścian z betonu konopnego i ziemi ubijanej może być uznana za stosunkowo łatwą, w porównaniu ze słomą, która wymaga wyrównania i wypełnienia nierówności. Ściana z ziemi ubijanej jest najtańszą metodą wznoszenia ścian, głównie ze względu na dostępność materiału

Konserwacja i eksploatacja budynków powstałych w alternatywnych technologiach

Badane technologie są stosunkowo nowymi rozwiązaniami. Dostępne wyniki badań w zakresie konserwacji obiektów powstałych w technologii betonu konopnego, kostek słomy czy ziemi ubijanej, są nieliczne. Jednak na podstawie zachowania istniejących budynków najistotniejsze w procesie konserwacji okazało się zadbanie o odpowiednie izolacje. Niezwykle ważne jest zabezpieczenie materiałów przed wilgocią, szczególnie słomy, już na etapie budowy [24]. Konserwacja betonu konopnego obejmuje szereg działań mających na celu utrzymanie jego trwałości, wydajności i estetyki. Regularne badania stanu kompozytu pozwalają na wykrywanie ewentualnych uszkodzeń. Ze względu na wysoki poziom zasadowości, beton konopny jest chroniony przed wszystkimi czynnikami związanymi z korozją biologiczną. W nagłych wypadkach możliwa jest wymiana uszkodzonych fragmentów betonu konopnego bez naruszenia konstrukcji. Erozja ściany wykonanej w technologii ziemi ubijanej w odróżnieniu od technik

wykorzystujących stal czy żelbet jest tolerowalna. Użytkowanie ściany w technologii ziemnej jest możliwe do momentu, gdy głębokość erozji wyniesie 5% grubości ściany.

Podsumowanie

W porównaniu z powszechnie stosowanymi metodami budowy jak beton czy stal, technologie z betonu konopnego, słomy czy ziemi ubijanej są znacznie bardziej ekologiczne, ze względu na naturalność i dostępność materiałów. Opracowana charakterystyka porównawcza omawianych technologii wykazała szereg zalet takich jak: bardzo dobre właściwości fizyczne, termiczne, akustyczne oraz odpowiednią ognioodporność. Warto podkreślić, iż w przypadku ścian z betonu konopnego i słomy niepotrzebna jest dodatkowa warstwa izolacji termicznej, ponieważ sam materiał ściany jest świetnym izolatorem. Ściana z ziemi ubijanej wymaga dodatkowej izolacji. Ważna jest także łatwość wykonania takich ścian a także dostępność materiałów (zwłaszcza lokalnie). Czas budowy jest stosunkowo krótki, z wyjątkiem betonu konopnego, który schnie przez kilka tygodni.

Główną wadą budowy badanych ścian jest to, że nie są one stosowane powszechnie, przez co w wielu regionach nie ma wykwalifikowanych firm budowlanych specjalizujących się budową w tych technologiach. Niewiele jest także fabryk lub nie ma ich wcale, które produkowałyby prefabrykaty np. z betonu konopnego. Poza tymi aspektami wdrożenie tych technologii jest stosunkowo proste. Problematyczne może być niewłaściwe wykonanie izolacji w budynkach tego typu, co może znacznie podwyższyć koszty budowy lub doprowadzić nawet do całkowitej degradacji ściany spowodowanej warunkami środowiskowymi.

Ściany z betonu konopnego, słomy i ziemi ubijanej stanowią alternatywę i mają szansę na implementację zwłaszcza w budowie małych i średnich budynków. Ich właściwe zaprojektowanie oraz umiejętne wykonanie izolacji pozwoli na stosunkowe obniżenie kosztów budowy oraz trwałość konstrukcji. Niekwestionowaną zaletą takich konstrukcji jest ich ekologiczność, samowystarczalność oraz dostępność lokalnych materiałów.

Ich zastosowanie stanowi znacząco mniejszą ingerencję w środowisko naturalne poprzez ograniczenie śladu węglowego czy bardzo dobre właściwości tych ścian.

Bibliografia

- [1] Marchwiński J., Zielonko-Jung K., *Współczesna architektura proekologiczna*, WN PWN, Warszawa 2012, s. 25.
- [2] Promińska M., *Zdrowa architektura. Nowy standard budownictwa zrównoważonego*, WN PWN, Warszawa 2021, s. 37, 141.
- [3] Brzyski P., „Kompozyt wapienno-konopny. Charakterystyka i technologia wykonania”. Budownictwo, Część 1. Katedra Budownictwa Ogólnego, Wydział Budownictwa i Architektury Politechnika Lubelska.
- [4] Brzyski P., Fic S. 2015. „Charakterystyka kompozytu wapienno-konopnego i jego zastosowanie w budownictwie”. Budownictwo i Architektura 14.
- [5] Brzyski P., Kompozyt wapienno-konopny jako materiał ścienny spełniający wymagania zrównoważonego rozwoju w budownictwie, ISBN: 978-83-7947-533-9 Wydawca: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2022.
- [6] Haustein E., Właściwości termoizolacyjne kompozytu wapienno-cementowego z udziałem paździerzy konopnych, „Inżynieria Ekologiczna Ecological Engineering”, Volume 19, Issue 4, August 2018, pages 72–78.
- [7] Pochwała S., Makiola D., Anwailer S., Böhm M.. 2020. The Heat Conductivity Properties of Hemp – Lime Composite Material Used in Single-Family, “Buildings Materials”.
- [8] Gołębiewski M., Narloch P. L., Piątkiewicz W., Wasilewski I., Trwałość kompozytów wapienno-konopnych w świetle różnych metod badawczych, Materiały Budowlane, Wydawnictwo SIGMA-NOT Sp. z o.o., nr 9, 2023, s. 13–19, DOI:10.15199/33.2023.09.04.
- [9] Nazmul R.T., Sainsbury B., Al-Deen S., Garcez E., Ashraf M, An Experimental Evaluation of Hemp as an Internal Curing Agent in Concrete Materials, “Materials” 2023.
- [10] Demir I, Dogan C., Physical and Mechanical Properties of Hempcrete, “The open waste management journal”, 2020.
- [11] Sokołowski P., Kossakowski P., Kompozyt wapienno-konopny – materiał ekologiczny, „Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej nr 25 (2019), 230–240”.

- [12] Pietruszka B., Właściwości wyrobów budowlanych na bazie konopi, „Przegląd budowlany”, Tom R. 90, nr 10, Strony 139–141, 2019.
- [13] Cascone S., Rapisarda R., Cascone D., Physical Properties of Straw Bales as a Construction Material: A Review, „Sustainability”, vol. 11, 2019, strony 1–19
- [14] Noszczyk P., Nowak Ł., Peszek A., Rumijowska A., Wybrane problemy budownictwa ze słomy, „Fizyka budowli w teorii i praktyce”, Tom VIII, Nr 2–2016.
- [15] Tlaji G., Ouldboukgitine S., Pennec F., Biwole P., Thermal and mechanical behavior of straw-based construction: A review, “Construction and Building Materials”, 316 (2022) 125915.
- [16] Yin X., Lawrence M., Maskell D., Chang W.S, Construction and monitoring of experimental straw bale building in northeast China, “Construction and Building Materials”, 183(2018) 46–57.
- [17] Neussr M., Dolezal F., Wurm M., Mullner H., Bednar T., Evaluation of the acoustic and environmental performance of different wall structures with particular emphasis on straw, “Journal of Building Engineering”, 66 (2023) 105922.
- [18] Narloch P.L., Ziemia ubijana stabilizowana cementem jako konstrukcyjny materiał budowlany w klimacie umiarkowanym, rozprawa doktorska Wydział Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej, 2016.
- [19] Kaliszuk-Wietecha A., Narloch P. L., Konstrukcyjne zastosowanie surowej ziemi jako materiału budowlanego, „Przegląd budowlany”, 4/2014.
- [20] Narloch P. L., Woyciechowski P., Rosicki Ł., Cichocki D., Ziemi ubijana stabilizowana cementem jako materiał konstrukcyjny- ocena nasiąkliwości, „Przegląd budowlany”, 5/2015.
- [21] Narloch P. L., Ostrowski K., Ziemia surowa materiał budowlany przeszłości i przyszłości, „Materiały budowlane”, 2014 nr 497.
- [22] Avila F., Puertas E., Gallego R., Characterization of the mechanical and physical properties of stabilized rammed earth: A review, “Construction and Building Materials”, 325 (2022) 126693.
- [23] Górski J., Klimowicz J., Kształtowanie architektury proekologicznej – budownictwo z surowej ziemi. Realizacja i eksploatacja doświadczalnego budynku w Parku Ekologicznym w Pasłęku, „Środowisko mieszkaniowe”, 2018, Nr 22, Str. 54–62.
- [24] Minke G., Krick B., Podręcznik budowania z kostek słomy, tłum., Fundacja Cohabitat, 2015, Łódź.

Bolesław Kazberuk

Politechnika Białostocka | Studenckie Koło Naukowe Elektroników

KONCEPT
MIKROPROCESOROWEGO STEROWNIKA CNC

CONCEPT
OF A MICROPROCESSOR-BASED CNC CONTROLLER

S U M M A R Y

The article presents a concept for a numerical machine controller based on the STM32MP157DAC1 microprocessor. In this setup, two Cortex-A7 cores handle the machine's operation and programming, while the Cortex-M4 core manages motion control. It explains the functioning principles of both the HMI (Human-Machine Interface) and the motion control programs. Additionally, it presents the electronic circuit design and a prototype PCB design. Finally, potential paths for further development of the solution and its possible applications are discussed.

K e y w o r d s

HMI, STM32MP157, CNC controller, CNC, Embedded System

Wstęp do maszyn sterowanych numerycznie

W celu wytworzenia zdefiniowanego geometrycznie przedmiotu z dużą precyzją stosują się maszyny z komputerowym sterowaniem numerycznym, czyli CNC (Computer Numerical Control).

Zastosowanie komputerowych układów sterowania umożliwia uzyskanie, określonej w programie, trajektorii ruchu narzędzia bądź obrabianego przedmiotu zdefiniowanej w układzie współrzędnym jednowymiarowym, dwuwymiarowym lub trójwymiarowym z określoną prędkością.

Skrót CNC interpretuje się również jako Computer Numerical Controller, potocznie mówiąc sterownik CNC składa się z modułów zazwyczaj z:

- HMI (Human Machine Interface), składające się z przycisków, wyświetlacza i co najmniej klawiatury lub ekranu dotykowego w celu umożliwienia kontroli maszyny człowiekowi poprzez interaktywny i intuicyjny system,
 - sterownik ruchu (Motion Controller), którego zadaniem jest interpretacja poleceń programu zapisanego w języku GCODE i generowanie sygnałów sterujących dla elementów roboczych maszyny, głównie napędów osi,
 - układów wejścia i wyjścia, czyli na przykład styków przekaźników, wejść i wyjść cyfrowych, wejść i wyjść analogowych, interfejsy układów pomiarowych położenia na przykład enkodera obrotowego lub liniału optycznego,
 - interfejsów komunikacyjnych, czyli Ethernet, USB, RS-232, RS-485, CAN, bardzo często wykorzystywanych do parametryzacji sterowników napędu elektrycznego, zdalnej diagnostyki i kontroli maszyny poprzez sieć komputerową, podłączanie zewnętrznych nośników danych z interfejsem USB w celu przesyłania programu do sterownika CNC.
- Sterownik CNC może realizować dodatkowe niekoniecznie niezbędne

funkcję takie jak:

- sterowanie systemem smarowania mechanizmów maszyny,
- sterowanie specjalnymi funkcjami narzędzia maszyny na przykład mocą optyczną lasera,
- sterowanie elektrozaworami chłodziwa lub hydraulicznego uchwytu tokarskiego.

Bardzo często te funkcje są realizowane również przez sterownik ruchu.

HMI umożliwia obsługę, programowanie oraz parametryzowanie maszyny w celu przygotowania maszyny do obróbki materiału. HMI przesyła linijki kodu programu zapisanego w języku poleceń GCODE do sterownika ruchu, czy to poprzez interfejs komunikacyjny, czy poprzez komunikację między procesorową w zależności od rozwiązania, natomiast sterownik ruchu interpretuje linijki kodu i realizuje polecenia sterowania maszyną.

Sterownik CNC jest urządzeniem elektronicznym i w zależności od potrzeb centralizuje się realizację oprogramowania modułów sterownika CNC

w jednym układzie scalonym (na przykład mikroprocesorze wielordzeniowym) lub dzieli się realizację oprogramowania w kilku jednostkach obliczeniowych (na przykład mikrokontrolery, obecnie w dużej mierze realizowane jako jednordzeniowe), które komunikują się ze sobą poprzez interfejsy komunikacyjne. Na przykład popularnym rozwiązaniem jest uruchamianie programu HMI na laptopie lub komputerze jednopłytkowym i przysyłanie linijek GCODE poprzez interfejs komunikacyjny do sterownika ruchu.



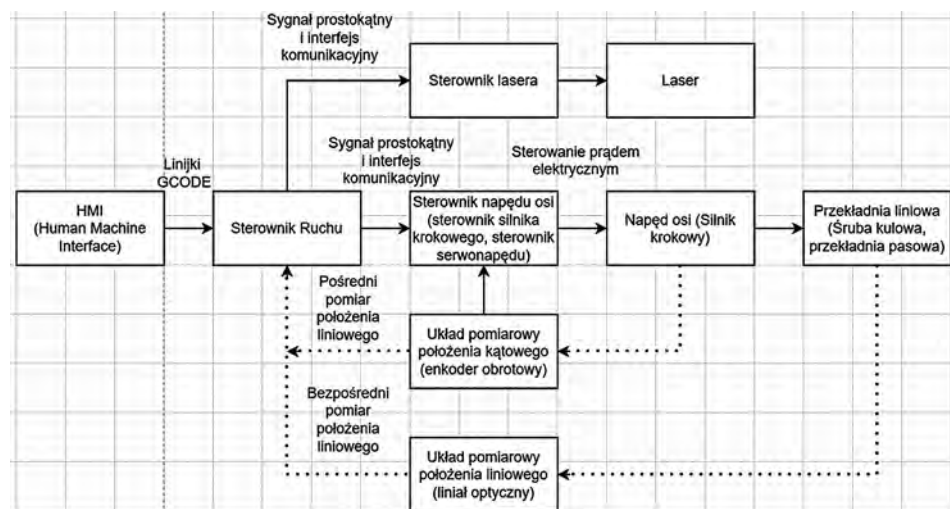
Rys. 1. Sterownik CNC Haas

Źródło: The Haas Control: <https://www.haascnc.com/productivity/control.html>

W maszynach sterowanych numerycznie najczęściej wykorzystywanym rodzajem napędu jest napęd elektryczny, w celu osiągnięcia precyzyjnego położenia szczególnie wykorzystywane są silniki krokowe umożliwiające sterowanie położeniem w pętli otwartej to znaczy bez informacji zwrotnej z układu pomiarowego oraz serwonapędy, które cechują się pracą w pętli zamkniętej, ponieważ są wyposażone w enkoder obrotowy umieszczony na wale silnika. Zastosowanie serwonapędów umożliwia

poprawę parametrów dynamicznych systemu oraz szczególnie kompensację uchybu położenia kąowego silnika wynikającego z pojawiania się dużej wartości momentu obciążenia na wale silnika.

Na rys. 2. przedstawiony jest układ sterowania, na którym zakreskowane linią przedstawiają ewentualną możliwość pośredniego lub bezpośredniego pomiaru położenia liniowego osi numerycznej. Uzyskanie informacji o położeniu umożliwia implementację metod sterowania osi numerycznych z ujemnym sprzężeniem zwrotnym. Takie rozwiązanie jest stosowane w przypadku wymagania osiągnięcia większej precyzji pozycjonowania osi numerycznych. Wiele otwarto – źródłowego oprogramowania do sterowników CNC takie jak GrblHAL, LinuxCNC, Machinekit są wyposażone w funkcję obsługi enkoderów inkrementalnych i liniałów optycznych oraz umożliwiają ewentualną implementację algorytmów regulacji położenia. Do transformacji ruchu kąowego napędu elektrycznego na liniowy stosuje się przekładnie liniowe takie jak przekładnie pasowe bądź mechanizmy jak śruba kulowa. W innych maszynach na przykład tokarkach lub frezarkach stosuje się również systemy składające się z falownika i silnika BLDC lub silnika PMSM napędzające, z zaprogramowanym profilem prędkości obrotowej, wrzeciono z uchwytem tokarskim lub z uchwytem do frezów.



Rys. 2. Schemat blokowy modułów powiązanych z sterowaniem przykładowej maszyny do cięcia laserem

Źródło: Opracowanie własne

Procedura realizacji prototypu i omówienie układu elektronicznego sterownika CNC

Docelowy prototyp sterownika CNC ma być wykorzystany jako sterownik grawera laserowego. Położenie liniowe narzędzia jest osiągane poprzez napędzanie przekładni pasowych silnikami krokowymi pracującymi w otwartej pętli. Grawer ma strukturę kinematyczną plotera. Pierwszy prototyp zostanie zrealizowany w oparciu o aplikację HMI: LightBurn uruchomioną na komputerze jednopłytkowym Raspberry Pi 4B oraz własną płytę PCB z sterownikiem ruchu opartą na mikrokontrolerze STM32F446RE i zmodyfikowanym oprogramowaniu sterownika ruchu GrblHAL.

Celem pierwszego prototypu jest przetestowanie oprogramowania na mikrokontrolerze co znacznie ułatwi testowanie urządzenia oraz zmniejszy całkowity koszt produkcji elementów elektronicznych oraz zastosowanie czterowarstwowego obwodu drukowanego.

Taka metoda testowania jest możliwa ze względu na to, że układ scalony STM32MP157DAC1 zawiera identyczny rdzeń procesora co układ STM32F446RE oraz zawiera większość tych samych układów peryferyjnych co STM32F446RE oraz program GrblHAL korzysta w dużej mierze z takich układów peryferyjnych jak GPIO, TIM, USART i wykorzystuje bibliotekę STM32CUBE HAL. Pierwszy prototyp zawiera również sterowniki silników krokowych oraz separowany optycznie kontroler UART-USB umożliwiający wymianę danych z komputerem.

Drugi prototyp jest zbudowany na mikroprocesorze zawierającym trzy rdzenie procesorowe, z czego dwa rdzenie ARM Cortex-A7 wykonują aplikację okienkową HMI, uruchomioną na dystrybucji systemu operacyjnego Linux, zoptymalizowanej pod ten układ scalony natomiast trzeci rdzeń ARM CORTEX-M4, jako koprocesor do realizacji program w czasie rzeczywistym, wykonuje program sterownika ruchu.

Główną zaletą tego rozwiązania jest możliwość stosowania systemu operacyjnego Linux, co daje możliwość wykorzystania dużej ilości gotowego oprogramowania, sterowników, bibliotek i narzędzi programistycznych cechujących się wysokim poziomem abstrakcji co umożliwia tworzenie aplikacji, których większość kodu jest przenośna. Kolejną

kwestią kierującą w stronę rozwiązań opartych o mikroprocesory są coraz większe wymagania co do funkcji realizowanych przez HMI na przykład możliwość symulacji 2D lub 3D programu poleceń maszyny, integracja programów CAD/CAM w aplikację HMI lub możliwość uruchomienia tych programów oddzielnie od aplikacji HMI.



Rys. 3. Diagram modułów układu scalonego STM32MP157DAC1

Źródło: ST: Circuit Diagram. <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32mp157a.html>

Drugi prototyp składa się z sześciowarstwowej płytki zawierającej elementy SMT o wielu wyprowadzeniach w obudowach typu BGA. Projekt układu elektronicznego oraz projekt PCB jest oparty o projekt

komputera jednopłytkowego STM32MP157D-DK1 udostępniony przez producenta w celu szybkiej realizacji projektów.

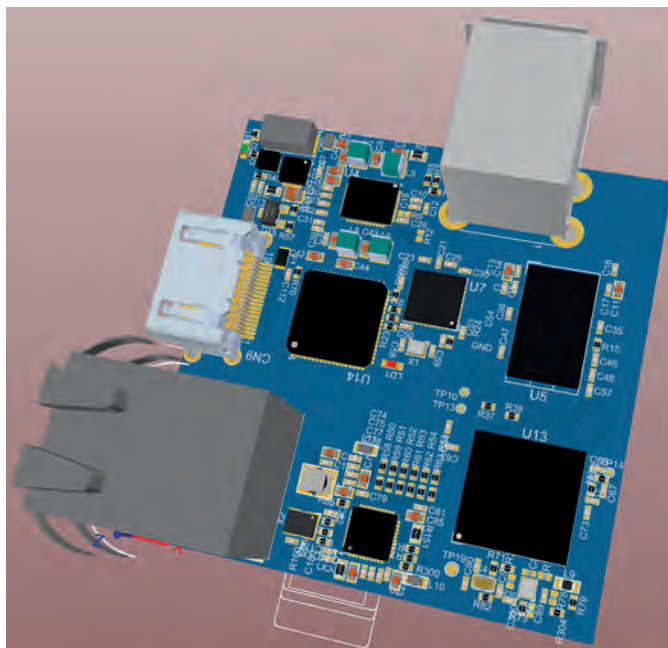
Układ elektroniczny jest wyposażony w układ zarządzania zasilaniem, STPMIC1 wyposażony w wiele przetwornic DC/DC i stabilizatorów liniowych do zasilania wielu układów scalonych.

Dwa złącza USB 2.0 są wykorzystywane w celu możliwości podłączenia bezprzewodowej klawiatury z touchpadem oraz nośnik danych USB w celu przesyłania programów w języku GCODE.

Złącze HDMI umożliwia podłączenie wyświetlacza.

Karta SD służy do przechowywania obrazu dystrybucji systemu operacyjnego GNU/Linux z programem sterownika CNC, programów GCODE oraz umożliwia przechowywanie dodatkowych plików.

Złącze Ethernet oraz transceiver został dodany w celu ewentualnej implementacji opcji kontroli sterownika CNC poprzez sieć komputerową. Złącza goldpin raster 1,27 mm służą do przesyłania sygnałów z mikroprocesora do płyty z sterownikami silnikami krokowymi.



Rys. 4. Prototyp projektu PCB drugiego prototypu płyty głównej sterownika CNC

Źródło: Opracowanie własne

Kolor czerwony oznacza przesyłanie sygnałów pomiędzy blokami połączonymi strzałką natomiast kolor zielony oznacza bezpośrednie połączenie galwaniczne i dwukierunkową wymianę informacji z mikroprocesorem.



Rys. 5. Schemat blokowy układu elektronicznego projektu PCB przedstawionego na rys. 4

Źródło: Opracowanie własne

Oprogramowanie sterownika CNC

Program HMI sterownika grawera laserowego zostanie zrealizowany jako aplikacja okienkowa wykorzystując zestaw bibliotek i narzędzi programistycznych QT.

Program ten będzie spełniał podstawowe zadania HMI sterownika CNC, czyli:

- wyświetlanie, tworzenie i edytowanie plików zawierających program w języku poleceń GCODE,
- przeprowadzenie weryfikacji poprawności programu w języku GCODE,
- wyświetlanie wartości współrzędnych obecnego położenia osi numerycznych,
- wyświetlanie kodów błędów,
- edytowanie parametrów maszyny,
- implementacja opcji sterowania ręcznego,
- uruchamianie i zatrzymywanie wykonywania programu.

W celu realizacji tych funkcji wymagana jest implementacja pracy z systemem plików oraz wymagana jest implementacja komunikacji

między procesorowej w celu zrealizowania wymiany informacji pomiędzy dwoma programami, które są wykonywane przez dwa różne systemy procesorów można zastosować protokół komunikacji OpenAMP (Open Asymmetric Multi-Processing).

Oprogramowanie OpenAMP dzieli się na:

- Remoteproc umożliwia mikroprocesorowi określone jako „master” zarządzanie tak zwanym cyklem życia zewnętrznych procesorów w naszym przypadku jest to rdzeń procesora Cortex-M4, poprzez wgrywanie plików zawierających firmware do pamięci zewnętrznego rdzenia oraz włączanie i wyłączenie zewnętrznych procesorów oraz wykrywanie i obsługę błędów,
- RPMsg (Remote Processor Messaging) umożliwia dwukierunkową wymianę informacji pomiędzy procesorem, a procesorami zdalnymi.

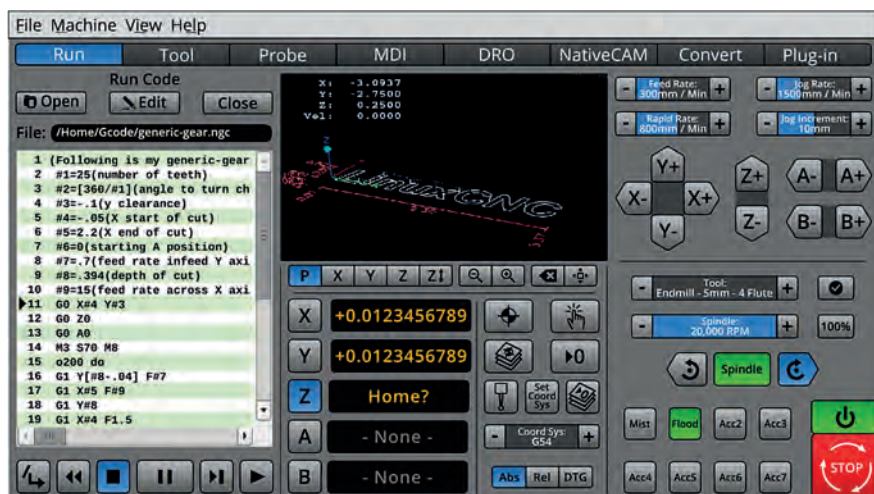
Wykorzystując sterownik Linux rpmsg_tty, można stworzyć emulację portu szeregowego VirtIO, dzięki czemu aplikacja HMI wykorzystując moduł QtSerial, może wymieniać informację z aplikacją sterownika ruchu uruchomioną na rdzeniu Cortex-M4. Natomiast rdzeń Cortex-M4 może komunikować się z rdzeniami Cortex-A7 stosując dostarczoną przez producenta bibliotekę OpenAMP, która zapewnia szereg funkcji obsługujących protokół komunikacji RPMsg i obsługę układu peryferyjnego IPCC (Inter-Processor Communication Controller).

QT umożliwia tworzenie programów, które są sterowane zdarzeniami. Zasada działania programu HMI polega na odpowiadaniu na sygnały to znaczy, że w przypadku naciśnięcia określonego przycisku otwarcia pliku zostanie wygenerowany sygnał, na który odpowiedzią jest realizacja zaimplementowanej przez twórcę aplikacji procedury obsługująca ten sygnał, w tym przypadku, wyświetlenia eksploratora plików. Poza aktywowaniem przycisków i innych elementów interfejsu graficznego przez użytkownika, źródłem sygnałów jest moduł QtSerial, który generuje sygnał w zależności od informacji dochodzących do urządzenia z sterownika ruchu.

Komunikacja aplikacji HMI z sterownikiem ruchu wymaga implementacji protokołu komunikacji co sprowadza się do numerowanie wiadomości w celu ich prawidłowej interpretacji danych znajdujących się w pakietach wymienianych między aplikacjami.

Kolejną kwestią jest implementacja maszyny stanów, na podstawie, której każda z procedur obsługujących sygnał, będzie generowała odpowiednią odpowiedź. Sterownik ruchu może znajdować się w następujących stanach:

- w stanie awarii,
- rozruch,
- gotowości,
- w trybie ręcznym,
- w stanie realizacji programu.



Rys. 7. Blender-Style GUI LinuxCNC

Źródło: A Widescreen Blender-Style Interface – LinuxCNC:

<https://forum.linuxcnc.org/41-guis/34572-a-widescreen-blender-style-interface>

Producent dostarcza gotowe obrazy dystrybucji systemu operacyjnego Linux dla układu STM32MP157D-DK1 oraz pliki konfiguracyjne device tree dla tego obrazu stworzone wykorzystując narzędzia Yocto Project. Dostarczony device tree dla domyślnego obrazu można zmodyfikować i stworzyć własny obraz w przypadku nieprawidłowej pracy systemu lub w celu dodania dodatkowych sterowników.

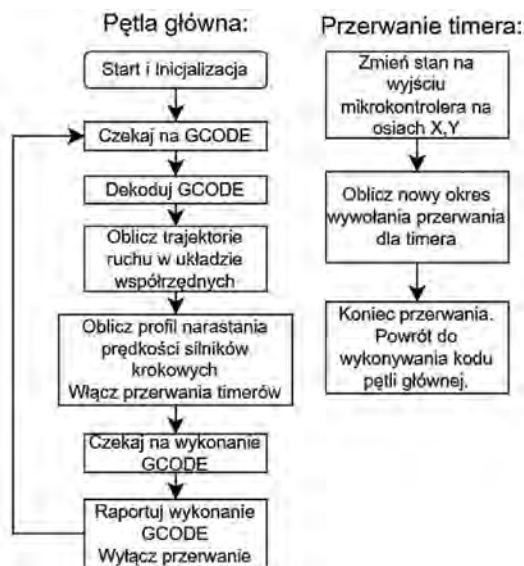
W celu implementacji oprogramowania sterownika ruchu dla grawera laserowego można zmodyfikować otwarto-źródłowe oprogramowanie GrblHAL w środowisku programistycznym STM32CubeIDE.

GrblHAL jest forkiem oprogramowania Grbl 1.1, które zostało znacznie rozbudowane i jego zaletami względem swego poprzednika jest:

- uniezależnienie głównego oprogramowania od platformy sprzętowej,
- wsparcie dla tworzenia sterowników ruchu na mikrokontrolery STM32,
- stałe wsparcie i rozwój,
- implementacja algorytmów regulacji położenia stosując sprzężenie zwrotne z enkoderów obrotowych bądź liniałów optycznych.

Z racji, że nie wykorzystujemy regulacji położenia w zastosowaniu jako sterownik grawera laserowego to zasadę działania można przedstawić na przykładzie oprogramowania Grbl 1.1. na rys. 8.

Warto dodać, że poza sterowaniem ruchem osi numerycznych i interpretacją linijek poleceń programu sterownik ruchu wykonuje szereg innych funkcji. Oprogramowanie GrblHAL należy zmodyfikować i dostosować do realizacji przez rdzeń Cortex-M4 w mikroprocesorze STM32MP157DAC, co wymaga stworzenia własnego oprogramowania do obsługi warstwy HAL, przypisania funkcji układów peryferyjnych do wyprowadzeń, dostosowanie funkcji generowania ruchu do struktury kinematycznej maszyny, dodanie komunikacji między procesorowej itp.



Rys. 8. Uproszczony algorytm działania oprogramowania sterownika ruchu Grbl 1.1

Źródło: Opracowanie własne

Podsumowanie

Wykonany artykuł prezentuje wgląd w budowę sterowników CNC i maszyn sterowanych numerycznie. W artykule została przedstawiona, jakie zadania i funkcję muszą spełniać układ elektroniczny oraz oprogramowanie sterownika CNC. Przedstawione zostały wyzwania związane z realizacją sterowników CNC na układach wieloprocessorowych i metody realizacji tego oprogramowania korzystając z nowoczesnych bibliotek i narzędzi programistycznych. Dalsze prace nad rozwiązaniem umożliwią zastosowanie urządzenia do budowy sterowników CNC dla takich maszyn jak frezarki, tokarki, wycinarki laserowe.

Dodatkowo układ może służyć jako HMI dla innych maszyn lub systemów automatyki. Projekt można rozszerzyć o funkcję zdalnego sterowania urządzeniem przez sieć Ethernet.

Literatura

- [1] Habrat W., *Obsługa i programowanie obrabiarek CNC*, 2015.
- [2] Pritschow G., *Technika sterowania obrabiarkami i robotami przemysłowymi*, 1992.
- [3] ST, *STM32MP157 Reference Manual*, 2019.
- [4] ST, *STM32F446 Reference Manual*, 2016.
- [5] OpenAMP, *OpenAMP Project Documentation*, 2024.
- [6] ST, *Linux RPMsg Framework Overview*, 2022.
- [7] ST, *How to exchange data buffers with the coprocessor*, 2023.
- [8] Hymel S., *Intro to Embedded Linux*, 2021.
- [9] GrblHAL, *GrblHAL code and documentation*, 2024 <https://github.com/grblHAL/core>.
- [10] Grbl 1.1, *Grbl code and documentation*, 2024 <https://github.com/gnea/grbl/tree/master/grbl>.

Dominik Łuniewski

Politechnika Białostocka | Wydział Mechaniczny, KN Mechatronix

Szymon Podziewski

Politechnika Białostocka | Wydział Mechaniczny, KN Mechatronix

Oliwier Gosk

Politechnika Białostocka | Wydział Mechaniczny, KN Mechatronix

Łukasz Łobacz

Politechnika Białostocka | Wydział Mechaniczny, KN Mechatronix

Leszek Ambroziak

Politechnika Białostocka | Wydział Mechaniczny, KN Mechatronix

**OCENA WPŁYWU
NIERÓWNOMIERNEGO ROZŁOŻENIA MASY
NA STABILIZACJĘ ŚMIGŁOWCA CZTEROWIRNIKOWEGO
W FAZIE STARTU I LĄDOWANIA**

**EVALUATION OF THE IMPACT
OF UNEVEN MASS DISTRIBUTION
ON THE STABILIZATION OF A QUADROTOR HELICOPTER
DURING TAKEOFF AND LANDING PHASES**

S U M M A R Y

Unmanned aerial vehicles are currently the subject of intense research and are increasingly finding a wide range of applications, from military to civilian. A fundamental component of every unmanned aerial vehicle is a properly functioning control system, which ensures efficient stabilization under all conditions. In this article, the authors present an analysis of the impact of uneven mass distribution on the stabilization of a multicopter. For this purpose, a quadrotor platform was prepared, equipped with the capability to shift its center of gravity. A total of 35 test flights were conducted with various added mass values and their displacement relative

to the nominal center. During the trials, basic flight parameters and those defining the quality of the control system's performance were logged. Based on this, conclusions were drawn regarding the possibilities of shifting the center of gravity on such flying platforms.

Keywords

Unmanned Aerial Vehicle, Control, Take off, landing, Cog Shifting

Wstęp

Bezzałogowe statki powietrzne są obecnie obiektem intensywnych badań i zyskują coraz większe pole zastosowań, zarówno wojskowych, jak i cywilnych, ze względu na ich skuteczność w wykonywaniu złożonych i wymagających zadań, takich jak inspekcja mostów [1], zwiad wojskowy i rozpoznanie na obszarze działań wojennych [3], inspekcje lotnicze, a nawet nawożenie upraw rolniczych [2].

W ostatnich latach społeczność zajmująca się robotyką rozpoczęła prace nad rozwojem i eksperymentami w zakresie fizycznej interakcji, skupiając się głównie na zastosowaniach związanych z podnoszeniem i przenoszeniem ładunków. Przykładem jest projekt opisany w [5], gdzie opracowano helikopter wyposażony w chwytak do transportu ładunków. W innym opracowaniu [6] zastosowano quadrotora do budowania prostych struktur, montując chwytak na jego podstawie i opracowując nowatorski algorytm konstrukcyjny. Z kolei w pracy [7] wykorzystano chwytak skierowany w górę do realizacji zadań na dużych wysokościach. Ponadto, w badaniu opisanym w [8] zaproponowano transport ładunków przy użyciu kilku quadrotorów, co miało na celu osiągnięcie precyzyjnej kontroli nad pozycją i orientacją ładunku przy pomocy lin.

We wszystkich tych zastosowaniach kluczową rolę odgrywa precyzyjne sterowanie, które jest niezbędne do realizacji misji z wysoką dokładnością i powtarzalnością, zwłaszcza podczas operowania umieszczonym na pokładzie manipulatorem, który wprowadza ciągłe zmiany środka ciężkości statku powietrznego. Precyzyjne, odporne na tego typu zakłócenia sterowanie oraz dokładna nawigacja są nieodzownymi elementami, aby zapewnić

skuteczne i bezpieczne działanie systemu bezzałogowego w praktyce. Rozwój układów sterowania i nawigacji otwiera nowe możliwości w dziedzinie robotyki, umożliwiając wykonywanie skomplikowanych zadań przez roboty autonomiczne. Dzięki precyzyjnemu sterowaniu i zaawansowanym algorytmom nawigacyjnym, roboty mogą teraz realizować coraz bardziej wymagające zadania, co znajduje zastosowanie w różnych branżach, takich jak budownictwo, rolnictwo czy ratownictwo.

Podstawowym elementem każdego bezzałogowego statku powietrznego jest odpowiednio działający system sterowania, zapewniający efektywną stabilizację w każdych warunkach. W tym artykule autorzy przedstawili analizę wpływu nierównomiernego rozłożenia masy na stabilizację śmigłowca wielowirnikowego. W tym celu przygotowano platformę quadrotora posiadającą możliwość przesuwania środka ciężkości. Badania zostały podzielone na dwie grupy: bez przesuniętego środka ciężkości oraz z przesuniętym środkiem ciężkości. Parametry układu sterowania nie były modyfikowane w obydwu przypadkach. Wykonano 35 lotów testowych przy różnych wartościach dodawanej masy i jej przemieszczenia względem nominalnego środka. Podczas prób logowano podstawowe parametry dotyczące lotu oraz określające jakość działania układu sterowania. Na tej podstawie wyciągnięto wnioski odnośnie możliwości przemieszczania środka ciężkości na tego typu platformach latających. Przeprowadzone badania są etapem wyjściowym do prac nad układem sterowania tolerującym w szerszym zakresie przesunięcie środka ciężkości co ma miejsce np. podczas przenoszenia ładunków przez tego typu obiekty bezzałogowe.

Motywacja podjęcia tematu badań

W dobie intensywnego rozwoju technologii UAV (Unmanned Aerial Vehicles), sterowanie śmigłowców czterowirnikowych w warunkach asymetrycznego rozmieszczenia masy staje się jednym z najważniejszych wyzwań. Taka sytuacja występuje nie tylko przy standardowym transporcie materiałów, ale także w specjalistycznych operacjach, takich jak zrzucanie ładunków na określone cele, precyzyjne wykonywanie zabiegów agrotechnicznych oraz akcjach ratunkowych, gdzie drony dostarczają zaopatrzenie

medyczne w trudno dostępne miejsca. Przykładem praktycznego zastosowania jest rolnictwo precyzyjne, w którym drony wyposażone w pojemniki z nawozami lub pestycydami zmniejszają swoją masę w trakcie wykonywania misji [2]. W takich przypadkach niewłaściwe zarządzanie rozkładem masy może prowadzić do destabilizacji lotu, co wymaga zaawansowanych algorytmów sterowania zdolnych do dynamicznej adaptacji. Ponadto, manipulacja obiektami o nieregularnym kształcie, takimi jak fragmenty infrastruktury budowlanej czy różnorodne materiały przemysłowe, stawia dodatkowe wymagania wobec systemów sterowania dronami. UAV wyposażone w ramiona robotyczne [4] muszą precyzyjnie reagować na zmieniające się warunki masowe, aby zapewnić bezpieczne i efektywne operacje. Badanie wpływu nierównomiernego rozłożenia masy na stabilizację śmigłowca czterowirnikowego jest niezbędne do opracowania niezawodnych systemów sterowania. Takie systemy muszą szybko adaptować się do zmieniających się warunków w czasie rzeczywistym, zapewniając stabilność UAV we wszystkich fazach misji – od startu, przez lot, aż po lądowanie. Zaawansowane modelowanie matematyczne, symulacje komputerowe oraz testy eksperymentalne są kluczowe dla rozwoju tych technologii, umożliwiając skuteczne przewidywanie i kompensację wpływu zmiennych warunków masowych na stabilność lotu. Jednym z kluczowych elementów poprawy stabilizacji UAV jest rozwój i implementacja zaawansowanych czujników i systemów nawigacyjnych, takich jak LIDARY, kamery wizyjne oraz systemy GPS o wysokiej precyzji. Te technologie pozwalają na dokładne monitorowanie położenia i orientacji drona w przestrzeni, co jest niezbędne do dynamicznej korekcji kursu w przypadku zmiany rozkładu masy. Kolejnym istotnym aspektem jest rozwój algorytmów uczenia maszynowego, które mogą być wykorzystane do przewidywania i adaptacji do zmieniających się warunków lotu w czasie rzeczywistym. Algorytmy te mogą analizować dane z czujników i dostosowywać parametry lotu, aby utrzymać stabilność i precyzję w różnych sytuacjach operacyjnych. W przyszłości, badania nad kontrolą UAV w warunkach asymetrycznego rozmieszczenia masy mogą również obejmować zastosowania w logistyce, gdzie drony będą mogły autonomicznie zarządzać ładunkami w magazynach lub dostarczać przesyłki bezpośrednio do domów klientów [9]. Dodatkowo, rozwój technologii wirtualnej i rozszerzonej rzeczywistości

może umożliwić operatorom lepsze zarządzanie i kontrolę nad dronami w skomplikowanych środowiskach. Ostatecznie, dalszy rozwój w tej dziedzinie będzie wymagał ścisłej współpracy między inżynierami, naukowcami oraz przemysłem. Taka interdyscyplinarna kooperacja jest niezbędna do opracowania niezawodnych, bezpiecznych i efektywnych systemów UAV, które będą mogły sprostać wyzwaniom przyszłości. Współpraca ta powinna obejmować rozwój zaawansowanych technologii czujników, algorytmów sterowania, a także testowanie i wdrażanie nowych rozwiązań w realnych warunkach operacyjnych. Dzięki synergii wiedzy i doświadczeniu z różnych dziedzin, możliwe będzie osiągnięcie znaczących postępów w zakresie stabilności, precyzji oraz autonomii UAV, co przełoży się na ich szersze zastosowanie w takich obszarach jak logistyka, rolnictwo, ratownictwo i wiele innych.

Opis obiektu badań

Do przeprowadzenia badań wybrano bezzałogowy statek powietrzny Parrot Mambo Minidrone, który został wyposażony w dodatkowe ramię oraz zmienny system obciążeń niezbędnych do badań podjętych w artykule. Konstrukcja drona w układzie „X” obejmuje cztery wirniki zamontowane na końcach lekkich, ażurowych ramion. Jego kompaktowe wymiary to 180 mm długości, 180 mm szerokości i 40 mm wysokości, a masa wynosi 63 g, co czyni go idealnym do testów w warunkach laboratoryjnych oraz operacji w zamkniętych pomieszczeniach. Napęd quadrokoptera stanowią cztery bezszczotkowe silniki elektryczne 12 V, z których dwa są silnikami typu A (obracają się zgodnie z ruchem wskazówek zegara), a dwa są silnikami typu B (obracają się przeciwnie). Taki układ zapewnia równomierny rozkład mocy oraz precyzyjną kontrolę nad lotem. Dron jest zasilany litowo-polimerową baterią o pojemności 550 mAh i napięciu 3.7 V, co umożliwia do 9 minut lotu na jednym ładowaniu. Maksymalna ładowność drona wynosi 4 g, co pozwala na testowanie wpływu dodatkowych obciążeń na stabilność lotu. Systemy nawigacyjne i sensoryczne Parrot Mambo obejmują trójosiowy żyroskop, trójosiowy akcelerometr mierzący przyspieszenie w trzech osiach, co pozwala na precyzyjne śledzenie ruchu

i utrzymywanie stabilnej pozycji drona. Barometr oraz sensor ultradźwiękowy pomagają stabilizować wysokość lotu śmigłowca. Śmigłowiec Mambo posiada szereg funkcjonalności. Funkcja „Hold Position” umożliwia dronowi utrzymanie stałej wysokości, co jest kluczowe podczas eksperymentów związanych z oceną wpływu nierównomiernego rozłożenia masy na stabilizację drona. Parrot Mambo może być kontrolowany za pomocą pilota zdalnego sterowania lub aplikacji mobilnej, działającej na częstotliwości 2.4 GHz z zasięgiem do 60 m, co umożliwia obsługę z systemów iOS i Android. Podsumowując, Parrot Mambo jest wszechstronną platformą badawczą do eksperymentów z kontrolą lotu, stabilizacją oraz manipulacją obiektami. Jego zaawansowane systemy stabilizacji i sensoryki umożliwiają dokładne badania wpływu nierównomiernego rozłożenia masy na stabilność quadrokoptera, szczególnie w fazach startu i lądowania. Modułarna konstrukcja pozwala na łatwe dostosowanie do różnorodnych scenariuszy badawczych, co czyni go idealnym narzędziem dla inżynierów i naukowców zajmujących się robotyką.



Rys. 1. Parrot Mambo minidrone wraz z zamontowanym ramieniem,

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 2. Parrot mambo minidrone z wysuniętym na ramieniu obciążeniem

Źródło: Opracowanie własne.

Układ sterowania

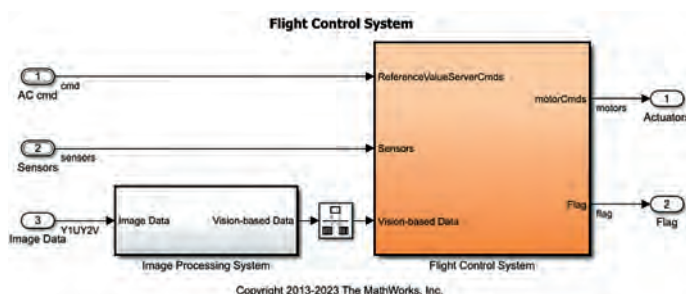
W ramach opracowania układu sterowania do badań nad wpływem nierównomiernego rozłożenia masy na stabilizację śmigłowca czterowirnikowego wykorzystano środowisko programistyczne MATLAB. Układ sterowania został zaimplementowany przy użyciu gotowych bibliotek Simulink. Simulink to zaawansowane narzędzie do modelowania, symulacji i analizy systemów dynamicznych, które pozwala na tworzenie graficznych modeli blokowych reprezentujących różne komponenty systemu oraz relacje między nimi. Graficzne modele w Simulinku składają się z bloków, które reprezentują elementy systemu, takie jak matematyczne równania, układy sterowania, czujniki, aktuatory oraz inne komponenty. Bloki te są połączone za pomocą linii, które symbolizują przepływ informacji lub sygnałów między blokami (Rys. 3 ÷ 4). Simulink umożliwia przeprowadzanie symulacji zachowania systemu w czasie rzeczywistym na podstawie zdefiniowanego modelu, co jest niezwykle użyteczne w analizie dynamicznych systemów sterowania. W kontekście badań nad wpływem nierównomiernego rozłożenia masy na stabilizację śmigłowca czterowirnikowego, Simulink był wykorzystywany do stworzenia układu sterowania startem i lądowaniem śmigłowca. To umożliwiło przeprowadzenie szczegółowych eksperymentów, zebranie danych z lotów badawczych przy różnych konfiguracjach masy oraz precyzyjną analizę uzyskanych wyników.

[illegible]

260

19. Ocena wpływu nierównomiernego rozłożenia masy na stabilizację śmigłowca...

D. Łuniewski, S. Podziewski, O. Gosk, Ł. Łobacz, L. Ambroziak



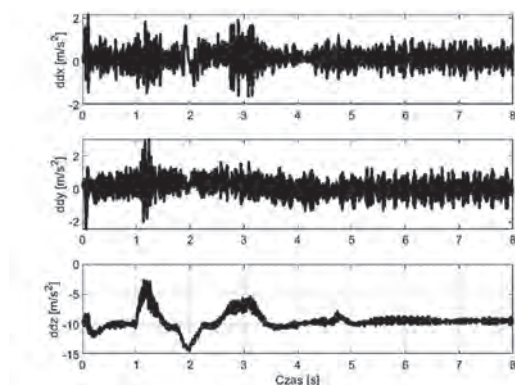
Rys. 4. Wnętrze bloku FCS z modelu układu sterowania śmigłowca Parrot Mambo z pakietu MATLAB Support Package for Parrot® Drones,

Źródło: Opracowanie własne.

Wyniki badań eksperymentalnych

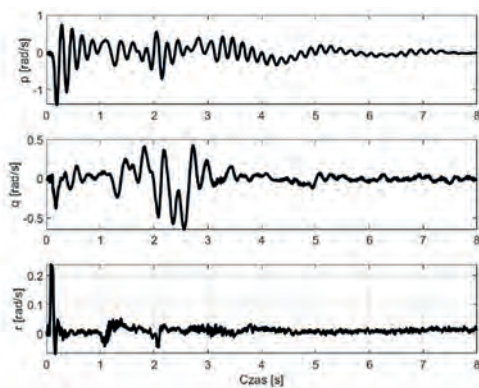
Wyniki badań eksperymentalnych zostały przedstawione w dwóch rodzajach jako dane zmierzone bezpośrednio z czujników obiektu badań (wykresy mają kolor czarny) oraz jako dane estymowane, (wykresy mają kolor niebieski). Wykresy zostały sporządzone w środowisku Matlab i przedstawione w sposób aby ułatwić zauważenie i przeanalizowanie różnic w poszczególnych lotach przy zmienianej wartości masy i jej położenia na dodatkowej belce drona.

Wyniki z przeprowadzonych badań przedstawiono na Rys. 5 ÷ 25. Przykładowe wyniki dla lotu bez obciążenia pokazano na Rys. 5 ÷ 11. Przykładowe wyniki dla lotu z obciążeniem pokazano na Rys. 12 ÷ 25.



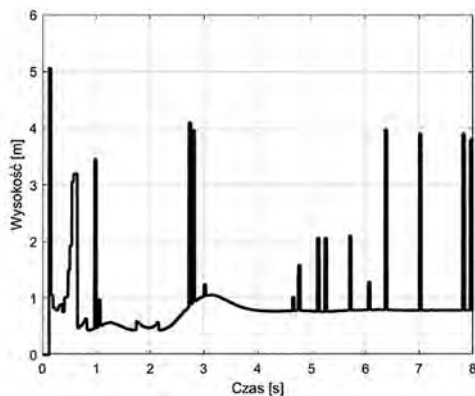
Rys. 5. Przyspieszenia liniowe

Źródło: Opracowanie własne.



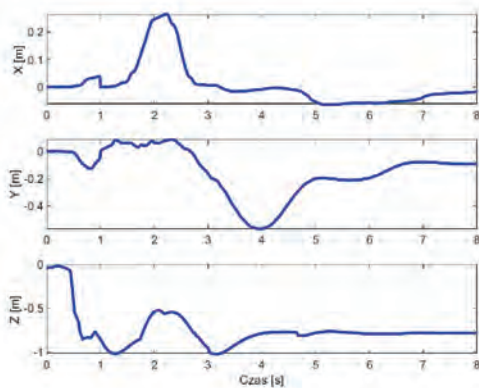
Rys. 6. Prędkości kątowe

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 7. Wysokość mierzona

Źródło: Opracowanie własne.

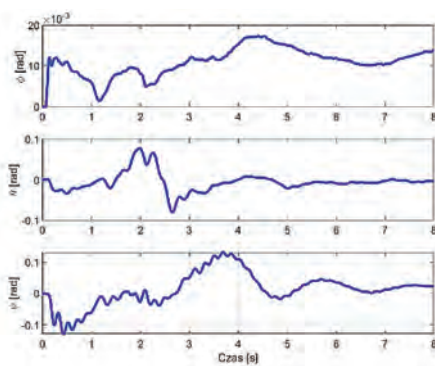


Rys. 8. Pozycja śmigłowca

Źródło: Opracowanie własne.

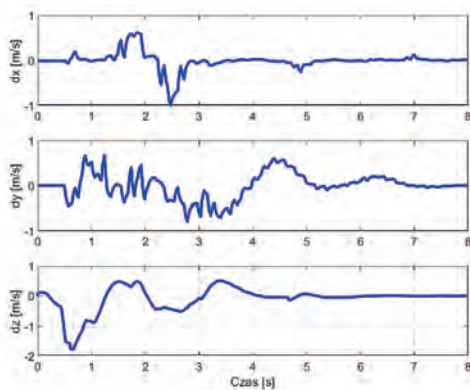
19. Ocena wpływu nierównomiernego rozłożenia masy na stabilizację śmigłowca...

D. Łuniewski, S. Podziewski, O. Gosk, Ł. Łobacz, L. Ambroziak



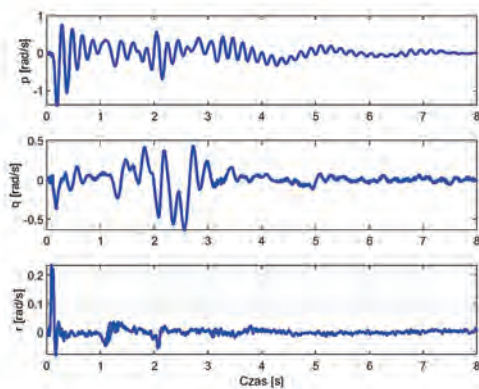
Rys. 9. Kąty RPY

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 10. Prędkości liniowe

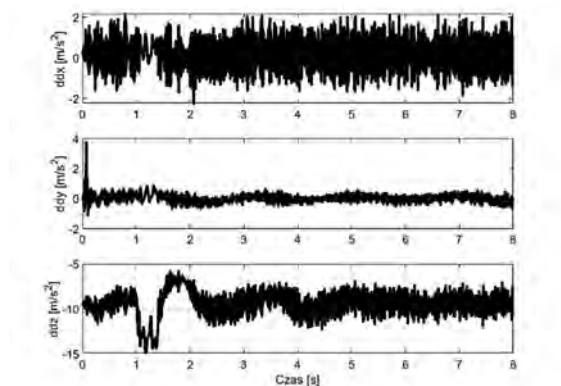
Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 11. Prędkości kątowe

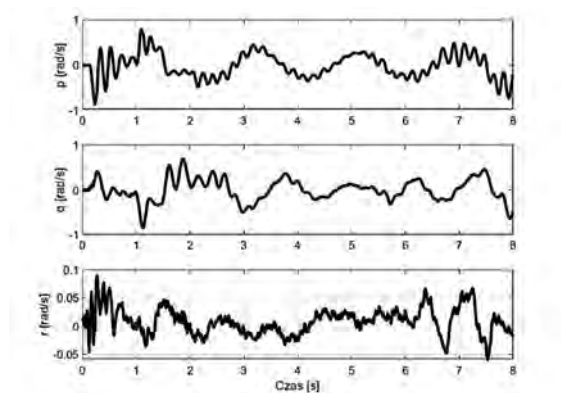
Źródło: Opracowanie własne

- Lot z obciążeniem z wysunięciem 2,6 cm:



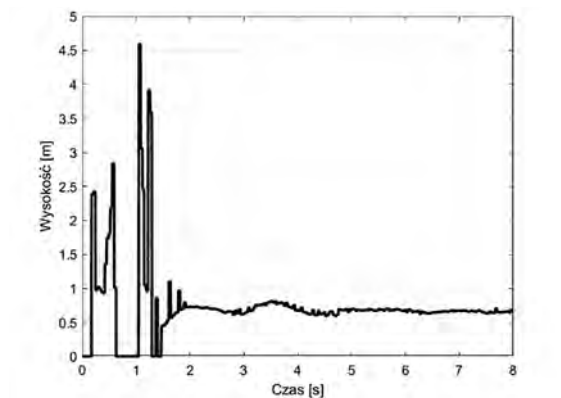
Rys. 12. Przyspieszenia liniowe

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 13. Prędkości kątowe

Źródło: Opracowanie własne.

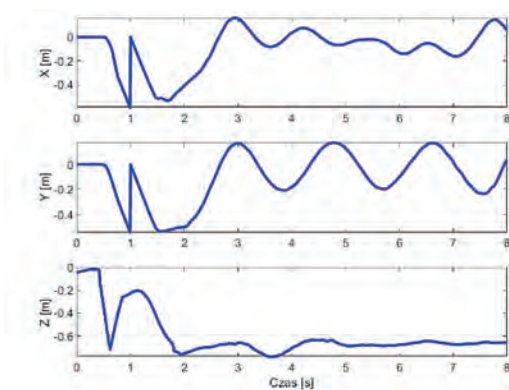


Rys. 14. Wysokość zmierzona za pomocą sonaru

Źródło: Opracowanie własne.

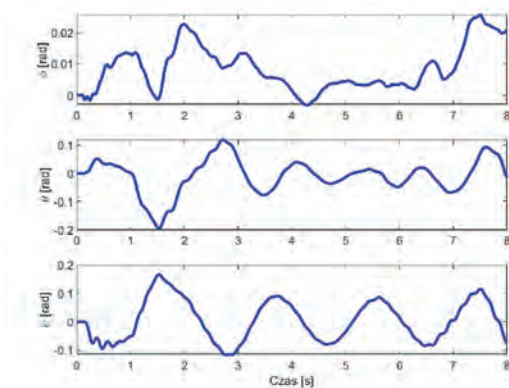
19. Ocena wpływu nierównomiernego rozłożenia masy na stabilizację śmigłowca...

D. Łuniewski, S. Podziewski, O. Gosk, Ł. Łobacz, L. Ambroziak



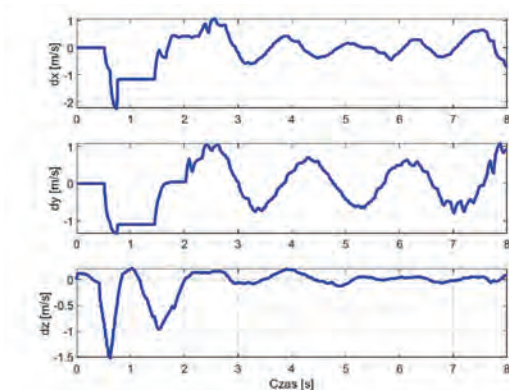
Rys. 15. Pozycja

Źródło: Opracowanie własne.



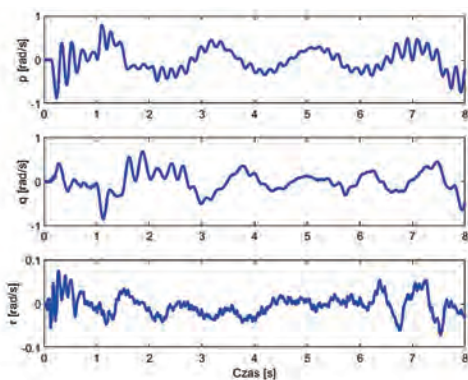
Rys. 16. Kąty RPY

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 17. Prędkości liniowe,

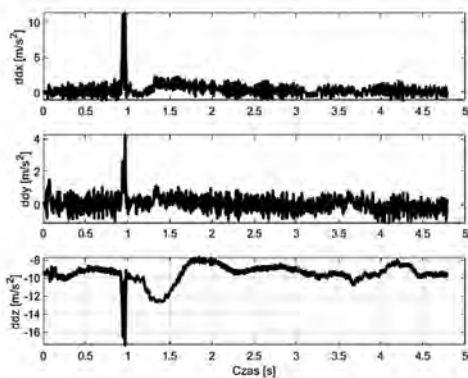
Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 18. Prędkości liniowe

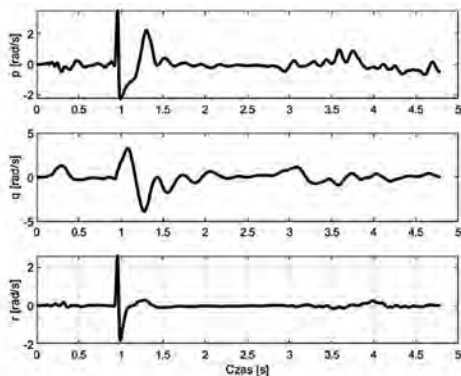
Źródło: Opracowanie własne.

- Loty z obciążeniem wysuniętym na odległość 5,5 cm:



Rys. 19. Przyspieszenia liniowe

Źródło: Opracowanie własne.

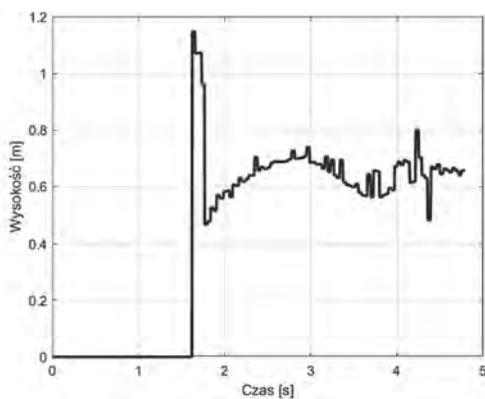


Rys. 20. Prędkości kątowe

Źródło: Opracowanie własne.

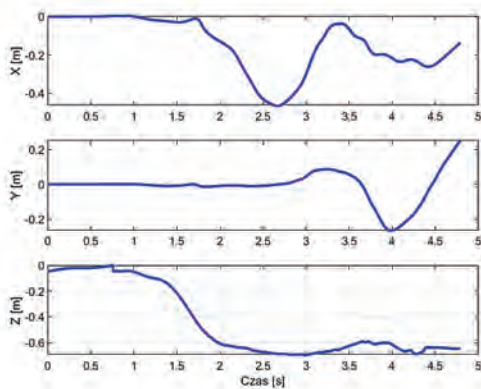
19. Ocena wpływu nierównomiernego rozłożenia masy na stabilizację śmigłowca...

D. Łuniewski, S. Podziewski, O. Gosk, Ł. Łobacz, L. Ambroziak



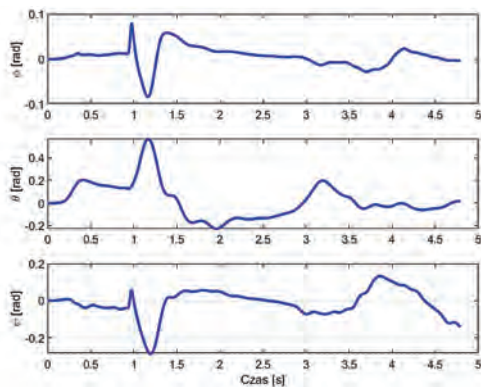
Rys. 21. Wysokość zmierzona za pomocą sonaru

Źródło: Opracowanie własne.



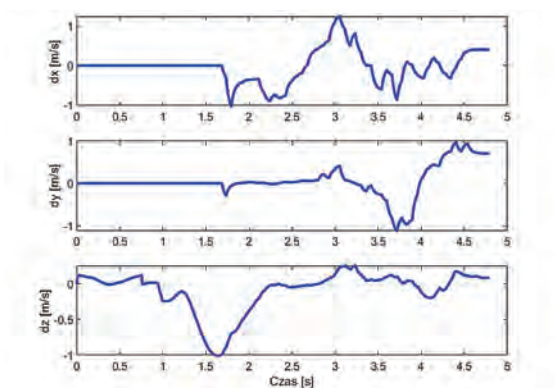
Rys. 22. Pozycja

Źródło: Opracowanie własne.



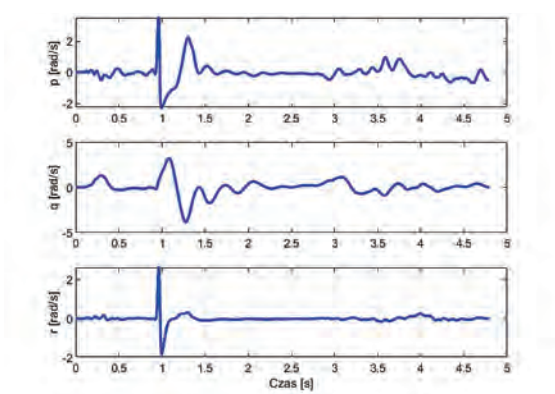
Rys. 23. Kąty RPY

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 24. Prędkości liniowe

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 25. Prędkości kątowe

Źródło: Opracowanie własne.d

Wnioski

Analiza wyników badań pozwala na wyciągnięcie kilku istotnych wniosków dotyczących wpływu nierównomiernego rozłożenia masy na stabilizację śmigłowca czterowirnikowego. Przede wszystkim, zaobserwowano, że loty wykonane bez obciążenia oraz z obciążeniem o minimalnym wysunięciu charakteryzują się podobnymi przebiegami stabilności, co może świadczyć o zdolności układu sterowania do kompensacji niewielkich

zmian rozkładu masy. Jednak, gdy masa jest znacząco przesunięta, stabilizacja drona ulega znacznemu pogorszeniu, co jest szczególnie widoczne na wykresach przedstawiających odchylenia w fazach startu i lądowania. Ponadto, z analizy danych wynika, że położenie dodatkowej masy ma kluczowe znaczenie dla stabilności drona. Nawet przy tej samej wartości obciążenia, różne położenia masy mogą prowadzić do istotnych różnic w zachowaniu drona. Dlatego projektowanie układów sterowania dla dronów musi uwzględniać nie tylko wielkość przenoszonego ładunku, ale przede wszystkim jego rozmieszczenie. W praktycznych zastosowaniach, takich jak transport ładunków czy wykonywanie specjalistycznych zadań, optymalizacja położenia masy może znacznie poprawić efektywność i bezpieczeństwo operacji dronów. Ostatecznie, przeprowadzone badania wskazują na potrzebę dalszych prac nad rozwijaniem układów sterowania zdolnych do dynamicznego dostosowywania się do zmian położenia masy. Takie układy sterowania mogłyby znacząco zwiększyć zdolności operacyjne dronów, szczególnie w zadaniach wymagających precyzyjnego manewrowania i stabilności w zmiennych warunkach obciążenia.

Literatura

- [1] Kaleta, Damian, et al. „Możliwości stosowania dronów do inspekcji mostów.” *Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej* 24 (2017): 141–149.
- [2] Berner, B.; Chojnacki, J. *Zastosowanie bezzałogowych statków powietrznych do opryskiwania upraw rolniczych*. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna, 2017, 2.
- [3] Skóra, Julia. „Wykorzystanie bezzałogowych statków powietrznych w kontekście zapewnienia bezpieczeństwa w państwie.” *Aviation and Security Issues* 1.1 (2022): 51–73.
- [4] Ruggiero, Fabio, Vincenzo Lippiello, and Anibal Ollero. „Aerial manipulation: A literature review.” *IEEE Robotics and Automation Letters* 3.3 (2018): 1957–1964.
- [5] Pounds, Paul EI, Daniel R. Bersak, and Aaron M. Dollar. „Grasping from the air: Hovering capture and load stability.” 2011 IEEE international conference on robotics and automation. IEEE, 2011.
- [6] Lindsey, Quentin, Daniel Mellinger, and Vijay Kumar. „Construction with quadrotor teams.” *Autonomous Robots* 33.3 (2012): 323–336.

- [7] Shimahara, Syohei, et al. „Aerial manipulation for the workspace above the airframe.” 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2015.
- [8] Michael, Nathan, Jonathan Fink, and Vijay Kumar. „Cooperative manipulation and transportation with aerial robots.” *Autonomous Robots* 30 (2011): 73–86.
- [9] Michael, Nathan, Jonathan Fink, and Vijay Kumar. „Cooperative manipulation and transportation with aerial robots.” *Autonomous Robots* 30 (2011): 73–86.

Witold Zięba¹

Politechnika Rzeszowska | Koło Naukowe Euroavia Rzeszów

Hubert Kaczorowski²

Politechnika Rzeszowska | Koło Naukowe Euroavia Rzeszów

Bartłomiej Kolanko³

Politechnika Rzeszowska | Koło Naukowe Euroavia Rzeszów

BADANIA AERODYNAMIKI KŁAP SZCZELINOWYCH NA POTRZEBY ZAWODÓW AIR CARGO CHALLENGE 2024

RESEARCH ON THE AERODYNAMICS OF SLOTTED FLAPS FOR THE AIR CARGO CHALLENGE 2024

S U M M A R Y

The Air Cargo Challenge competition involves designing and building a remotely controlled cargo aircraft within certain technical constraints. Optimizing the aircraft for the mission described in the regulations poses a complex engineering problem. A key factor in achieving the intended performance is obtaining suitable aerodynamic characteristics. Therefore, a series of analyses was conducted using the XFLR5 program, followed by the design of wing mechanization with the aid of ANSYS FLUENT software and wind tunnel tests at the Lublin University of Technology. Various concepts were considered, among which the application of slotted flaps proved most promising. Special test samples and a measurement platform were prepared. These tools were used to collect data from the wind tunnel tests.

-
- 1 Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, (Katedra Awioniki i Sterowania), Koło Naukowe EUROAVIA Rzeszów.
 - 2 Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, (Katedra Awioniki i Sterowania), Koło Naukowe EUROAVIA Rzeszów.
 - 3 Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, (Katedra Inżynierii Lotniczej i Kosmicznej), Koło Naukowe EUROAVIA Rzeszów.

The research identified the best possible configuration and airfoil that were subsequently utilized in further stages of aircraft design.

Keywords

aerodynamics, airfoils, analysis, slotted flaps, wing design.

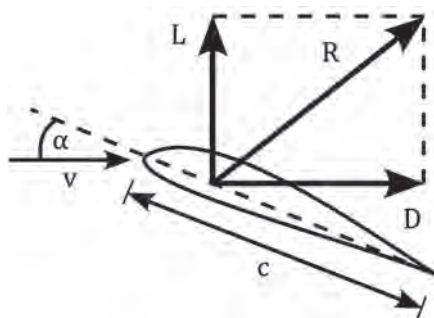
Wstęp

Zawody Air Cargo Challenge to konkurs dla studentów inżynierii lotniczej, który odbywa się w Europie co dwa lata. Zawody polegają na zaprojektowaniu i zbudowaniu zdalnie sterowanego samolotu udźwigowego przy pewnych ograniczeniach technicznych. Samolot bierze udział w zawodach, gdzie wykonać musi opisaną w regulaminie misję. Zadanie optymalizacji samolotu pod powyższą misję stanowi zawiły problem inżynieryjny, z którym w obecnym sezonie mierzyło się nasze koło naukowe. Kluczowym czynnikiem dla uzyskania zamierzonych osiągnięć, jest uzyskanie odpowiednich charakterystyk aerodynamicznych. W tym celu szereg analiz został wykonany w programie XFLR5, następnie przy pomocy oprogramowania ANSYS FLUENT oraz przeprowadzenia prób w tunelu aerodynamicznym na Politechnice Lubelskiej zaprojektowana została mechanizacja skrzydła. Projektowanie odpowiedniej aerodynamiki samolotu jest procesem iteracyjnym. Rozpoczyna się od doboru odpowiednich profili lotniczych, następnie dostosowywany jest kształt skrzydeł zapewniający odpowiedni rozkład siły nośnej, oraz minimalizację oporu aerodynamicznego. Zespół wykonał prototypowe skrzydło, którego testy wykazały niewystarczające osiągi podczas startu i wznoszenia. Postanowiono o zastosowaniu mechanizacji. Rozważane były różne koncepcje, z których najbardziej obiecującą było zastosowanie klap szczelinowych. Stanowiły one kompromis pomiędzy zastosowaniem skomplikowanej mechanizacji i uzyskaniem odpowiedniego przyrostu siły nośnej. Ich działanie opiera się na skrzydle dwuobwodowym wykorzystującym przyspieszenia przepływu na drugim profilu na skutek opływu pierwszego. Wybrany przez zespół profil lotniczy zastosowany w prototypowym modelu samolotu okazał się niewystarczający dla wykorzystania potencjału tego zjawiska. Postanowiono zbadać najbardziej

obietujące rozwiązania w warunkach zbliżonych do rzeczywistych. Wykonano specjalne próbki badawcze, laminowane włóknem szklanym piankowe profile z regulowaną klapą szczelinową, oraz platformę pomiarową opartą o dwie belki tensometryczne. Powyższe narzędzia posłużyły do zebrania danych z prób tunelowych. Przetestowane zostały trzy różne profile w czterech różnych konfiguracjach klap od 0 do 15 stopni na czterech różnych kątach natarcia symulujących oderwanie samolotu od ziemi. Wykorzystano również narastającą prędkość tunelu symulując rozbieg, wznoszenie i potencjalne wykorzystanie klap w trakcie przelotu.

Wybrane teoretyczne aspekty aerodynamiki

Warunkiem koniecznym by samolot oderwał się od ziemi jest wytworzenie na skrzydłach wystarczająco dużej siły nośnej [1]. Siła ta jest jedną z dwu składowych reakcji aerodynamicznej R , wynikającej ze względnego ruchu obiektu i opływającego go powietrza (rys. 1).



Rys. 1. Rozkład sił aerodynamicznych na skrzydle

Źródło: Anderson J., Fundamentals of Aerodynamics, McGraw-Hill Education, 2017

Siła nośna działa w kierunku prostopadłym do wektora prędkości v niezaburzonego strumienia napływającego powietrza [2]. Drugą ze składowych jest siła oporu aerodynamicznego. Działa ona w kierunku równoległym do wektora prędkości v niezaburzonego strumienia napływającego powietrza. Wartość siły nośnej L oraz siły oporu aerodynamicznego D można wyznaczyć ze wzorów (1) oraz (2) [1].

$$L = \frac{1}{2} \rho v^2 S C_L \quad (1)$$

$$D = \frac{1}{2} \rho v^2 S C_D \quad (2)$$

gdzie:

ρ – gęstość powietrza $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$

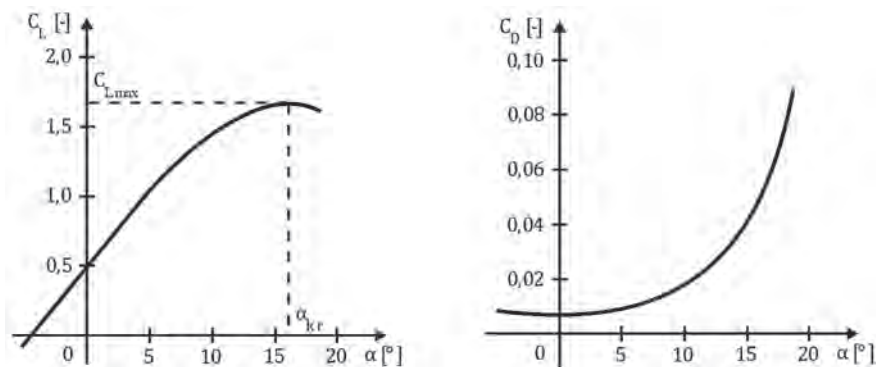
v – prędkość niezaburzonego strumienia powietrza $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$

S – powierzchnia nośna $[\text{m}^2]$

C_L – współczynnik siły nośnej $[-]$

C_D – współczynnik oporu aerodynamicznego $[-]$

Wartości współczynnika siły nośnej C_L oraz współczynnika oporu C_D zależą od kształtu profilu lotniczego oraz od tzw. kąta natarcia α . Jest to kąt zawarty między kierunkiem wektora prędkości niezaburzonego strumienia powietrza a odcinkiem c zwanym cięciwą, łączącym krawędź natarcia z krawędzią spływu (rys. 1) [1]. Wykresy zależności współczynnika siły nośnej C_L oraz współczynnika oporu C_D od kąta natarcia dla typowego profilu lotniczego (NACA 4412) przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Wykresy zależności współczynnika siły nośnej C_L oraz współczynnika siły oporu C_D od kąta natarcia

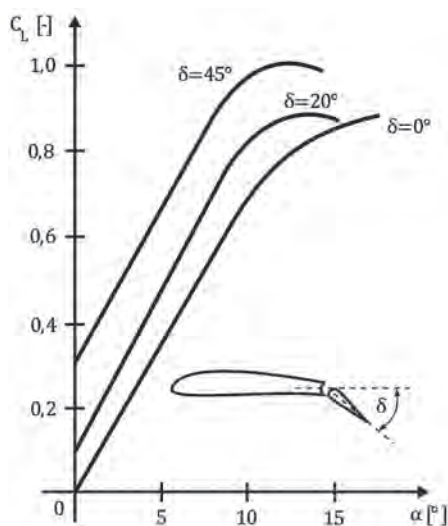
Źródło: <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=naca4412-il#polars> [dostęp: 10.05.2024]

Przebieg zmian współczynnika siły nośnej C_L wraz ze zmianą kąta natarcia α może być opisany w szerokim zakresie poprzez funkcję liniową. Dla coraz większych wartości kąta natarcia wykres traci jednak liniowy charakter. Po osiągnięciu wartości maksymalnej C_{Lmax} wartość

współczynnika siły nośnej C_L zaczyna maleć. Jest to efektem przekroczenia tak zwanego krytycznego kąta natarcia α_{kr} . Zjawisko to związane jest z oderwaniem przepływu powietrza na górnej części profilu i zmniejszeniem wartości generowanej siły nośnej [1, 2].

Jak wynika ze wzoru (1), siła nośna zależy od szeregu parametrów. Dwa z nich związane są bezpośrednio z kształtem skrzydeł samolotu. Mowa tu o powierzchni nośnej S oraz współczynniku siły nośnej C_L . Istnieje możliwość zmiany geometrii skrzydeł poprzez modyfikację ich powierzchni i wysklepienia. Osiąga się to między innymi poprzez zastosowanie mechanizacji krawędzi spływu skrzydła – tak zwanych klap [4].

Wysunięcie klap zwiększa współczynnik siły nośnej C_L (rys. 3) oraz niekiedy powierzchnię skrzydeł S . Pozwala to wytworzyć większą siłę nośną w momencie gdy prędkość samolotu jest mała. Klapy stosowane są więc podczas startu i lądowania pozwalając na zmniejszenie prędkości odpowiednio: oderwania i przyziemienia. Wysunięcie klap zwiększa też jednak siłę oporu D . Efekt ten może być pomocny podczas lądowania, gdy występuje potrzeba wyhamowania samolotu w trakcie zniżania natomiast w fazie przelotu dodatkowy opór nie jest pożądany i klapy pozostają schowane [2, 5].



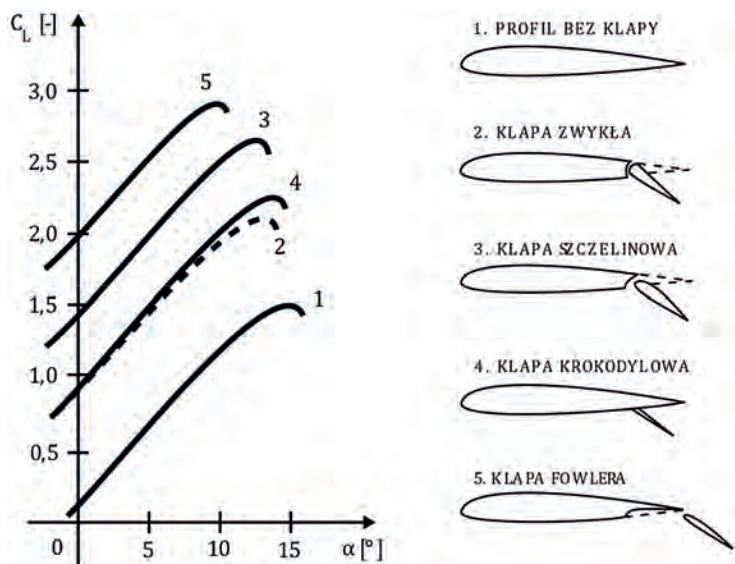
Rys. 3. Wykres zależności współczynnika siły nośnej C_L od kąta natarcia dla różnych kątów wychylenia klap δ

Źródło: Anderson J., Fundamentals of Aerodynamics, McGraw-Hill Education, 2017

Oprócz zwiększenia współczynnika siły nośnej C_L (przesunięcie wykresu $C_L = f(\alpha)$ wzdłuż osi pionowej) wysunięcie klap wpływa na wartość krytycznego kąta natarcia α_{kr} (przesunięcie wykresu $C_L = f(\alpha)$ wzdłuż osi poziomej). Kąt ten maleje wraz ze wzrostem kąta wychylenia klapy δ , co przedstawiono na rys.3. Oznacza to, że do przeciągnięcia (oderwania strug powietrza opływających górną powierzchnię skrzydła, czego skutkiem jest gwałtowny spadek siły nośnej) może dojść dla mniejszych wartości kąta natarcia [1].

Istnieje wiele rodzajów klap montowanych na krawędzi spływu skrzydła (rys. 4) [6]. Do podstawowych można zaliczyć: klapę prostą, szczelinową, krokodylową i Fowlera. Różnią się one sposobem działania oraz budową. Wychylenie wymienionych wyżej klap o pewien zadany kąt niesie ze sobą różne przyrosty współczynnika siły nośnej w zależności od typu rozważanej klapy.

Charakterystyki aerodynamiczne profili z różnymi rodzajami klap przedstawiono na rys. 4 [2].



Rys. 4. Wykres zależności współczynnika siły nośnej C_L od kąta natarcia dla różnych typów klap

Źródło: Hurt H., Aerodynamics For Naval Aviators, BN Publishing, 2012

Klapa zwykła realizowana jest poprzez zamocowanie końcowej części skrzydła (krawędzi spływu) na zawiasach. Wychylenie klapy zwiększa

znacząco wysklepienie profilu, czego skutkiem jest przyrost współczynnika siły nośnej C_L . Kłapa szczelinowa jest podobna do kłapy zwykłej lecz szczelina między kłapą, a nieruchomą częścią skrzydła jest specjalnie kształtowana. Powietrze przepływające przez wspomnianą szczelinę (z dolnej części skrzydła, gdzie panuje wyższe ciśnienie na górną część skrzydła, gdzie ciśnienie jest obniżone) przyspiesza i dostarcza energii do przepływu wokół górnej powierzchni skrzydła opóźniając tym samym odejście strug, co w konsekwencji pozwala na osiągnięcie większej wartości maksymalnego współczynnika siły nośnej. Charakterystyczną cechą kłapy krokodylowej jest wychylenie jedynie dolnej ruchomej powierzchni. Górny obrys profilu pozostaje niezmieniony. Rozwiązanie takie wiąże się jednak ze znacznym wzrostem oporu aerodynamicznego powstałego wskutek wytworzenia silnie turbulentnego śladu aerodynamicznego za skrzydłem z kłapą krokodylową. Konstrukcja kłapy Fowlera jest najbardziej złożoną z wymienionych rodzajów kłap. Ruchoma powierzchnia nie jest jedynie wychylana w dół lecz oprócz tego wysuwa się do tyłu (w kierunku krawędzi spływu) powiększając powierzchnię nośną skrzydła [2, 6].

Jak wynika z wykresu przedstawionego na rys.4 największy przyrost współczynnika siły nośnej jest możliwy do uzyskania stosując kłapę Fowlera. Mając jednak na uwadze stopień złożoności mechanizmu wysuwania takiej kłapy postanowiono zastosować w budowanym samolocie kłapę szczelinową. Mimo, że zapewnia ona nieco mniejszy maksymalny współczynnik siły nośnej to sposób wykonania kłapy szczelinowej jest prostszy niż kłapy Fowlera.

Przebieg badań

Aby poprawić wznoszenie i start, nasza grupa zdecydowała się wykorzystać złożoną mechanizację kłap. Przeprowadzono rozważania między kłapami szczelinowymi a kłapami Fowlera. Oba rozwiązania korzystają z korzyści związanych z przepływem wokół dwuczęściowego profilu skrzydła, gdzie przepływ wokół pierwszego profilu przyspiesza przepływ nad drugim (kłapą). Pozwala to na bardziej zauważalny wzrost siły nośnej przy nieznacznie mniejszym wzroście oporu przy tej samej prędkości.

Wysunięcie klap zwiększa prędkość wznoszenia. Dlatego prawie wszystkie nowoczesne samoloty pasażerskie są wyposażone w klapy Fowlera. Jednak biorąc pod uwagę złożoną i ciężką mechanizację, zdecydowaliśmy się na wykorzystanie klap szczelinowych, które dają nieco gorsze wyniki, ale znacznie prostszą i lżejszą mechanizację. Przyspieszenie przepływu występujące w szczelinie takiej klapy ukazuje rys.5.



Rys. 5. Przyspieszenie przepływu w klapie szczelinowej

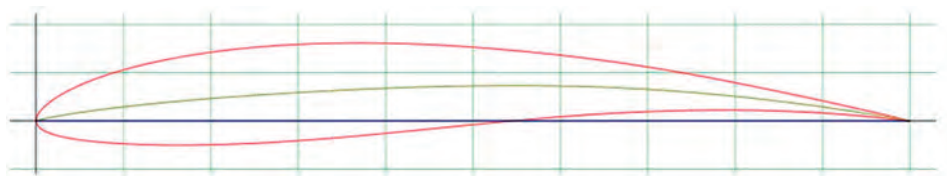
Źródło: Opracowanie własne.

Ponieważ program XFLR5, w którym dobierano pierwotnie profil jest stosunkowo prostym narzędziem, opartym na rozwiązywaniu równań Eulera dla przepływu nieściśliwego, a rozwiązanie przepływu ściśliwego jest interpolowane z rozwiązania Xfoil dla jednowymiarowego rozwiązania warstwy granicznej. Gdy taki przepływ napotka koniec profilu, program kończy obliczenia. Dlatego analiza dwuczęściowego profilu skrzydła nie jest możliwa. Aby rozwiązać to ograniczenie, przeprowadzono symulacje CFD RANS (Computational Fluid Dynamics Reynolds-Averaged Navier-Stokes) za pomocą oprogramowania ANSYS FLUENT. W wyniku naszej analizy uzyskaliśmy najlepsze wyniki dla odchylenia klapy o 10 stopni z wielkością szczeliny wynoszącą 3% przy 28% cięciwy.

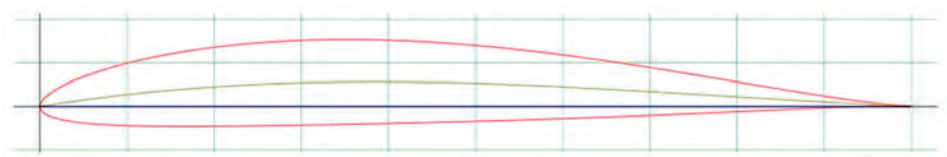
Aby potwierdzić teoretyczne założenia, które były podstawą wyboru profilu aerodynamicznego, przeprowadzona została seria badań w tunelu aerodynamicznym. Badania te miały na celu zweryfikowanie przewidywanych parametrów oraz ocenić, jak rzeczywiste dane pomiarowe korelują z wynikami uzyskanymi z obliczeń..

W trakcie badań w tunelu aerodynamicznym zostały dokonane pomiary wartości siły nośnej oraz oporu aerodynamicznego dla wybranego profilu przy różnych prędkościach powietrza, kątach natarcia oraz kątach wychylenia klap.

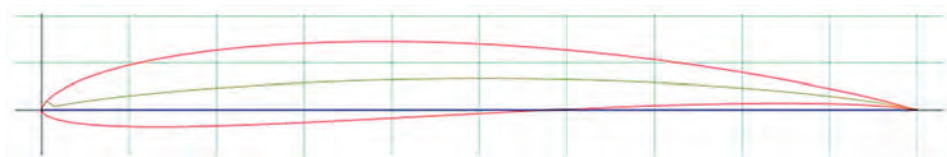
Na podstawie danych w postaci punktów opisujących kształt profili lotniczych, zostały wykonane 3 modele płatów. Wybranymi profilami były: AH 64 (rys. 6), Wortmann FX84/MW50 (rys. 7) oraz Eppler E64 (rys.8).



Rys. 6. Profil AH 79

Źródło: <http://www.airfoiltools.com/>

Rys. 7. Profil Wortmann FX84/MH50

Źródło: <http://www.airfoiltools.com/>

Rys. 8. Profil E64

Źródło: <http://www.airfoiltools.com/>

Dane geometryczne profili:

AH79:

- Maksymalna grubość profilu – 10% cięciwy, w odległości od noska – 27,9% cięciwy
- Maksymalna strzałka profilu – 3,6% cięciwy, w odległości od noska – 56,5% cięciwy

E64:

- Maksymalna grubość profilu – 8,4% cięciwy, w odległości od noska – 27,8% cięciwy
- Maksymalna strzałka profilu – 2,9% cięciwy, w odległości od noska – 56,5% cięciwy

Wortmann FX84/MW50:

- Maksymalna grubość profilu – 12% cięciwy, w odległości od noska – 33,9% cięciwy
- Maksymalna strzałka profilu – 2,8% cięciwy, w odległości od noska – 37,5% cięciwy

Każdy z powyższych profili jest profilem wklęsło-wypukłym oraz charakteryzuje się wysokim współczynnikiem siły nośnej. W każdym z nich zamontowane zostały klapy szczelinowe, które w zerowym kącie wychylenia znajdowały się w obrysie profilu bez klapy.

W celu analizy została skonstruowana prosta stacja robocza wyposażona w dwie belki tensometryczne do pomiarów siły nośnej i oporu (rys. 9). Płaty nośne zostały wykonane z płyty XPS. Proces wycięcia z odpowiednią dokładnością został osiągnięty przez użycie numerycznej maszyny dwuosiowej, w której elementem tnącym jest drut oporowy. Następnie modele zostały pokryte laminatem z tkaniny włókna szklanego, dla uzyskania odpowiedniej wytrzymałości, ale też powierzchni o niskich wartościach chropowatości. Zmiany kąta natarcia odbywały się przez panel sterowania tunelu aerodynamicznego, z którego można było poruszać podstawą do której stanowisko pomiarowe było przymocowane. Kąt wychylenia klapy regulowany był przez zamocowanie jej końcówki na prowadnicy która znajdowała się na płycie bocznej. Pomiar prędkości przepływu odbywał się przez dajnik ciśnienia dynamicznego. Zastosowanie płyt na bocznych powierzchniach płata ma na celu zredukowanie oporu indukowanego

skrzydła, w rozumieniu zbliżenia wyników do wyników teoretycznego skrzydła o nieskończonym wydłużeniu.



Rys. 9 Stanowisko pomiarowe

Badania zostały przeprowadzone dla poniższych danych:

Prędkość przepływu:

$$v_1 = 8 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

$$v_2 = 10 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

$$v_3 = 12 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

$$v_4 = 15 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Kąt natarcia:

$$\alpha_1 = 0^\circ$$

$$\alpha_2 = 3^\circ$$

$$\alpha_3 = 5^\circ$$

$$\alpha_4 = 7^\circ$$

Kąt wychylenia kłapy szczelinowej:

$$\delta_1 = 0^\circ$$

$$\delta_2 = 5^\circ$$

$$\delta_3 = 10^\circ$$

$$\delta_4 = 15^\circ$$

Wykonanych zostało 192 prawidłowych pomiarów dla wszystkich konfiguracji danych wejściowych, najlepszym profilem pod względem współczynnika siły nośnej okazał się profil AH 79. Przy wychyleniu kłapy o wartości 10 stopni, na każdym z badanych kątów natarcia wartość współczynnika siły nośnej była wyższa od pozostałych profili.

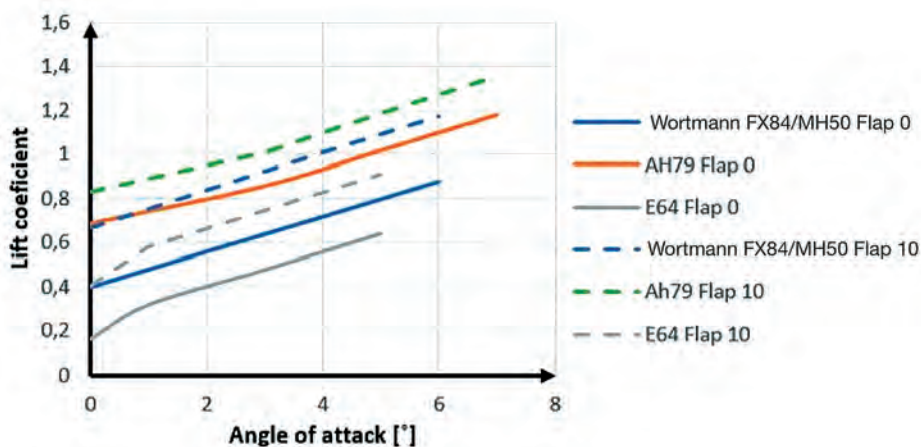
Wyniki

Tabela 1. Otrzymane wyniki wartości współczynników siły nośnej i oporu

AH79								
	Kłapa 0°		Kłapa 5°		Kłapa 10°		Kłapa 15°	
Kąt	C_L	C_D	C_L	C_D	C_L	C_D	C_L	C_D
0	0,6985	0,0379	0,846	0,066	1,0386	0,1685	0,8227	0,0722
3	0,8725	0,0917	1,0294	0,0923	1,0386	0,1685	0,9525	0,1746
5	1,0361	0,0999	1,2086	0,1102	1,3413	0,1403	1,1214	0,1995
7	1,2017	0,0923	1,3793	0,1227	1,5267	0,1186	1,2765	0,2327

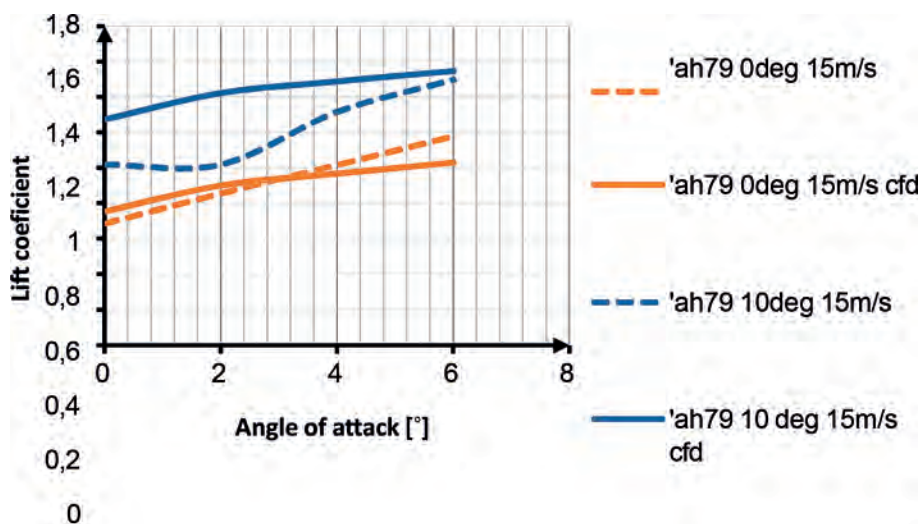
Źródło: opracowanie własne.

Maksymalna otrzymana wartość współczynnika siły nośnej wyniosła 1,5267. Ze względu na niskie i podobne wyniki oporu, które mogły zostać osiągnięte przez niedokładności pomiarowe, rys. 10 prezentuje wykresy $C_L(\alpha)$, a wyniki oporu zostały wykorzystane do prawidłowego ustawienia kąta natarcia aerodynamicznego wszystkich testowanych profili.



Rys. 10. Analiza wyników współczynnika siły nośnej w tunelu aerodynamicznym

Dodatkowo, wyniki analizy CFD porównano z pomiarami z tunelu aerodynamicznego dla skrzydła z profilem AH79



Rys. 11. Porównanie wyników ANSYS FLUENT i analizy w tunelu aerodynamicznym

Spodziewane były rozbieżności między wynikami z CFD a tunelu aerodynamicznego, zwłaszcza w odniesieniu do analizy przepływu z wysuniętymi kłapami, wpływu zawiasów oraz niedokładności wykonania modelu

płata. Wykres (rys. 11) pokazuje znaczną zbieżność dla profili z wycofanymi klapami, potwierdzając dokładność odwzorowania rzeczywistego modelu oraz wspomnianą rozbieżność dla wysuniętych klap. W rezultacie profil AH79 został wybrany do dalszego procesu konstrukcji samolotu.

Podsumowanie

Badania wykazały, że teoretyczne założenia były w dużej mierze trafne. Na podstawie uzyskanych danych przeprowadzono analizę, która pozwoliła na bardziej precyzyjne przewidywanie zachowania profilu w rzeczywistych warunkach aerodynamicznych. Wyniki pomiarów zostały następnie porównane z teoretycznymi obliczeniami, co pozwoliło na ocenę dokładności modeli matematycznych używanych podczas projektowania.

Przeprowadzone badania w tunelu aerodynamicznym były kluczowym etapem w procesie weryfikacji teoretycznych założeń i umożliwiły dostosowanie ich do rzeczywistych warunków, co w konsekwencji przyczyniło się do otrzymania optymalnej wartości kątowej wychylenia klapy w celu uzyskania jak największej siły nośnej podczas startu bezzałogowego statku powietrznego. Było to kluczowe dla osiągnięcia długości rozbiegu mniejszej niż 40 m co od początku było założeniem konstrukcji.

Literatura

- [1] Anderson J., *Fundamentals of Aerodynamics*, McGraw-Hill Education, 2017.
- [2] Hurt H., *Aerodynamics For Naval Aviators*, BN Publishing, 2012.
- [3] <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=naca4412-il#polars> [dostęp: 10.05.2024].
- [4] <https://www.meil.pw.edu.pl/za/ZA/Courses/Aerodynamika-2> [dostęp: 10.05.2024].
- [5] Angelov I., Velkova C., *Influence of a slotted flap gap size on the aerodynamic characteristics of a light aircraft wing at taking off and landing*, 2020.
- [6] Kluga N., *A Study of Flap Management, an Analysis of the Consequences of Flap Management, and a Search for Possible Causes*, 1991.

Weronika Nadworska

Politechnika Lubelska | Koło Naukowe Ucznia Maszynowego ATLAS

Piotr Szyszka

Politechnika Lubelska | Koło Naukowe Ucznia Maszynowego ATLAS

Maksymilian Kozieł

Politechnika Lubelska | Koło Naukowe Ucznia Maszynowego ATLAS

Magdalena Piłat-Rożek

Politechnika Lubelska |

| Wydział Matematyki i Informatyki Technicznej | Katedra Matematyki Stosowanej

WYKORZYSTANIE TECHNIK ANALIZY DANYCH DO BADANIA LOTNYCH ZWIĄZKÓW ORGANICZNYCH W PRÓBKACH PERFUM ORAZ ICH ZAMIENNIKÓW

APPLICATION OF DATA ANALYSIS TECHNIQUES FOR THE STUDY OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS IN PERFUME SAMPLES AND THEIR SUBSTITUTES

S U M M A R Y

This article presents the application of data analysis techniques for measuring the gas resistance of volatile organic compounds of perfume samples. The study was performed using a BME688 electronic nose. The paper focuses on exploratory data analysis, clustering and classification of fragrance samples. The paper shows how to build a highly effective predictive model, distinguishing between odours that are very similar to the human sense of smell. This approach has potential applications in the study of perfume quality and authenticity, enabling effective detection of imitations using statistical methods.

Key words

data science, volatile organic compounds, perfume

Wstęp

Perfumy, będące przedmiotem codziennego użytku są mieszaniną związków zapachowych, środków homogenizujących i wzmacniaczy oraz rozpuszczalników. W zależności od ilości rozpuszczalnika rozróżnia się perfumy właściwe (ekstrakty), wody perfumowane i wody toaletowe. Kompozycja zapachowa, decydująca o specyficznym zapachu, składa się z trzech akordów: bazowego, średniego (serca) oraz wysokiego (głowy). Zapachy dzielą się na kategorie takie jak cytrusowe, kwiatowe, orientalne czy drzewne. Różnorodność i złożoność zapachów sprawiają trudność ludzkiemu zmysłowi węchu, przy próbie ich rozróżniania. Rozwiązaniem tego problemu jest elektroniczny nos.

Elektroniczny nos to zespół czujników gazów, mierzących takie cechy jak rezystancja czy wilgotność, wraz z oprogramowaniem pozwalającym analizować uzyskane dane. Algorytmy uczenia maszynowego stosowane w takim rozwiązaniu pozwalają rozwiązywać wiele problemów. Elektroniczne nosy znajdują zastosowanie w badaniach zanieczyszczeń powietrza [3], klasyfikacji produktów spożywczych [1] czy analizie oddechu pacjentów w celu predykcji występowania nowotworów płuc [4].

W pracy przedstawiono zastosowanie technik statystycznych oraz uczenia maszynowego w zadaniu eksploracji oraz klasyfikacji danych pochodzących z czujników elektronicznego nosa. Takie postępowanie pozwoliło na odkrycie interesujących zależności stojących za zapachami, a w konsekwencji, zbudowanie modeli klasyfikacyjnych, skutecznie odpowiadających na zadane problemy.

Praca składa się z czterech części. W pierwszej opisano narzędzie i metodologię zbierania danych. Druga część zawiera analizę eksploracyjną i przygotowanie danych do modelu predykcyjnego. W trzeciej części omówione zostały zastosowane metody, zaś w ostatniej części zaprezentowano wyniki i wnioski z badania.

Elektroniczny nos

Na potrzeby badań wykorzystano zespół Evaluation Kit Board BME688 [8], będący połączeniem płytki deweloperskiej Adafruit HUZZAH32 [11]

z wbudowanym modulem Wi-Fi ESP32, oraz płytki deweloperskiej BME688 zawierającej osiem sensorów BOSCH BME688 [9]. Sensory rejestrują dane w dziesięciu punktach pomiarowych rezystancji gazu, ciśnienie atmosferyczne w zakresie od 300 hPa do 1100 hPa, temperaturę w szerokim zakresie od -40°C do $+85^{\circ}\text{C}$ oraz wilgotność powietrza w pełnym zakresie. W Tabeli 1. przedstawiono właściwości wykorzystanego urządzenia.

Tabela 1. Specyfikacja Evaluation Kit Board BME688

Parametry	
Interface	I ² C and SPI
Średni pobór prądu	3.9 mA w standardowym trybie pomiaru gazu
Sensor rezystancji	
Standardowy czas pomiaru	10.8 s / pomiar
Pobór prądu przy pomiarze standardowym	0.18 mAh (5 pomiarów ~ 1 min)
Czas odpowiedzi (τ 33-63%)	< 1 s
Odchylenie między czujnikami	+/- 15% +/- 15
Sensor ciśnienia	
Zakres pomiaru (pełna dokładność)	300 hPa - 1100 hPa
RMS Szumu	0.12 Pa (odp. 1.7 cm)
Błąd czułości	$\pm 0.25\%$ (odp. zmianie o 1 m na wys. 400 m)
Przesunięcie współczynnika temperaturowego	$\pm 1.3\text{ Pa/K}$ (odp. $\pm 10.9\text{ cm}$ na 1°C zmiany temperatury)
Sensor temperatury	
Zakres pomiaru (pełna dokładność)	-40°C - $+85^{\circ}\text{C}$
Dokładność bezwzględna	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ (0°C - 65°C)
Sensor wilgotności	
Zakres pomiaru (pełna dokładność)	0% - 100%
Czas odpowiedzi (τ 0-63%)	8 s
Tolerancja	$\pm 3\%$ wilgotności względnej
Histeresa	$\leq 1.5\%$ wilgotności względnej

Źródło: Opracowanie własne na podstawie specyfikacji producenta [9].

Metodologia

Podczas zbierania próbek bardzo istotnym było zachowanie szczególnej ostrożności, by nie zanieczyścić płytki z sensorami, gdyż nawet niewielkie zabrudzenie powierzchni sensora mogłoby zaburzyć jego odczyty.

Aby uniknąć bezpośredniej ekspozycji sensorów na estry zawarte w badanych wodach perfumowanych, postanowiono aplikować zapachy na paski z gęstego, niezadrukowanego papieru, pochodzącego z tego samego arkusza papieru dla maksymalnej powtarzalności testu. W ten sposób przygotowany preparat pozostawiany był do odparowania alkoholu przez minutę. Następnie, wraz z płytką, preparat umieszczany był w szczelnym worku wykonanym z wysokiej gęstości polietylenu. Po trwającej 30 minut (± 1 min.) sesji poboru głównej próbki, pobierany był pomiar powietrza pochodzącego z otoczenia pozbawionego preparatu perfum. Trwający 10 minut (± 0.5 min.) pomiar miał na celu umożliwienie późniejszego odfiltrowania rezydualnych cząstek zapachowych, które podczas pomiaru głównego mogły osadzić się na powierzchni zespołu.

Po zakończeniu danej sesji pomiarów, cały zespół sensorów pozostawiano do wywietrzenia przez okres ok. 2 godz. Warto zaznaczyć, że zadbano, by pomiary próbek oryginału i imitacji danego zapachu zawsze były oddzielone pomiarem wody perfumowanej innego producenta. W ten sposób ograniczono scenariusz, w którym wyniki badań wskazywałyby na wyższe podobieństwo zapachów, niż obserwowane w rzeczywistości, na przykład z powodu rezydualnych śladów substancji zapachowych perfum oryginalnych, obecnych w momencie dokonywania pomiarów perfum nieoryginalnych.

Każda kolejna sesja pomiarów odbywała się przy użyciu wywietrzonego zespołu czujników, w wywietrzonej pomieszczeniu oraz z wykorzystaniem nowego worka. Zespół sensorów wykorzystany do zebrania próbek przedstawia Rysunek 1.



Rys. 1. Evaluation Kit Board BME688 podczas zbierania próbek perfum

Źródło: Opracowanie własne.

Oprogramowanie

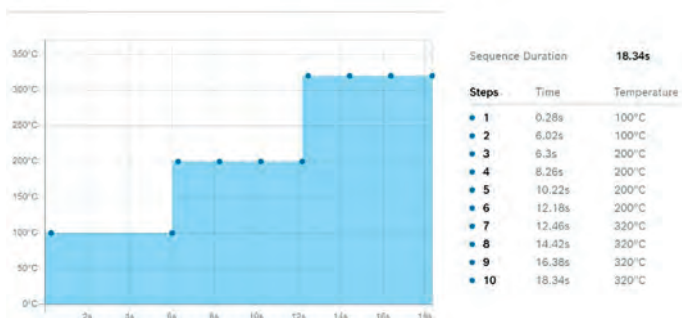
Zespół układów scalonych i sensorów współpracuje z oprogramowaniem BME AI-Studio, umożliwiającym dostosowanie sposobu, w jaki urządzenie zbiera dane z otoczenia.

Ustalając szczegółowy program zebrania danych, poszukiwano kompromisu pomiędzy różnorodnością i szerokością zakresu pomiarowego, a powtarzalnością i niezawodnością. Połączenie tych cech zapewniła kombinacja dwóch profili: HP-301 oraz HP-504, rozłożonych równomiernie na 4 pary sensorów.

Decydując o cyklu pracy układu wybrano ustawienie RDC-1-0, zapewniające stałe próbkowanie przez cały okres trwania pomiaru.

Konfigurację sensorów oraz przebiegi wybranych do badania profili termicznych, prezentują pochodzące z programu BME AI-Studio grafiki zamieszczone na Rysunkach 2–4.

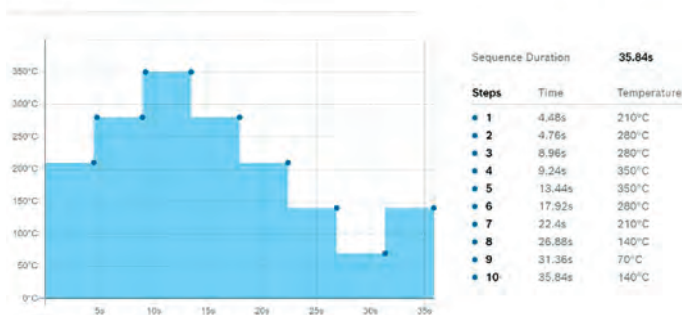
HP-301



Rys. 2. Przebieg profilu HP-301

Źródło: Program BME AI-Studio.

HP-504



Rys. 3. Przebieg profilu HP-504

Źródło: Program BME AI-Studio.



Rys. 4. Układ sensorów BME688

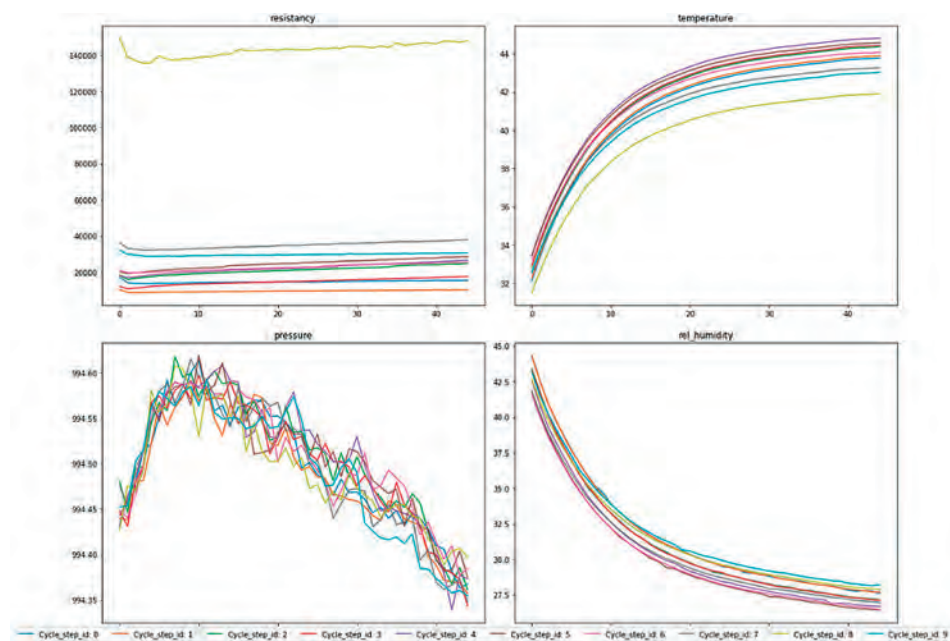
Źródło: Program BME AI-Studio.

Charakterystyka zebranych danych

W badaniu uwzględniono cztery pary perfum oryginalnych oraz fałszywych. Są to: Euphoria (Calvin Klein), Good Girl (Carolina Herrera), The One (Dolce & Gabbana) oraz Y (Yves Saint Laurent).

Elektroniczny nos zbiera dane w dziesięciu krokach pomiarowych dla czterech kanałów: rezystancji (w Ω), temperatury (w $^{\circ}\text{C}$), ciśnienia (w hPa) oraz wilgotności (w %).

Jako przykład opracowania danych posłużyły próbki imitacji perfum



Rys. 5. Odczyty czterech kanałów w dziesięciu krokach dla falsyfikatów perfum Euphoria

Źródło: Opracowanie własne.

Na wykresach na Rysunku 5. widać tendencję badanych zmiennych dla przedstawionych perfum – zwiększa się temperatura otoczenia pod wpływem pracy układu, zmniejsza się wilgotność powietrza. Wraz z upływem czasu zbierania próbek, zwiększają się wartości rezystancji.

Eksploracyjna analiza danych

W Tabeli 2. zaprezentowano statystyki opisowe danych odczytanych z czujnika gazów na przykładzie zapachu Euphoria.

Tabela 2. Statystyki opisowe czterech zmiennych dla perfum Euphoria

Statystyka	resistancy	temperature	pressure	humidity
Count	5750	5750	5750	5750
Mean	581309,6	41,238	1002,365	33,786
Std	1619313	2,176	0,159	3,155
min	11118,83	32,951	1002,007	29,047
25%	48843,31	40,336	1002,273	31,519
50%	88858,04	41,829	1002,354	32,824
75%	124612,1	42,785	1002,437	35,297
max	9890733	44,536	1002,802	44,286

Źródło: Opracowanie własne.

Na podstawie powyższych statystyk opisowych czterech kanałów zebranych przez elektroniczny nos, dostrzec można, że układ scalony nagrzewał się podczas badania – od początkowej temperatury 32°C przeszedł do 44°C. Ciśnienie zmierzone w tym samym czasie pozostawało na względnie stałym poziomie. Wilgotność, podobnie jak i temperatura, ulegała zmianie podczas badania. Zebrane dane różnią się od siebie znacząco zakresami zmienności, co zadecydowało o przeprowadzeniu ich standaryzacji, według formuły

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s}, \quad (1)$$

gdzie jest średnią arytmetyczną, a odchyleniem standardowym .

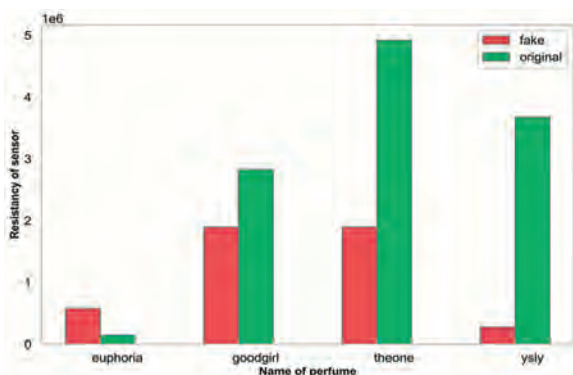
Warto także zwrócić uwagę na minimalne oraz maksymalne wartości rezystancji – wartość największa jest niemal 900-krotnie większa od najmniejszej. Wynika to z faktu, że przebieg rezystancji jest skalowany w zależności od kroku pomiarowego, co można zaobserwować na Rysunku 5.

Porównanie oryginałów oraz falsyfikatów perfum

Na wykresie na Rysunku 6. można zauważyć, że dla zapachu Euphoria wartość rezystancji oryginalnych perfum jest mniejsza niż dla pozostałych próbek. Jednak dla trzech pozostałych, wartości rezystancji oryginałów znacznie przewyższają wartości dla ich odpowiedników.

21. Wykorzystanie technik analizy danych do badania lotnych związków organicznych...

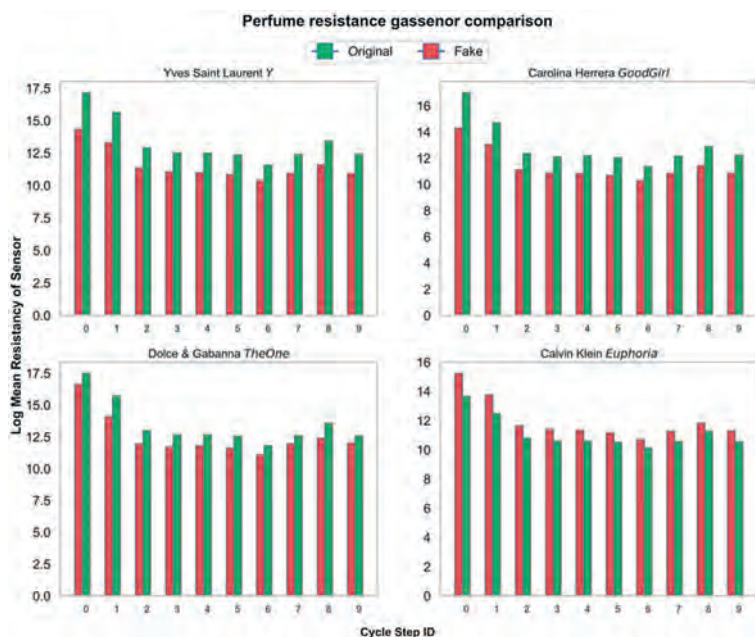
W. Nadworska, P. Szyszka, M. Kozieł, M. Piłat-Rożek



Rys. 6. Porównanie odczytów rezystancji dla oryginalnych perfum oraz falsyfikatów

Źródło: Opracowanie własne.

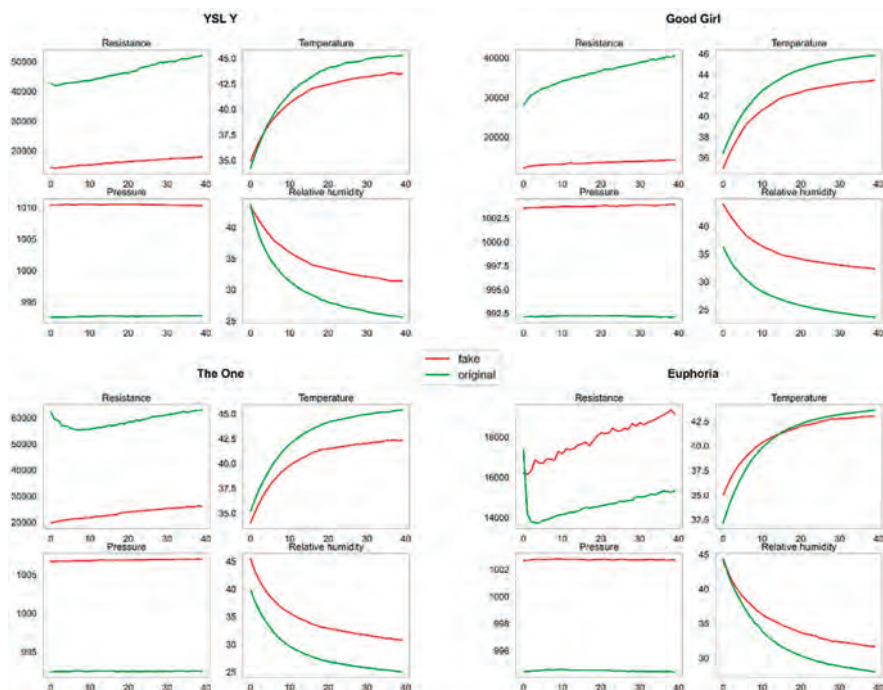
Na Rysunku 7., dla wszystkich zapachów oprócz Euphoria (CK), na wykresach obserwowane są wyższe wartości odczytów rezystancji dla oryginalnych perfum, niż dla ich falsyfikatów.



Rys. 7. Zestawienie logarytmów średniej rezystancji oryginalnych zapachów oraz ich falsyfikatów dla każdego kroku cyklu

Źródło: Opracowanie własne.

Na Rysunku 8. zauważyć można wyraźne różnice między oryginałami perfum, a ich imitacjami. The One, Y i Good Girl mają wyższe wartości rezystancji niż ich odpowiedniki, natomiast w przypadku zapachu Euphoria to imitacja ma wyższe wartości rezystancji gazowej. Odczyty ciśnienia różnią się znacząco dla każdej pary perfum, podczas gdy temperatura i wilgotność pozostają na podobnym poziomie dla wszystkich próbek.



Rys.8. Porównanie odczytów z czterech kanałów oryginałów oraz falsyfikatów dla wybranego czujnika gazu oraz kroku cyklu
Źródło: Opracowanie własne.

Analiza skupień

W celu odkrycia wzorców i podobieństw w zbadanych próbkach zapachowych, zastosowano algorytmy analizy skupień. Mimo, że analiza skupień jest jedną z metod nienadzorowanego uczenia maszynowego, w przypadku, gdy próbki były oznaczone, możliwe było porównanie wyników z ich rzeczywistymi etykietami.

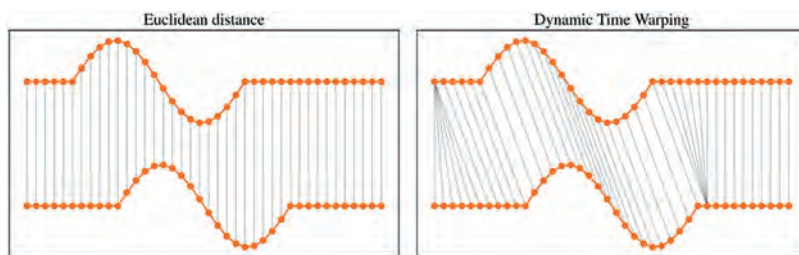
Ze względu na sekwencyjny charakter danych, w badaniu nie należało wykorzystać klasycznych metod klastrowania – rekordy traktowane są przez nie jak punkty w wielowymiarowej przestrzeni, a nie jako strumień danych w czasie. Wobec tego konieczne było dostosowanie algorytmów klastrowania do sekwencyjnego układu danych, traktując poszczególne próbki jako szeregi czasowe. Dzięki temu możliwe było grupowanie podobnych przebiegów, uwzględniając ich kształt, amplitudę i zmienność.

Grupowaniu poddany został sygnał z kanału rezystancji. Wykorzystano do tego adaptację algorytmu k-średnich dla szeregów czasowych [7]. Zastosowanie tego algorytmu umożliwiło uwzględnienie dynamicznego charakteru sygnału i pogrupowanie obiektów ze względu na przebieg rezystancji w czasie.

W kontekście oceny podobieństwa między próbkami szeregów czasowych wykorzystano metrykę Dynamic Time Warping (DTW) [6], polegającą na znalezieniu optymalnej ścieżki dopasowania pomiędzy dwoma szeregami, minimalizującej sumaryczną odległość między odpowiadającymi sobie punktami czasowymi według wzoru (2). Sposób obliczania odległości w metryce DTW przedstawiono na Rysunku 9. Metryka ta jest szczególnie użyteczna w sytuacjach, kiedy analizowane sygnały różnią się amplitudą lub są przesunięte w czasie. Dzięki temu algorytmowi możliwe jest elastyczne dopasowanie sygnałów, które są podobne w kształcie, ale występują w różnych momentach czasowych.

$$DTW_q(x, x') = \min_{\pi \in \mathcal{A}(x, x')} \left(\sum_{(i,j) \in \pi} d(x_i, x'_j)^q \right)^{\frac{1}{q}}, \quad (2)$$

gdzie to zbiór wszystkich możliwych ścieżek między sekwencjami, to odległość miejska pomiędzy, a, zaś jest parametrem metryki Minkowskiego.



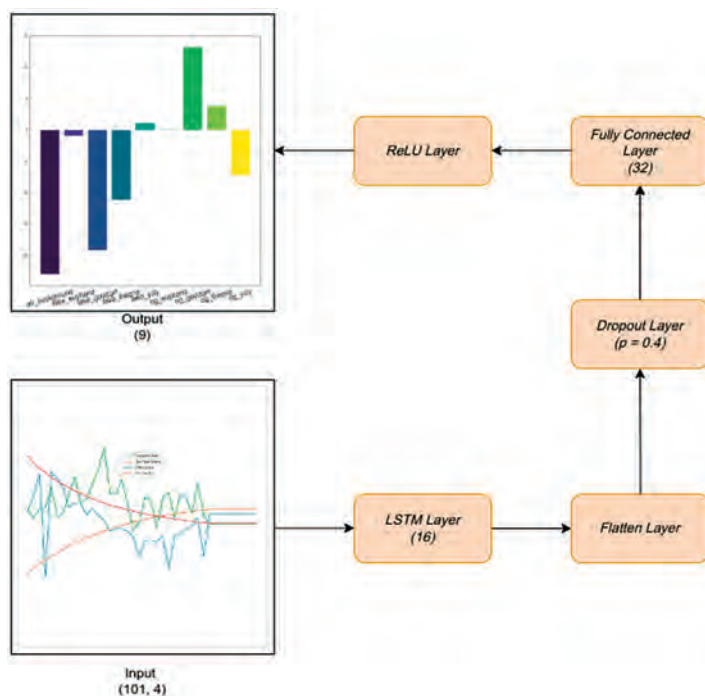
Rys. 9. Porównanie dwóch sposobów obliczania odległości szeregów czasowych

Ze względu na sposób zbierania danych opisany w rozdziale **Metodologia**, zdecydowano się na wybór szesnastu skupień. Taki podział zapewnia wysoki stosunek zmienności międzygrupowej do wewnątrzgrupowej i jednocześnie pozwala na dokładną interpretację wyników.

Klasyfikacja rodzajów perfum

Celem podjęcia problemu klasyfikacji rodzajów perfum było sprawdzenie, czy za pomocą wykorzystanego przez nas urządzenia, wraz z technikami uczenia maszynowego, możliwe jest rozróżnienie oryginałów i odpowiedników zapachów.

Do klasyfikacji wykorzystano płytką sieć neuronową, składającą się z jednej warstwy LSTM, jednej warstwy gęstej oraz warstwy wyjściowej, w skład której wchodzi dziewięć neuronów. Każdy z ośmiu odpowiada jednej z wyjściowych klas perfum, a dziewiąty reprezentuje próbkę czystego powietrza. Architekturę zbudowanego modelu przedstawia Rysunek 10.



Rys. 10. Architektura zbudowanego klasyfikatora

Źródło: Opracowanie własne.

Wejście do modelu stanowiły standaryzowane sygnały pochodzące ze wszystkich kanałów pomiarowych – tensor rozmiaru (4, 101).

Dane podzielone zostały na trzy podzbiory: treningowy, walidacyjny oraz testowy. Zbiór walidacyjny posłużył monitorowaniu, czy nie wystąpiło zjawisko przeuczenia, a zbiór testowy finalnej ewaluacji dopasowania modelu.

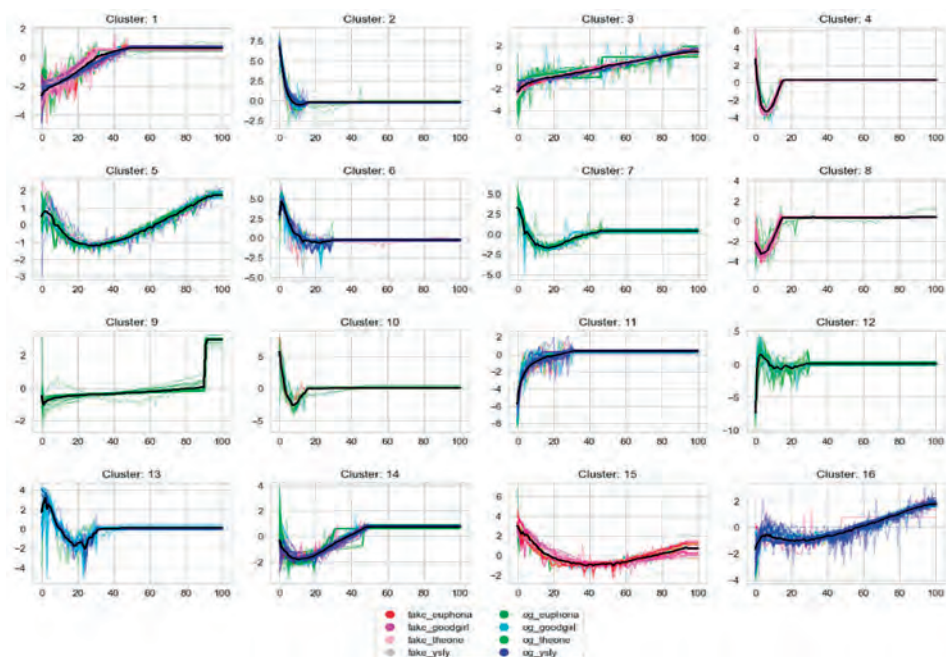
Aby zwiększyć liczbę danych treningowych, tym samym poprawiając zdolność modelu do generalizacji, zastosowano technikę zaszumienia próbek treningowych poprzez dodanie do nich szumu gaussowskiego [2] o średniej wartości 0 oraz odchyleniu standardowym równym $1/8$ odchylenia standardowego oryginalnych danych. W wyniku takiego działania otrzymano 1426 obserwacji treningowych oraz po 204 próbki zbioru walidacyjnego i testowego.

Proces uczenia modelu trwał przez ponad 150 epok, gdzie każda epoka obejmowała cykl aktualizacji wewnętrznych parametrów modelu za pomocą algorytmu AdamW [10] poprzez optymalizację funkcji straty katagorycznej entropii krzyżowej (ang. Category Cross Entropy Loss Function) [5].

Wyniki klastrowania

Rysunek 11. przedstawia wyniki grupowania sygnałów rezystancji zebranych próbek ze względu na kształt przebiegu sygnału w czasie.

Zauważyć można, że uzyskane skupienia nie są całkowicie jednorodne ze względu na dany zapach. Oznacza to, że kształty sygnałów dla różnych perfum nie wykazują pełnej unikalności każdego z badanych wariantów. Wyjątek stanowią tutaj oryginały zapachów Euphoria (CK) oraz The One (D&G) – odpowiednio klastry 9. i 12. Pomimo to, wyniki wskazują, że zapachy mają tendencję do grupowania się w jednorodne grupy w podziale na fake-original, co zaobserwować można na przykładzie skupień o indeksach 2, 5, 7, 13 oraz 15.



Rys. 11. Znalezione skupienia wraz z przypisanymi do nich obiektami

Źródło: Opracowanie własne.

Wyniki klasyfikacji

Wytrenowany model klasyfikacyjny cechuje się wysoką ogólną skutecznością w rozróżnianiu badanych próbek zapachowych. Świadczy o tym wysoka wartość accuracy, przedstawiona w Tabeli 3.

Tabela 3. Wartości ogólnych miar dopasowania na zbiorze testowym

Metric	Value
Accuracy	0.94
Macro avg	0.94
Weighted avg	0.94

Źródło: Opracowanie własne.

Z metryk zestawionych w Tabeli 4. wynika, że najniższe wartości recall dotyczą odpowiednika zapachu The One (D&G) oraz oryginału

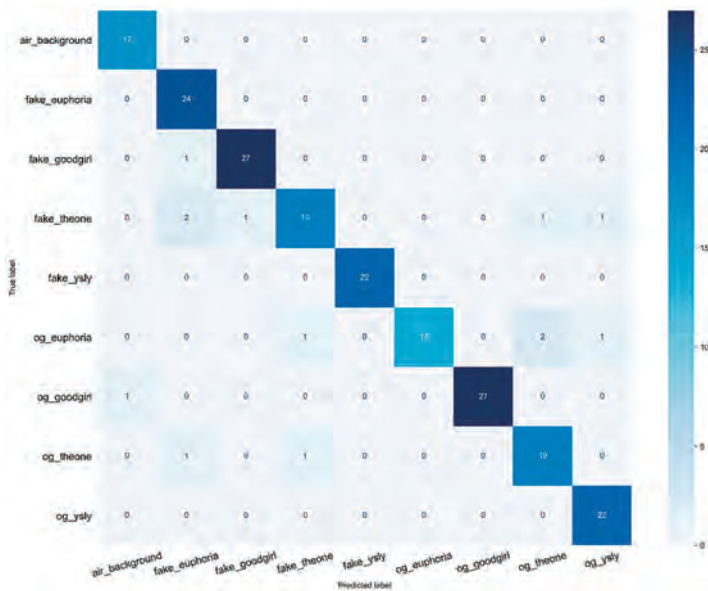
Euphoria (CK). Oznacza to, że model nie jest w stanie rozpoznać tych klas dla wszystkich przypadków, wysoka precyzja predykcji świadczy o dobrej jakości predykcji modelu.

Tabela 4. Metryki ewaluacyjne dla każdej z rozpatrywanych klasy na zbiorze testowym

	Precision	Recall	F1-Score
air_background	0.94	1.00	0.97
fake_euphoria	0.86	1.00	0.92
fake_goodgirl	0.96	0.96	0.96
fake_theone	0.90	0.79	0.84
fake_ysly	1.00	1.00	1.00
og_euphoria	1.00	0.78	0.88
og_goodgirl	1.00	0.96	0.98
og_theone	0.86	0.90	0.88
og_ysly	0.92	1.00	0.96

Źródło: Opracowanie własne.

Z macierzy kontyngencji przedstawionej na Rysunku 12. odczytać można, że błędne klasyfikacje prawdziwego zapachu jako podróbki stanowią niewielką liczbę przypadków.



Rys. 12. Macierz kontyngencji zbioru testowego dla klasyfikacji rodzajów perfum i ich imitacji

Źródło: Opracowanie własne.

Podsumowanie

W pracy przedstawiono skuteczny model klasyfikujący zebrane przez autorów próbki perfum. Dowodzi to zasadności wykorzystania elektronicznego nosa oraz technik analizy danych w rozróżnianiu złożonych lotnych związków organicznych. Wyniki klastrowania wykazały, że większość zapachów grupuje się w jednorodne skupienia, w podziale na oryginały i imitacje, w szczególności klastry zapachów Euphoria oraz The One.

Badanie potwierdza, że elektroniczny nos BME688 przy użyciu algorytmów uczenia maszynowego jest skutecznym narzędziem do rozróżniania perfum i wykrywania fałszyfikatów. Otrzymane wyniki niosą perspektywę wykorzystania stworzonego modelu zarówno w branży kosmetycznej, jak i w innych gałęziach przemysłu, w tym związanych z żywieniem czy ochroną zdrowia.

Literatura

- [1] Bhattacharyya N. et al., *Electronic nose for black tea classification and correlation of measurements with 'tea taster' marks*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2008.
- [2] Benegui C., Ionescu R.T., *To Augment or Not to Augment? Data Augmentation in User Identification Based on Motion Sensors*, Springer, 2020.
- [3] Dang L. et al., *A novel classifier ensemble for recognition of multiple indoor air contaminants by an electronic nose*, Sensors Actuators A Physical, 2014.
- [4] Di Natale C. et al., *Lung cancer identification by the analysis of breath by means of an array of non-selective gas sensors*, Biosensors Bioelectron, 2003.
- [5] Gómez R., *Understanding Categorical Cross-Entropy Loss, Binary Cross-Entropy Loss, Softmax Loss, Logistic Loss, Focal Loss and all those confusing names*, https://gombru.github.io/2018/05/23/cross_entropy_loss, 2018.
- [6] Tavenard R., *An introduction to Dynamic Time Warping*, <https://rtavenar.github.io/blog/dtw.html>, 2021.
- [7] Tavenard R., Faouzi J., Vandewiele G., Divo F., Androz G., Holtz C., Payne M., Yurchak R., Rußwurm M., Kolar K., Woods E., Tslearn, *A Machine Learning Toolkit for Time Series Data*, www.jmlr.org/papers/v21/20-091.html, 2020.

- [8] BME 688 DEV-KIT: BME688 Development kit at reichelt elektronik, <https://www.reichelt.com/pl/en/bme688-development-kit-bme-688-dev-kit-p310709.html>, dostęp dnia 15.04.2024 roku.
- [9] Gas sensor BME688 |Bosch Sensortec, <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/gas-sensors/bme688>, dostęp dnia 15.04.2024 roku.
- [10] DS & AI Solutions, Understanding Adam and AdamW, <https://www.linkedin.com/pulse/understanding-adam-adamw-dsaisolutions-ileof>, dostęp dnia 31.05.2024 roku.
- [11] Feather, Boards Products Category on Adafruit Industries, <https://www.adafruit.com>, dostęp dnia 15.04.2024 roku.

Dawid Kalandyk

Politechnika Rzeszowska | Koło Naukowe Interakcji Człowiek-Komputer GEST

Kamil Ciećko

Politechnika Rzeszowska | Koło Naukowe Interakcji Człowiek-Komputer GEST |
| Studenckie Koło Naukowe Szybkiego Prototypowania i Wzornictwa Przemysłowego

Krzysztof Sołtys

Politechnika Rzeszowska | Koło Naukowe Interakcji Człowiek-Komputer GEST

PROPOZYCJA INTELIGENTNEGO URZĄDZENIA REHABILITACJI RUCHOWEJ

PROPOSAL OF AN INTELLIGENT DEVICE FOR MOTOR REHABILITATION

S U M M A R Y

The use of modern technology in the process of rehabilitation and maintenance of the human body's motor capabilities is becoming increasingly common. Therefore, in this paper, the authors proposed a design of a ball launcher based on the use of the capabilities of artificial intelligence methods in image processing and analysis, for automatic targeting and controlling the behavior of the launcher. Most of the structural elements of the proposed solution, was created using 3D printing, while the total price of electronic components is relatively low. In addition, the developed code and component design will be refined and made available to the public.

K e y w o r d s

Artificial Intelligence, 3D Printing, Image Processing, Human-Computer Interaction

Wstęp

W czasach rosnących potrzeb służby zdrowia oraz coraz większych braków kadrowych stosowanie nowoczesnych technologii w procesie rehabilitacji

oraz utrzymywania możliwości ruchowych ludzkiego organizmu staje się coraz bardziej powszechne. Pewnego rodzaju odpowiedzi na te potrzeby stanowią prace kół naukowych, podczas których opracowują prototypy rozwiązań mogących stanowić znaczące ułatwienie w procesie rehabilitacji oraz późniejszego utrzymania dobrostanu zdrowotnego. Kierowani chęcią dołączenia do twórców takich rozwiązań studenci różnych kół naukowych Politechniki Rzeszowskiej wzięli udział w warsztatach organizowanych przez fundację RoboLab [1] działającą przy uczelni, rozwój zarówno kompetencji miękkich, przydatnych w kontakcie z użytkownikami, jak i wiedzy z zakresu w kontakcie z potencjalnymi odbiorcami późniejszych konstrukcji, jak również rozwój wiedzy z zakresu elektroniki, robotyki oraz aplikacji metod sztucznej inteligencji, których znajomość jest niezbędna do tworzenia tego typu rozwiązań. W czasie warsztatów pojawił się pomysł opracowania inteligentnej wyrzutni sterowanej gestami wykonywanymi przez użytkownika. Po zakończeniu warsztatów Studenckie Koło Naukowe Szybkiego Prototypowania i Wzornictwa Przemysłowego [2] oraz Koło Naukowe Interakcji Człowiek–Komputer GEST [3] postanowiły podjąć współpracę w celu urzeczywistnienia zaproponowanego urządzenia.

Założenia i projekt

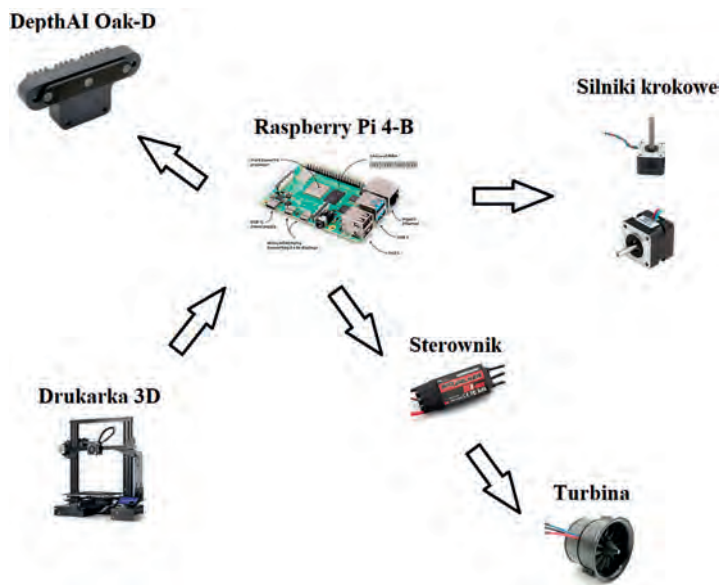
Na podstawie rozeznania w dostępnych dla kół rozwiązaniach technicznych postanowiono sformułować następujące wymagania i założenia projektu:

- Wyrzutnia powinna mieć możliwość samodzielnego obrotu w płaszczyźnie poziomej, co będzie ułatwiało jej obsługę i użytkowanie.
- Wyrzutnia powinna mieć możliwość samodzielnej regulacji kąta nachylenia, co bezpośrednio będzie wpływało na trajektorię lotu piłki.
- Wyrzutnia powinna mieć możliwość samodzielnej regulacji siły wyrzutu piłki, dzięki czemu będzie można bezpośrednio kontrolować zasięg rzutu.
- Wyrzutnia powinna posiadać niezbędne czujniki oraz kamerę odpowiadającą za wizję i po przetworzeniu pozwalającą na podejmowanie odpowiednich akcji.

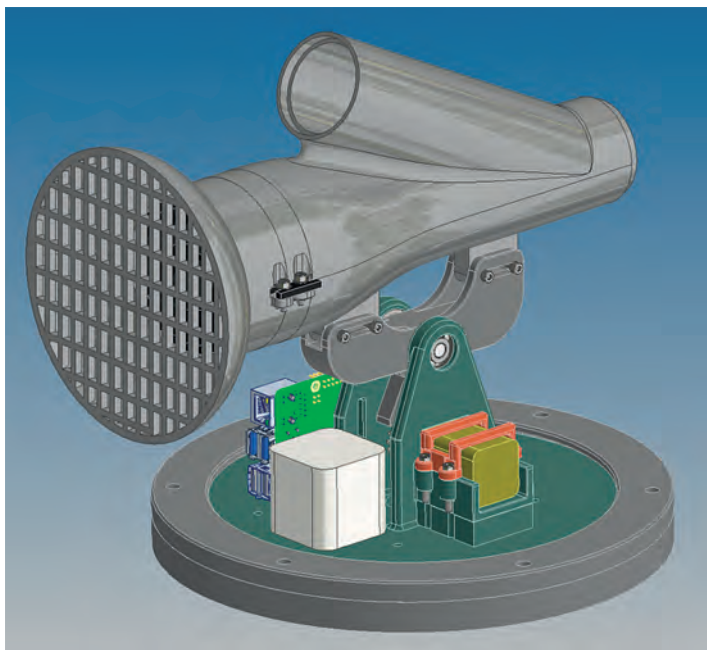
- Wyrzutnia powinna być wyposażona w inteligentny system sterowania, który automatycznie: wykrywa cel oraz pokazywany przez niego gest, rozpoznaje pokazywany gest, analizuje odległość do celu, wylicza docelowe parametry ustawienia wyrzutni, wprowadza korektę w aktualnych parametrach ustawienia wyrzutni, a także obsługuje sam proces wyrzucenia piłki.
- Całość konstrukcji powinna być możliwie w jak największym stopniu zrealizowana za pomocą technologii druku 3D, co nie tylko pozwoli na ułatwienie wszelkich zmian konstrukcyjnych prototypu, ale też zapewni łatwość wymiany uszkodzonych elementów i możliwość ich recyklingu.

Postanowiono, że wyrzutnia będzie wykorzystywała piłeczki do Ping-Ponga, a głównym elementem odpowiedzialnym za nadanie im prędkości będzie turbina stosowana oryginalnie w dronie wyścigowym. Dodatkowym niezbędnym elementem oprócz baterii LiPo zasilającej turbinę jest sterownik, który pozwoli na dowolne modyfikowanie obrotów turbiny. Obroty w poszczególnych osiach są realizowane przy pomocy odpowiednich silników krokowych. Do monitorowania pozycji wyrzutni wykorzystano krańcówki. Za wizję robota odpowiada nowoczesna kamera DepthAI OakD [4] wyposażona w trzy obiektywy oraz specjalne oprogramowanie ułatwiające wykorzystanie obrazu jako źródła danych, dla różnych algorytmów przetwarzania obrazu oraz metod sztucznej inteligencji. Zdecydowano, że mózgiem robota będzie płytki Raspberry Pi w wersji 4 model B [5]. Jest to małych wymiarów urządzenie pozwalające na instalację systemu Linux wraz z niezbędnym oprogramowaniem, a także posiadająca szereg przydatnych portów sterujących. Na rysunku 1. przedstawiono ogólny schemat wykorzystanych elementów elektronicznych.

Wykorzystując oprogramowanie Inventor [5] od firmy Autodesk® autorzy zaprojektowali konstrukcję wyrzutni, tak by spełniała założone wymagania. Rysunki 2–5 przedstawiają wykonany projekt elementów, z różnych stron. Rysunek 2. przedstawia widok z zewnątrz. Pozwala on zauważyć sposób montowania turbiny wraz z osłoną zabezpieczającą przed wessaniem drobnych elementów lub uszkodzeniem palców. Wyróżnić można też silniki krokowe – odpowiedzialne za obracanie w osi poziomej (kolor biały) oraz za zmienianie kąta nachylenia (kolor brązowy).

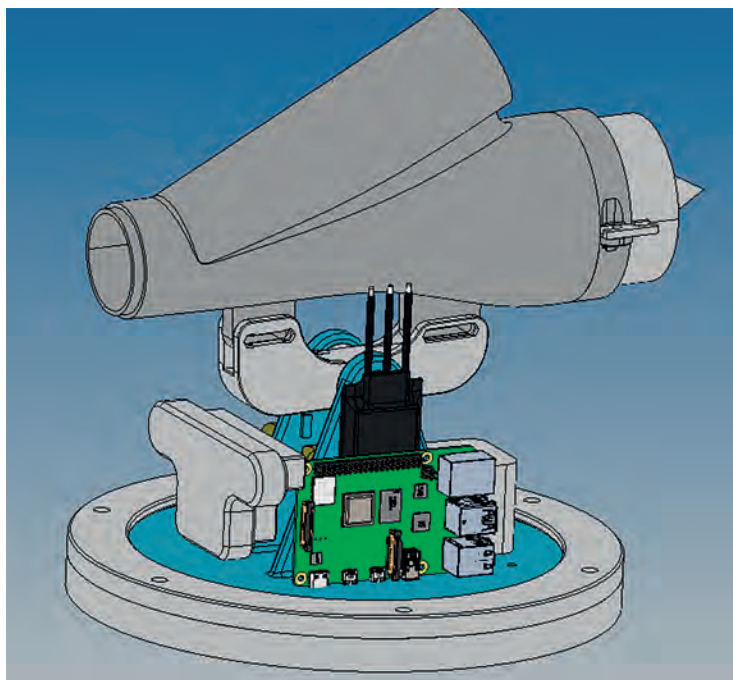


Rys. 1. Ogólny schemat wykorzystanych elementów [opracowanie własne]



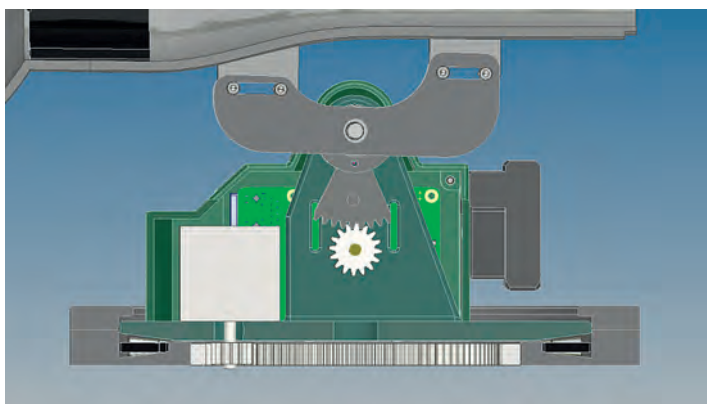
Rys. 2. Projekt wyrzutni – widok z zewnątrz strona prawa [opracowanie własne]

Na rysunku 3. został przedstawiony widok z zewnątrz ale tym razem ze strony lewej. Pozwala on dojrzeć sposób montowania kamery oraz płytki stanowiącej mózg zaprojektowanego urządzenia (kolor zielony). Zauważyć można też sposób montowania sterownika turbiny, która została oznaczona kolorem czarnym.

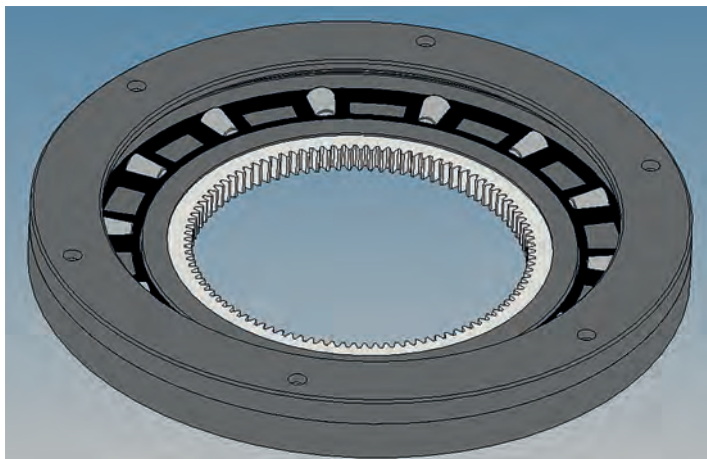


Rys. 3. Projekt wyrzutni – widok z zewnątrz strona lewa [opracowanie własne]

Na rysunku 4. przedstawiono przekrój wyrzutni patrząc od strony prawej. Można tutaj zaobserwować mechanizm, dzięki któremu wyrzutnia zostaje opuszczana lub podnoszona. Widać również dokładnie mechanizm odpowiedzialny za obrót wyrzutni w osi poziomej. Ostatnim ważnym elementem jest łożysko, które zostało dokładniej przedstawione na rysunku 5. Składa się ono w całości z elementów wytworzonych w technologii druku 3D, dzięki czemu zachowuje niezbędny niski poziom tarcia oraz możliwość łatwej wymiany. Jest również zaskakująco odporne na wagę wyrzutni.



Rys. 4. Projekt wyrzutni – widok przekroju strona prawa [opracowanie własne]

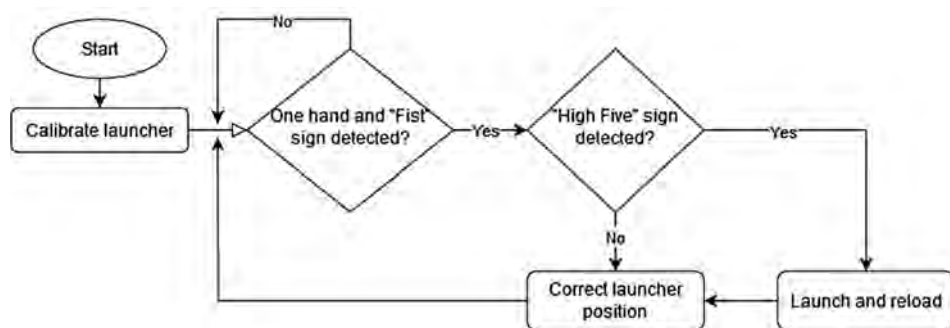


Rys. 5. Projekt wyrzutni – widok łożyska [opracowanie własne]

Jednym z ostatnich elementów projektu jest również wykonanie stosownych obliczeń oraz wyznaczenie wzorów pozwalających na określenie docelowego ustawienia wyrzutni oraz prędkości turbiny. Całość wykonanych obliczeń opierała się na równaniach rzutu ukośnego wykonanego z pewnej wysokości [6].

Ostatnim elementem jest opracowanie założeń algorytmicznych sposobu sterowania wyrzutnią. Opracowany algorytm przedstawiono na rysunku 6. w formie schematu blokowego. Na początku po włączeniu następuje automatyczna kalibracja wyrzutni, czyli sprawdzenie dostępnego zakresu

ruchu w osi pionowej i ustawienie się pod zadany kąt początkowym. Następnie po ukazaniu się w kadrze dokładnie jednej ręki złożonej w gest pięści, wyrzutnia zaczyna dopasowywać swoje ustawienie, tak by piłeczka trafiła właśnie w tą dłoń. Proces ten trwa, dopóki gest nie zmieni się na gest otwartej dłoni, a wtedy następuje wyrzucenie piłeczki oraz przeładowanie. W sytuacji utraty wykrytego gestu pięści na dłużej niż określony czas, następuje przerwa w śledzeniu celu, aż do ponownego wykrycia stosownego gestu.



Rys. 6. Schemat blokowy opisujący ogół działania trybu autonomicznego [opracowanie własne]

Realizacja

Po zaprojektowaniu układu oraz kształtu wszystkich elementów, a także odpowiednim ich połączeniu należało przygotować i przetestować kod sterujący pracą całego robota. Postanowiono, że aplikacja będzie poruszać się w obrębie ośmiu następujących stanów implementujących wcześniej omówiony diagram przedstawiony na rysunku 6.:

- 1) **Inicjalizacja** – w tym stanie następuje wczytanie wszystkich niezbędnych modułów, inicjalizacja sygnału o zmiennej szerokości (Pulse Modulated Width – PWM) oraz nawiązanie połączenia ze sterownikiem regulującym pracę turbiny.
- 2) **Kalibracja** – w tym stanie przeprowadzana jest kalibracja wyrzutni, czyli sprawdzenie dostępnego zakresu ruchu w osi pionowej i ustawienie wyrzutni pod zadany kąt początkowym.

- 3) **Uruchomienie narzędzia śledzącego dłoni** – w tym stanie następuje wywołanie odpowiednich funkcji odpowiedzialnych za wczytanie niezbędnych modułów rozpoznających gesty.
- 4) **Szukanie celu** – ten stan polega na skanowaniu obrazu w poszukiwaniu pojedynczej dłoni ułożonej w gest pięści. Warto zauważyć, że nie ma znaczenia orientacja tej dłoni w przestrzeni, a tylko to by w kadrze znalazła się dokładnie jedna dłoń i była złożona w pięść.
- 5) **Obranie celu** – w tym stanie system wykrył już dłoń złożoną w pięść i wykonuje ruchy, które powinny poprawić ustawienie wyrzutni, tak by w momencie wyrzutu piłki trafiła ona w cel. W przypadku utraty celu na dłuższy czas system wróci do poprzedniego stanu.
- 6) **Zablokowanie celu** – stan niezbędny by po utracie celu (zaniku gestu pięści) dać użytkownikowi małą ilość czasu, czyli możliwość na przejście do gestu otwartej dłoni. W przypadku wykrycia gestu piętki przed upływem określonego czasu system przejdzie do wyrzucenia piłki. W przypadku całkowitej utraty dłoni lub nieodnalezienia odpowiedniego gestu w wyznaczonym czasie system wróci do stanu 4.
- 7) **Wyrzut piłeczki** – stan, którego zadaniem jest wstrzymanie sprawdzania położenia celu, które w momencie wurluczania piłeczki nie jest potrzebne, oraz realizacja samego wyrzutu poprzez rozpędzenie turbiny do odpowiedniej prędkości i zwolnienie piłeczki.
- 8) **Przeładowanie** – stan odpowiedzialny za zatrzymanie turbiny, oraz załadowanie następnej piłeczki. Po tym stanie system przechodzi o stanu 4. w celu ponownego odnalezienia celu.

Całość oprogramowania została wykonana w języku Python z wykorzystaniem oprogramowania Visual Studio Code. Dodatkowo wykorzystane zostało otwarte oprogramowanie pozwalające przy pomocy kamery DepthAI na wykrywanie różnych gestów dłoni.

Analiza

Po zbudowaniu i przetestowaniu prototypu autorzy zidentyfikowali następujące problemy lub kwestie wymagające poprawy lub rozważenia:

- W czasie pracy silnik krokowy odpowiedzialny za ustawienie kąta nachylenia wyrzutni mocno się nagrzewał, co prowadziło nawet do stopienia części obudowy i wstrzymania pracy elementu. Nagrzewanie było spowodowane koniecznością stałego utrzymywania dużej masy górnej części robota oraz podnoszenie i opuszczanie jej. W odpowiedzi na ten problem w kolejnej wersji robota przeprojektowano mechanizm podnoszenia i opuszczania wyrzutni w taki sposób, by obciążany nie był silnik lecz elementy konstrukcyjne i obudowa.
- Konieczność wielokrotnego rozkładania i składania robota w celu wykonania drobnych korekt również okazała się problematyczna. Postanowiono, więc by w kolejnej wersji prototypu zmienić sposób mocowania elementów oraz obudowy, na taki, który zdecydowanie ułatwia proces ich demontażu. Zapewniono też więcej miejsca na wszystkie elementy oraz większe przełoty na okablowanie.
- W czasie testów w pewnych sytuacjach zauważono, że wylot wyrzutni wchodzi w kadr obrazu analizowanego przez system. Autorzy postanowili więc przygotować ulepszoną wersję statywu dla kamery, w celu minimalizacji tego zjawiska.
- Chcąc uniezależnić robota od obecności zewnętrznych źródeł zasilania, autorzy przeprojektowali układ elektroniczny, który będzie testowany w drugiej wersji prototypu.
- Mając na uwadze nagrzewanie się silników, ale też pozostałych elementów elektronicznych układu, autorzy w celu zminimalizowania szkodliwych efektów tego zjawiska, postanowili przeprojektować obudowę, w taki sposób by móc dodać odpowiednie chłodzenie całego układu.
- Mając na celu pełną automatyzację procesu celowania należy również opracować fragment algorytmu odpowiedzialnego za określanie dokładnej odległości celu.
- W czasie testów zauważono również, że w pewnych warunkach może dojść do przekroczenia bezpiecznego obrotu robota w poziomie. Autorzy w celu minimalizacji ryzyka uszkodzenia robota, zaproponowali więc, by kolejny prototyp był wyposażony w dodatkowe krańcówki, a także by odpowiednio zmodyfikować sposób kalibracji wyrzutni.

Podsumowanie

Wykonanie projektu pierwszego prototypu zaprojektowanej wyrzutni pozwoliło na zdecydowane rozszerzenie kompetencji autorów nie tylko w temacie sztucznej inteligencji ale również w zakresie projektowania układów, elektroniki i robotyki. Sam proces testowania i poprawiania prototypu pozwolił na zidentyfikowanie szeregu ważnych problemów lub kwestii, których rozwiązanie pomoże zdecydowanie ulepszyć robota. W dalszych fazach projektu, oprócz korekty wymienionych w poprzednim rozdziale elementów autorzy planują także rozwój funkcjonalności robota. Będzie to osiągnięte poprzez dodanie kolejnych trybów pracy aktywizujących również nogi użytkownika, a także poprzez utworzenie dedykowanej aplikacji na urządzenia mobilne, do zdalnego sterowania robotem. Warto również nadmienić, że po utworzeniu w pełni sprawnego prototypu, autorzy zamierzają zoptymalizować koszt produkcji gotowego robota, tak by stał się on w pełni dostępny dla każdego potrzebującego go człowieka.

Literatura

- [1] <https://robofab.edu.pl/>
- [2] <https://www.facebook.com/rpcamprz>
- [3] <http://vision.kia.prz.edu.pl/gest/>
- [4] <https://docs-old.luxonis.com/projects/hardware/en/latest/pages/BW1098OAK/>
- [5] <https://www.autodesk.com/pl/products/inventor/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- [6] http://www.fizykon.org/kinematyka/rzuty_rzut_ukosny.htm

inż. Karolina Prończuk

Politechnika Białostocka | Koło Naukowe BioTech

inż. Eliza Łepicka

Politechnika Białostocka | Koło Naukowe BioTech

Angelika Domoradzka

Politechnika Białostocka | Koło Naukowe BioTech

dr hab. Elżbieta Wołejko

Politechnika Białostocka | Katedra Chemii, Biologii i Biotechnologii

dr inż. Urszula Wydro

Politechnika Białostocka | Katedra Chemii, Biologii i Biotechnologii

dr hab. Agata Jabłońska-Trypuć

Politechnika Białostocka | Katedra Chemii, Biologii i Biotechnologii

Grzegorz Sprzączka

Politechnika Białostocka | Koło Naukowe BioTech

CYTOTOKSYCZNOŚĆ PRODUKTÓW UZYSKANYCH W EFEKCIE PIROLIZY BIOMASY W RÓŻNYCH MODELACH BIOLOGICZNYCH

CYTOTOXICITY OF PRODUCTS OBTAINED FROM BIOMASS PYROLYSIS IN VARIOUS BIOLOGICAL MODELS

S U M M A R Y

Biomass is a renewable energy source with significant potential for conversion into various products. Thermal processes like pyrolysis transform biomass into oils with anticancer and antibacterial properties. Research shows that plum kernel oil, rich in vitamin E, fatty acids, and phytoestrogens, exhibits antioxidant and anticancer activities. Tests on Caco-2 cells, E. coli, and C. albicans indicate that higher oil concentrations and pyrolysis temperatures increase toxicity. C. albicans is more sensitive to the

oil than *E. coli*, with IC50 at 5% for 180°C and 2.5% for 250°C in Caco-2 cells. Further research is needed to confirm these findings and explore therapeutic applications.

Keywords

plum kernel oil, cytotoxicity, *E. coli*, *C. albicans*, human cells, MTT

1. Wprowadzenie

Termiczne przetwarzanie biomasy, takie jak spalanie, piroliza czy zgazowanie jest istotnym elementem dzisiejszych strategii energetycznych, które mają na celu m.in. ograniczenie emisji gazów cieplarnianych oraz szerzenie idei zrównoważonego rozwoju. Spalanie biomasy należy do najstarszych metod jej przetwarzania. Piroliza to proces beztlenowy przekształcania biomasy w produkty gazowe, a także płynne lub stałe w wyniku termicznego rozkładu. Poprzez zgazowanie rozumie się przekształcenie biomasy w gaz syntezowy będący substratem do produkcji energii. Biomasa stanowi odnawialne źródło energii, jest powszechnie dostępna oraz posiada ogromny potencjał energetyczny. Procesy przetwarzania biomasy mogą mieć na celu wytworzenie produktów energetycznych, a także różnorodnych związków w tym olejów mających znaczenie m.in. w przemyśle farmaceutycznym [1].

Przetwarzanie biomasy w celach energetycznych bądź przemysłowych ma ogromny potencjał jednak wiąże się często z emisją substancji toksycznych do środowiska naturalnego co powoduje rozpowszechnianie się szkodliwych dla zdrowia i środowiska substancji. W celu oceny ryzyka konieczne jest badanie cytotoksyczności zwłaszcza tych produktów konwersji biomasy, które mogą być wykorzystywane w przemyśle farmaceutycznym bądź kosmetycznym, a także spożywczym [2].

Badania w kierunku oceny zagrożeń wytworzonych produktów wynikających z jego stosowania mogą obejmować ocenę ich wpływu na różne rodzaje komórek. Każdy uzyskany produkt charakteryzuje się pewną cytotoksycznością wobec danego mikroorganizmu. Jest to spowodowane między innymi węglowodorami aromatycznymi, kwasami karboksylowymi, związkami fenolowymi czy polifenolami obecnymi w składzie wybranego oleju. Oddziaływania tych związków na komórkę mogą być różne, jednakże w większym stopniu powodują one uszkodzenia i zahamowanie podstawowych

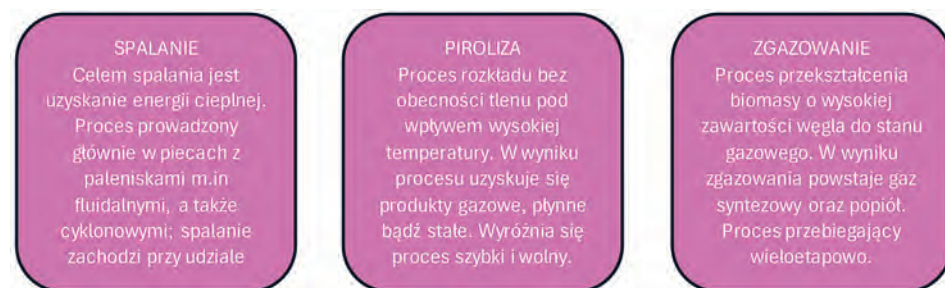
funkcji. W błonach komórkowych prowadzą do zaburzeń strukturalnych i upośledzenia ich funkcji. Prowadzą również do spowolnienia, a także zatrzymania funkcji metabolicznych [3].

2. Termiczne przetwarzanie biomasy

Biogospodarka jest podstawą funkcjonowania wielu gałęzi przemysłu m.in. przemysłu farmaceutycznego, biotechnologicznego, paliwowego czy kosmetycznego. Pojęcie biogospodarki ściśle wiąże się z zasobami odnawialnymi tj. biomasą, której przetwarzanie jest źródłem produktów energetycznych a także spożywczych bądź medycznych lub kosmetycznych [4].

Biomasa, jako jedno z najczęściej wykorzystywanych naturalnych źródeł energii na świecie, obejmuje różnorodne produkty, odpady oraz resztki biologiczne pochodzące z różnych sektorów, takich jak rolnictwo, leśnictwo, rybołówstwo czy przemysł. Definicja prawna biomasy obejmuje substancje roślinne i zwierzęce, zarówno surowe, jak i przetworzone, w formach takich jak brykiety, pelety czy biowęgiel, oraz odpady przemysłowe i komunalne pochodzenia biologicznego, włączając w to osady ściekowe [5].

Produkty przetwarzania biomasy mogą być stałe, ciekłe i gazowe. Wyróżniamy fitomasę, pochodzącą od roślin, oraz zoomasę, pochodzącą od zwierząt. Proces termicznego rozkładu biomasy, zachodzący w warunkach beztlenowych, jest procesem endotermicznym [2]. Główne metody pozyskiwania biomasy przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Metody termicznego przekształcania biomasy (na podstawie Werle 2021, Ratajczyk i in. 2018)

Źródło: Opracowanie własne.

2.1. Charakterystyka produktów pirolizy biomasy

W wyniku pirolizy biomasy pozyskuje się trzy główne grupy produktów dzielą się ze względu na stan skupienia: stała pozostałość (koksik, biowęgiel), frakcja ciekła (bioolej), frakcja gazowa (gaz pirolityczny). Rodzaj wytworzonego produktu, jego skład, właściwości ściśle zależą od wykorzystanych substratów, temperatury oraz warunków prowadzenia procesu. Wyróżnia się dwa rodzaje pirolizy ze względu na szybkość jej prowadzenia: szybka oraz wolna co także wpływa na skład produktów [6].

Wolną pirolizę charakteryzuje mniejsza szybkość nagrzewania oraz długi czas prowadzenia procesu, a także charakteryzuje ją równomierny rozkład produktów. Piroliza szybka cechuje się większą wydajnością od wolnej, obie jednak przebiegają w podobnym zakresie temperatur, najbardziej efektywnym zakresie temperatur 800–1000°C [2].

2.2. Charakterystyka oleju z pestek śliwki

Pestki śliwek jako odpad z przemysłu spożywczego, często są przetwarzane na olej, który ma charakterystyczny żółty kolor oraz delikatny zapach migdałowo-marcepanowy. Ten olej, pochodzący z pestek śliwek, zawiera kwas linolowy, który jest naturalnym składnikiem ludzkiego sebum. Dzięki temu reguluje wydzielanie sebum przez gruczoły łojowe, co skutkuje zmniejszeniem ilości zaskórników i zmniejszeniem widoczności porów. Dodatkowo, olej z pestek śliwki jest bogaty w witaminę E i β -karoten, które pełnią rolę naturalnych antyoksydantów. Ich obecność w oleju pomaga zmniejszyć negatywny wpływ szkodliwych czynników zewnętrznych na skórę, co przyczynia się do jej zdrowego wyglądu i kondycji [7].

Stwierdza się, że niestosowanie odpowiedniej diety odpowiada za około 30% przypadków wystąpienia nowotworów. Niewłaściwe odżywianie jest drugim najważniejszym czynnikiem, po paleniu tytoniu, który przyczynia się do zwiększonego ryzyka zachorowania na raka. Według badań [8], istnieje powiązanie między składnikami tych olejów a ich potencjalnym działaniem przeciwnowotworowym. Główne związki odpowiedzialne za te właściwości to przede wszystkim:

- Witamina E – jest to silny antyoksydant, który pomaga neutralizować wolne rodniki, które z kolei mogą prowadzić do uszkodzeń komórek i procesów nowotworowych.
- Kwas oleinowy – jest on jednym z najważniejszych nienasyconych kwasów tłuszczowych, które stanowią główny składnik olejów z pestek śliwki. Ma właściwości przeciwnowotworowe poprzez różne mechanizmy, w tym regulację procesów zapalnych i apoptozy (programowanej śmierci komórki) w komórkach nowotworowych.
- Sterole roślinne – są to związki roślinne, które mogą wpływać na procesy nowotworzenia poprzez różne mechanizmy, w tym regulację proliferacji komórek nowotworowych i apoptozy.
- Karotenoidy – są to naturalne pigmenty roślinne, które wykazują silne właściwości antyoksydacyjne i mogą pomagać w zwalczaniu nowotworów poprzez neutralizację wolnych rodników i zapobieganie uszkodzeniom DNA.
- Fitoestrogeny – są to związki roślinne, które mogą działać jak antyoksydanty i mają potencjał w hamowaniu wzrostu komórek nowotworowych oraz w indukcji apoptozy.
- Polifenole – jest to kolejna grupa związków, która występuje w olejach z pestek śliwki i wykazuje silne właściwości przeciwnowotworowe poprzez regulację procesów zapalnych, hamowanie proliferacji komórek nowotworowych i indukcję apoptozy.

Olej z pestek śliwki może wykazywać pewne właściwości przeciwbakteryjne. Niektóre badania [3] sugerują, że składniki zawarte w oleju z pestek śliwki, takie jak kwas linolowy, mogą mieć działanie antybakteryjne przeciwko niektórym rodzajom bakterii. Mogą one hamować wzrost i rozmnażanie mikroorganizmów. Badania wykazały, że olej z pestek śliwki może hamować wzrost bakterii *Escherichia coli*. Dzieje się tak, ponieważ olej zawiera związki chemiczne, takie jak kwas ferulowy i kwas synapowy, które mają działanie antybakteryjne. Olej z pestek śliwki może również uszkadzać błonę komórkową bakterii, co prowadzi do ich śmierci. Wykazuje on również działanie przeciwgrzybicze przeciwko *Candida albicans*. Dzieje się tak, ponieważ olej zawiera związki chemiczne, takie jak kwas kawowy i kwas chlorogenowy, które mają działanie przeciwgrzybicze. Olej z pestek śliwki może również zaburzać produkcję ergosterolu, który jest niezbędnym składnikiem błony komórkowej grzybów [3].

Mechanizm działania takiego oleju opiera się na zaburzaniu błony komórkowej. Prowadzi to do wycieku składników cytoplazmatycznych i śmierci komórek. Olej z pestek śliwki może również hamować działanie enzymów niezbędnych do wzrostu i rozmnażania mikroorganizmów oraz zwiększać produkcję wolnych rodników w komórkach mikroorganizmów, co prowadzi do ich uszkodzenia i śmierci [3].

W kontekście wpływu badanego oleju na gruczolakoraki jelita grubego, konieczne są badania laboratoryjne, które zostały przeprowadzone w tej pracy, aby ocenić potencjalne korzyści i skutki uboczne stosowania oleju z pestek śliwki w kontekście tej konkretnej choroby oraz czy również będą wykazywały działanie cytotoksyczne, tak jak w przypadku bakterii i drożdży, które również poddano analizie.

3. Część doświadczalna

3.1. Cel pracy

Celem było określenie potencjału cytotoksycznego oleju z pestek śliwki w stosunku do prawidłowych linii komórkowej gruczolakoraków ludzkiego jelita grubego (Caco-2) oraz w stosunku do szczepów: *Escherichia coli* i *Candida albicans*.

3.2. Materiały i metody

3.2.1. Materiały i odczynniki

W badaniach wykorzystano oleje z pestek śliwki uzyskane w temperaturze 180°C i 250°C, bakterie *E. coli*, drożdże *C. albicans* oraz komórki ludzkie linii Caco-2. Zastosowano również: zestaw do analizy cytotoksyczności MTT; barwnik błękit trypanu; roztwór soli fizjologicznej (PBS); surowica bydlęca (FBS); trypsyna (Trypsin/EDTA).

3.2.2. Instalacja do powolnej termicznej rafinacji biomasy (STBR)

Instalacja do Powolnej Termicznej Rafinacji Biomasy (STBR), opracowana przez firmę InnEco sp. z o.o., umożliwiła ekstrakcję frakcji gazowych, oleistych, wodnych oraz biowęgla z biomasy. Proces ten odbywał

się w temperaturach od 100 do 600°C, w zależności od rodzaju biomasy. STBR składała się z kilku kluczowych elementów. Reaktor, wykonany z wysokiej jakości stali nierdzewnej o pojemności 300 litrów, zapewniał bezpieczne warunki termiczne. Skraplacze z chłodzeniem, podzielone na trzy główne części, umożliwiały uzyskanie różnych substancji przy zadanej temperaturze biomasy. Posiadały one niezależny system chłodzenia, co pozwalało na skraplanie substancji w różnych temperaturach. Płuczki służyły do usuwania stałych zanieczyszczeń z frakcji gazowej, co pozwalało na wykorzystanie gazu do podtrzymywania procesu bez konieczności pobierania energii z zewnątrz. Instalacja gazowa transportowała uzyskany gaz do zbiornika gazowego, który pełnił funkcję magazynu przed sprężeniem i zgromadzeniem gazu pod wysokim ciśnieniem. Całość była monitorowana i sterowana za pomocą systemu czujników temperatury, ciśnienia i wycieków gazu, co umożliwiało zdalne zarządzanie procesem.

3.2.3. Oznaczanie żywotności z wykorzystaniem testu MTT

Test MTT jest powszechnie używanym testem do oceny aktywności metabolicznej komórek. Polega on na wykorzystaniu enzymu – dehydrogenazy mitochondrialnej, który przekształca sól tetrazolową w formazan. Następnie kryształy formazanu są rozpuszczane w mieszaninie alkoholu izopropylowego i HCl, a intensywność zabarwienia roztworu jest mierzona spektrofotometrycznie w zakresie długości fali 492-570 nm. Ilość zredukowanego MTT jest proporcjonalna do aktywności oksydacyjnej mitochondriów komórki, co odzwierciedla liczbę żywych komórek w populacji (Twarużek i in., 2018).

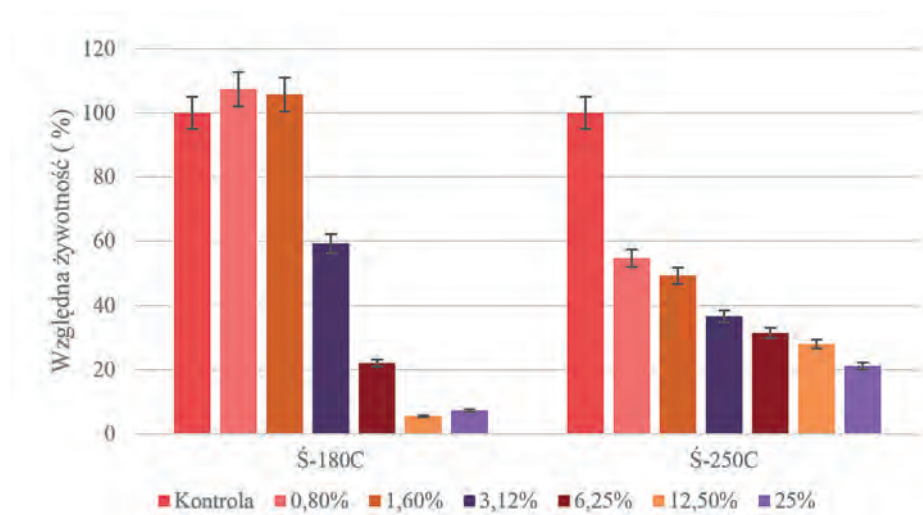
Każdy olej przeznaczony do badań został rozcieńczony systemem dwukrotnych seryjnych rozcieńczeń, uzyskując końcowe stężenia roztworów wynoszące: 25%, 12,5%, 6,25%, 3,12%, 1,6% i 0,8%. Każdą próbę wykonano w czterech powtórzeniach. Do dołków na płytce wprowadzono po 100 µl zawiesiny bakteryjnej dwóch szczepów: *E. coli* i *C. albicans*. W przypadku ludzkiej linii komórkowej Caco-2 zastosowano stężenia: 25%, 20%, 15%, 10%, 5%, 2,5%, 2%, 1,5%, 1% i 0,5%. Próbkę również powtórzono czterokrotnie, wprowadzając po 100 µl zawiesiny do dołków.

Po 24 godzinach do każdego dołka inkubowanych płytek z odpowiednimi mikroorganizmami i komórkami dodano po 10 µl roztworu MTT (5 mg/mL)

i inkubowano przez 2 godziny w temperaturze 37°C w inkubatorze. Następnie dodano po 100 µl mieszaniny izopropanolu i HCl w celu rozpuszczenia fioletowych kryształów formazanu i ponownie inkubowano komórki w ciemności przez kolejne 2 godziny. Absorbancję mierzono przy długości fali $\lambda = 570$ nm za pomocą czytnika płytek mikropłytkowych GloMax-Multi Microplate Multimode Reader (Promega Corporation, Madison, WI, USA).

3.3. Wyniki i dyskusja

Efekt działania oleju pirolitycznego uzyskanego w temperaturach 180°C i 250°C względem mikroorganizmów chorobotwórczych *E. coli* i *C. albicans* przedstawiono na rysunku 2 i 3.

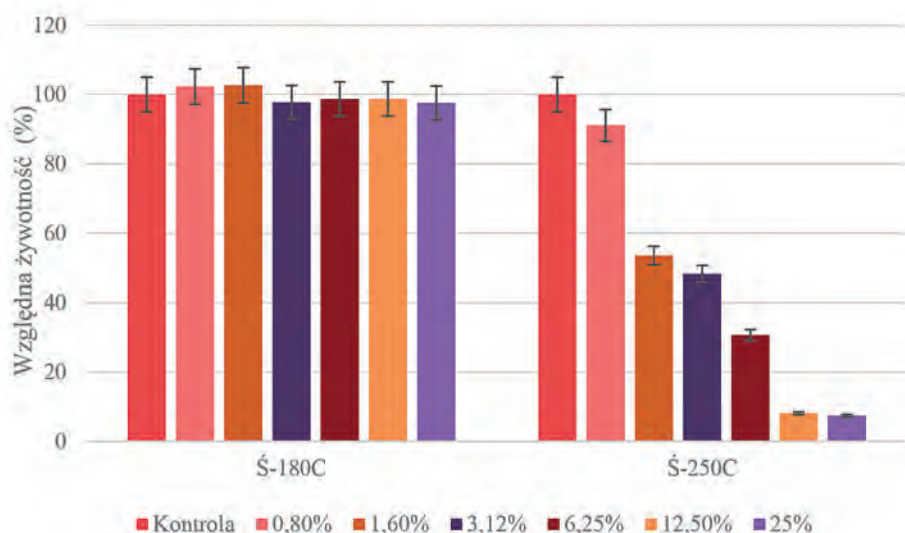


Rysunek 2 Względna żywotność drożdży *C. albicans* (%), względem stężenia olejów z pestek śliwki uzyskanych w temperaturze 180°C i 250°C

Wyniki badań wskazują, że wraz z rosnącym stężeniem oleju, żywotność badanych mikroorganizmów maleje. Najbardziej wrażliwe na działanie oleju okazały się drożdże *C. albicans*, których żywotność zarówno dla oleju z pestek śliwki uzyskanego w temperaturze 180°C jak i 250°C, malała wraz ze wzrostem dawki oleju. Przy najniższych stężeniach

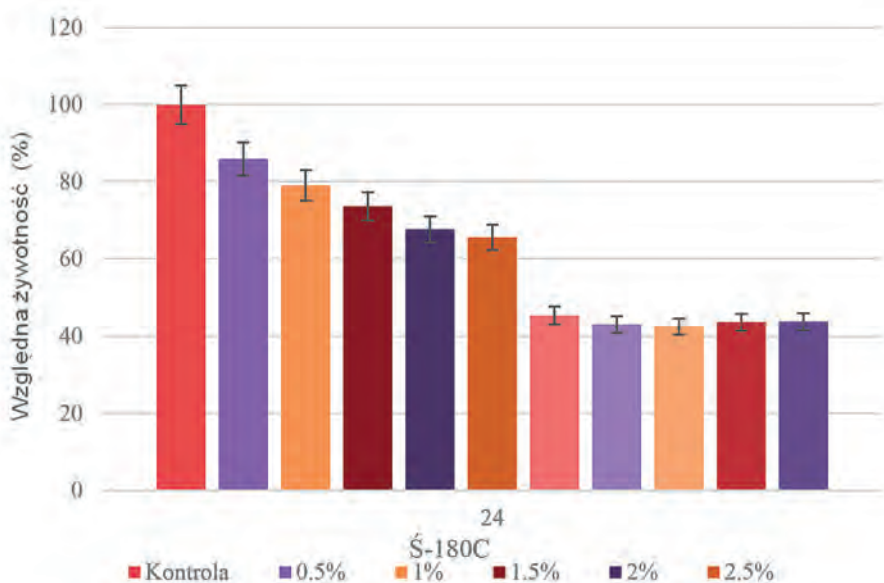
(0,80% i 1,60%) po aplikacji oleju uzyskanego w niższej temperaturze zaobserwowano stymulację wzrostu badanego drobnoustroju w porównaniu do kontroli (Rys. 2).

Znacznie mniejszą wrażliwość w porównaniu do *C. albicans* wykazały bakterie *E. coli*, których żywotność względem oleju z pestek śliwki uzyskanego w temperaturze 180°C, utrzymywała się na względnie stałym poziomie – od 97,57% do 102,65%. Natomiast bakterie te względem oleju z pestek śliwki uzyskanego w temperaturze 250°C były bardziej wrażliwe, gdzie uzyskały wartość 7,43%, przy najwyższym stężeniu (Rys. 3).

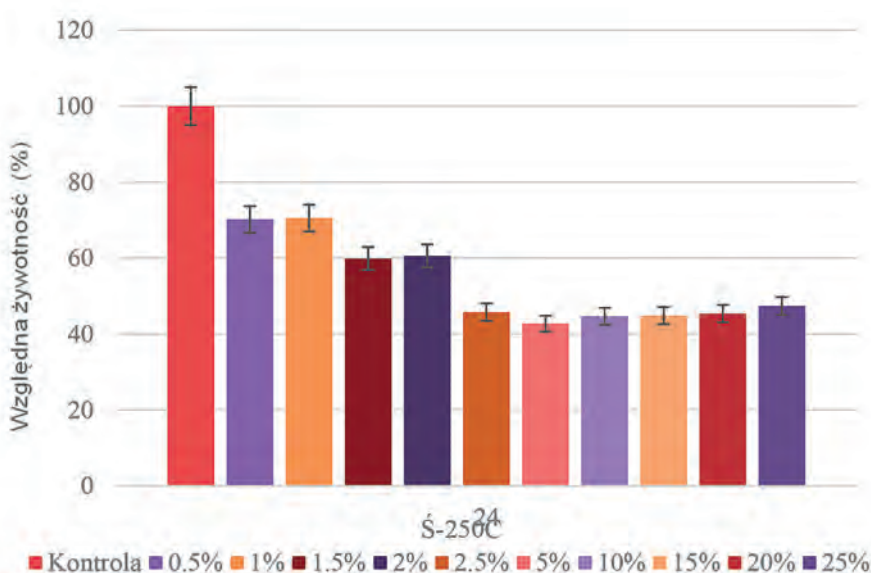


Rysunek 3 Względna żywotność bakterii *E. coli* (%), względem stężenia olejów z pestek śliwki uzyskanych w temperaturze 180°C i 250°C

Badania cytotoksyczne przeprowadzono także na linii komórkowej gruczolakoraków ludzkiego jelita grubego (Caco-2). Uzyskane wyniki wykazały, że wrażliwość komórek na działanie oleju nie jest wysoka. Zarówno dla oleju z pestek śliwki uzyskanego w temperaturze 180°C jak i 250°C, żywotność komórek przy najwyższych stężeniach, nie spadała poniżej 40% (Rys. 4 i Rys. 5).



Rysunek 4 Względna żywotność komórek olejów z pestek śliwki uzyskanych w temperaturze 180°C



Rysunek 5 Względna żywotność komórek ludzkich linii Caco-2 (%), względem stężenia olejów z pestek śliwki uzyskanych w temperaturze 250°C

4. Podsumowanie i wnioski

Pomimo że olej z pestek śliwki jest produktem naturalnym, stosowanym od dawna i ma udokumentowane właściwości lecznicze, to istotne jest oznaczenie bezpieczeństwa jego stosowania. Wyniki przeprowadzonych badań wskazują na zależność pomiędzy stężeniem oleju a żywotnością badanych komórek. Określono, że wraz z wzrostem stężenia oleju, a także temperatury jego pozyskiwania, żywotność komórek maleje.

Szczególnie wysoką wrażliwość na działanie olej wykazały drożdże *C. albicans*, których żywotność spadała najszybciej w obecności oleju z pestek śliwki uzyskanego zarówno w temperaturze 180°C, jak i 250°C. Natomiast bakterie *Escherichia coli* wykazywały mniejszą wrażliwość na olej z pestek śliwki uzyskany w temperaturze 180°C, natomiast były bardziej podatne na olej uzyskany w temperaturze 250°C.

W przypadku linii komórkowej Caco-2, obserwowano mniejszą wrażliwość na działanie oleju. Zarówno dla oleju z pestek śliwki uzyskanego w temperaturze 180°C, jak i 250°C, żywotność komórek pozostawała stosunkowo stabilna nawet przy najwyższych stężeniach oleju, nie spadając poniżej 40%.

Te wyniki sugerują, że skuteczność oleju z pestek śliwki w hamowaniu wzrostu komórek jest zależna zarówno od stężenia oleju, jak i temperatury jego uzyskania, a także specyfiki badanych organizmów. Drożdże *Candida* okazały się najbardziej wrażliwe na działanie oleju, podczas gdy komórki Caco-2 wykazały większą odporność na jego działanie. Te obserwacje mogą mieć znaczenie w kontekście potencjalnego zastosowania olejów z pestek śliwki w terapii przeciwnowotworowej lub przeciwbakteryjnej.

Literatura

- [1] Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii.
- [2] Werle S. (2021) Termiczne przetwarzanie biomasy odpadowej jako element gospodarki obiegu zamkniętego. *Wydawnictwo Politechniki Śląskiej*.
- [3] Kędzia B., Hołderna-Kędzia E. (2007). Badanie wpływu olejów eterycznych na bakterie, grzyby i dermatofity chorobotwórcze dla człowieka. *Borgis – Postępy Fitoterapii* 2/2007, s. 71–77.

- [4] Gołębiewski J. (2013). Zrównoważona biogospodarka – potencjał i czynniki rozwoju. *IX Kongres Ekonomistów*.
- [5] Ustawa z dnia 7 czerwca 2018 r. o zmianie ustawy o odnawialnych źródłach energii oraz niektórych innych ustaw.
- [6] Kufka, D. (2016). Piroliza wybranych surowców oraz możliwości aplikacyjne wytworzonego biowęgla. *Górnictwo Odkrywkowe*, 57(1), s. 5–10.
- [7] Vlado J., Gavaric A., Jokic S. i wsp., Alternative to Conventional Edible Oil Sources: Cold Pressing and Supercritical CO₂ Extraction of Plum (*Prunus Domestica* L.) Kernel Seed, *Acta Chimica Slovenica* 2020; 67. DOI: 10.17344/acsi.2019.5690.
- [8] Olejnik A., Tomczyk J., Kowalska K., Grajek W.: Rola naturalnych składników diety w chemioprewencji nowotworów jelita grubego. *Post. Hig. Med. Dośw.*, 2010; 64: 175–187.

Emilia Stollberg

Politechnika Rzeszowska | SKN PRzeTwórcy

Julia Zielińska

Politechnika Rzeszowska | SKN PRzeTwórcy

Justyna Rybak

Politechnika Rzeszowska | SKN PRzeTwórcy

GEN Z A PROWADZENIE WŁASNEJ DZIAŁALNOŚCI GOSPODARCZEJ

GEN Z AND RUNNING THEIR OWN BUSINESS

S U M M A R Y

The aim of the article is to examine Generation Z's attitudes towards running their own businesses. The study was conducted in April 2024 on 219 students from Rzeszow universities who expressed willingness to participate. The findings indicate that young people do not feel prepared to run their own businesses and are afraid of the risk of failure. The article also presents recommendations to help increase young entrepreneurs' chances of success.

K e y w o r d s

generation Z, entrepreneurship, financial support, mentoring,
innovation, self-employment

Wstęp

Pokolenie Z, znane również jako „Gen Z” lub „iGeneration”, obejmuje osoby urodzone w latach 1997–2012. Jest to pokolenie, które dorastało w erze szybkiego rozwoju technologii cyfrowych, co znacząco wpłynęło na ich

zachowania, sposób myślenia oraz preferencje zawodowe [1]. W odróżnieniu od poprzedzającego ich pokolenia „Y” (Millenialsów), przedstawiciele Gen Z są postrzegani jako bardziej przedsiębiorczy, pragmatyczni i świadomi finansowo. Cechuje ich też wysoka adaptacyjność do zmian [2].

Według literatury: „Przedsiębiorczość to zachowanie człowieka lub organizacji polegające na poszukiwaniu i stosowaniu nowych rozwiązań wymagających więcej energii, inicjatywy i pomysłowości oraz umiejętnego oszacowania koniecznych nakładów (czasu, wysiłku, środków) i możliwych do osiągnięcia korzyści w obszarze występujących ograniczeń i możliwości, a także skłonności do brania na siebie ryzyka i odpowiedzialności za swoje decyzje i działania” [3] oraz „Przedsiębiorczość to rodzaj aktywności, działania. Przedsiębiorczość wyraża się w tworzeniu czegoś nowego, a zarazem mającego określoną wartość. Przedsiębiorczość wymaga nakładów czasu i wysiłku, a także podejmowania ryzyka finansowego, psychicznego lub społecznego. Owe nakłady i ryzyko podejmowane są po to, by uzyskać nagrodę w postaci zysku materialnego i osobistej satysfakcji. Tak rozumiana przedsiębiorczość może być realizowana w niemal dowolnej dziedzinie: w gospodarce, nauce, wychowaniu czy polityce” [4]. W poniższych badaniach przedsiębiorczość jest rozumiana jako motywacja do założenia własnej firmy.

Rynkowe środowisko, w którym dorastało pokolenie Z, charakteryzuje się dynamicznymi zmianami, intensywną konkurencją oraz wysoką innowacyjnością [5]. Globalizacja i cyfryzacja sprawiły, że dostęp do informacji, zasobów i rynków jest łatwiejszy niż kiedykolwiek wcześniej, co otwiera nowe możliwości dla młodych przedsiębiorców [6]. Jednocześnie, coraz większe znaczenie zyskują wartości takie jak zrównoważony rozwój [7], odpowiedzialność społeczna oraz etyka biznesowa [8], które są istotne dla młodych ludzi podejmujących decyzje zawodowe.

Celem niniejszego artykułu jest zbadanie postaw Generacji Z wobec prowadzenia własnej działalności gospodarczej. Biorąc pod uwagę to, że temat związany z Gen Z stanowi coraz większe wyzwanie dla teoretyków i praktyków [9] oraz wyzwania, przed jakimi stoją młodzi przedsiębiorcy, takie jak trudności finansowe, biurokracja oraz brak wsparcia, przeprowadzone przez nas badania pomogą menadżerom oraz decydentom w kreowaniu strategii wspierających rozwój młodych przedsiębiorstw [10].

Charakterystyka próby badawczej

Badanie zostało przeprowadzone za pomocą ankiety papierowej dostarczonej bezpośrednio do respondentów, której celem było zebranie informacji na temat zainteresowania/chęci do prowadzenia własnej działalności gospodarczej. Badanie zostało przeprowadzone na studentach uczelni rzeszowskich, którzy dobrowolnie zadeklarowali chęć udziału w ankiecie.

Pytania do badań zostały zainspirowane literaturą taką jak między innymi: [7, 8, 9, 11]. Ankieta zawierała pytania dotyczące m.in. źródeł finansowania, usług wspierających, czynników zniechęcających oraz największych wyzwań związanych z prowadzeniem działalności gospodarczej. Badania zostały przeprowadzone w kwietniu 2024 roku. W badaniu wzięło udział 219 respondentów z „Gen Z”, z czego 50,2% to kobiety, 47% to mężczyźni, a 2,8% respondentów nie chciało podawać płci.

Wyniki badań nie są reprezentatywne, a pilotażowe, ponieważ z racji ograniczeń finansowych autorki nie miały możliwości innego doboru próby.

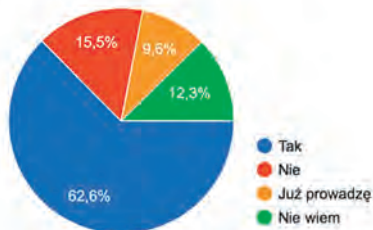
Wyniki badań i analiza

Pierwszą analizowaną kwestią w poniższym badaniu była chęć prowadzenie własnej działalności gospodarczej. Zdecydowana większość respondentów, bo aż 62,3% oświadczyło, że chce w przyszłości prowadzić własną firmę, 9,5% już ją prowadzi, 15,9% nie bierze takiej możliwości pod uwagę, a 12,3% z respondentów odpowiedziało, że nie wie. Wskazuje to na duże zainteresowanie przedsiębiorczością wśród generacji Z.

Respondenci, którzy już prowadzą działalność gospodarczą, albo mają takie plany zostali poproszeni o wskazanie wybranego obszaru w obrębie, którego chcieliby pracować. Najczęściej wybieranymi branżami były: branża motoryzacyjna (10,1%), informatyka (8,2%), sport (7,6%), gastronomia (7,6%) i nowe technologie (7%), odzwierciedla to zarówno tradycyjne, jak i nowoczesne obszary działalności.

1. Czy rozważa Pani/Pan prowadzenie własnej działalności gospodarczej (własnej firmy)? Prosimy o wybranie jednej odpowiedzi.

219 odpowiedzi

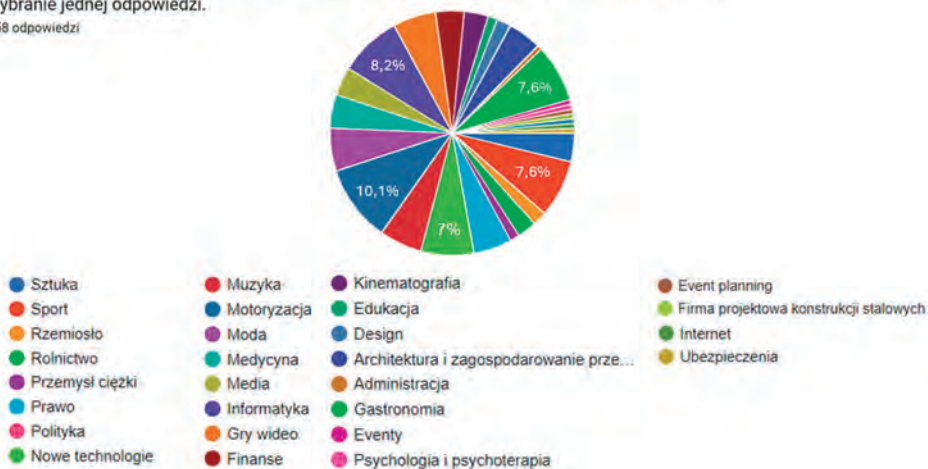


Rys. 1. Rozważenie prowadzenia własnej działalności gospodarczej

Źródło: Opracowanie własne.

2. W jakim obszarze chciałaby Pani/Pan prowadzić swoją działalność gospodarczą? Prosimy o wybranie jednej odpowiedzi.

158 odpowiedzi



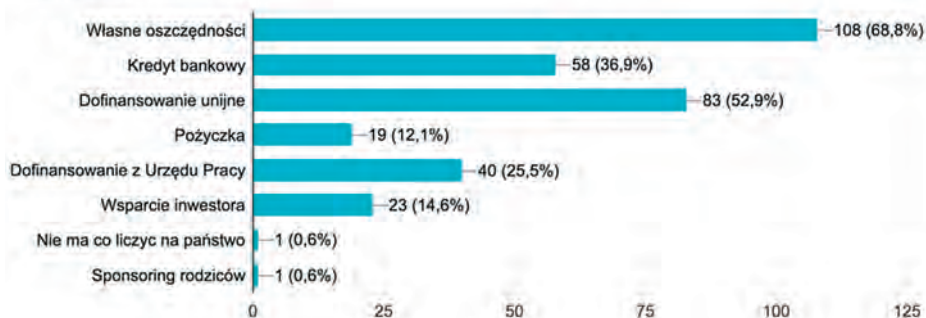
Rys. 2. Obszar działalności

Źródło: Opracowanie własne.

Kolejnym analizowanym aspektem w badaniu było źródło finansowania nowej firmy. Wśród naszych respondentów zdecydowana większość stawia na własne oszczędności (68,8%), dofinansowanie unijne (52,9%) i kredyt bankowy (36,9%).

3. Skąd planuje Pani/Pan pozyskać środki na finansowanie otwarcia firmy? Można zaznaczyć dowolną liczbę odpowiedzi.

157 odpowiedzi



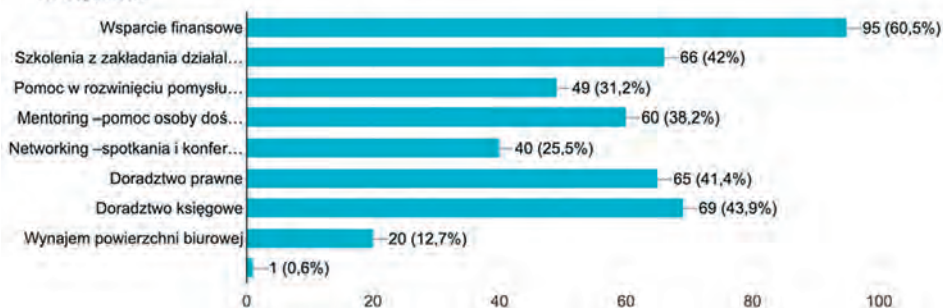
Rys. 3. Źródło pozyskania środków na otwarcie firmy

Źródło: Opracowanie własne.

Analizie został poddany także wybór usług towarzyszących otwieraniu własnej firmy. Nasi respondenci stojąc przed takim wyborem w większości postawiliby na wsparcie finansowe (60,5%), doradztwo księgowe (43,9%), szkolenia z zakładania działalności (42%) i doradztwo prawne (41,4%). Można zauważyć, że najczęściej wybierane opcje związane są głównie ze sferą finansową co nasuwa wniosek, że Gen Z obawia się odpowiedzialności finansowej i porażki.

4. Z jakich usług, chciałaby Pani/Pan skorzystać podczas otwierania własnej firmy? Można zaznaczyć dowolną liczbę odpowiedzi.

157 odpowiedzi



Rys. 4. Usługi dodatkowe podczas otwierania firmy

Źródło: Opracowanie własne.

W kolejnym pytaniu respondenci zostali zapytani o najbardziej zniechęcające czynniki przy zakładaniu własnej firmy. Spośród odpowiedzi wyciągnęliśmy średnie i zostały one przedstawione na wykresie radarowym. Jako najbardziej zniechęcające respondenci wybrali ograniczone środki finansowe (średnia odpowiedź 3,73), następnie zbyt duże ryzyko prowadzenia firmy (średnia ocena 3,72), nadmierna biurokracja (średnia odpowiedź 3,65), brak wiedzy o prowadzeniu firmy (średnia odpowiedź 3,38), brak odpowiednich kompetencji i predyspozycji (średnia odpowiedź 3,17), brak wiedzy o możliwych do pozyskania źródłach finansowania (średnia ocena 3,11), a na ostatnim miejscu uplasował się brak pomysłu na firmę (średnia odpowiedź 2,78).

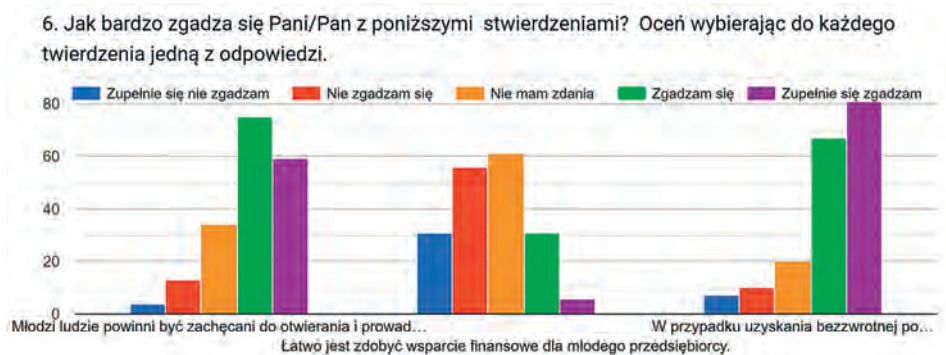


Rys. 5. Czynniki zniechęcające do otwarcia firmy

Źródło: Opracowanie własne.

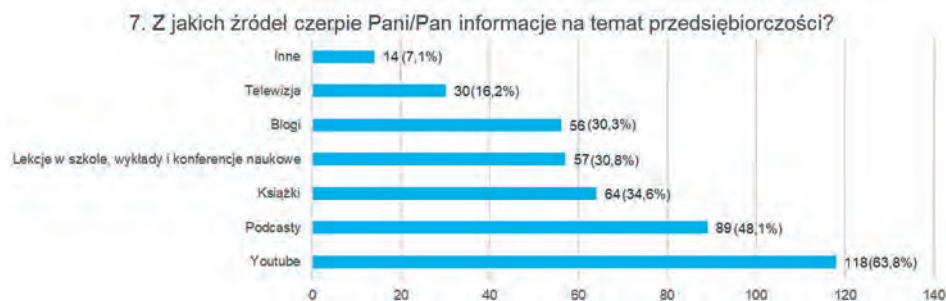
Kolejnym badanym aspektem była zgodność respondentów z podanymi przez nas stwierdzeniami. Większość respondentów (134 osoby: suma osób wybierających „zgadzam się i „zupełnie się zgadzam”) zgadza się ze stwierdzeniem, że „młodzi ludzie powinni być zachęcani do otwierania i prowadzenia własnej działalności”. Na drugie stwierdzenie o tym, że „łatwo jest zdobyć wsparcie finansowe dla młodego przedsiębiorcy” respondenci w większości się nie zgodzili (87 osób: suma osób wybierających

„nie zgadzam się” i „zupełnie się nie zgadzam”), jednak znaczna część respondentów nie ma zdania na ten temat (61 osób). Respondenci na stwierdzenie, że „w przypadku uzyskania bezzwrotnej pomocy finansowej zdecydowałbym/zdecydowałabym się na otwarcie działalności gospodarczej” w większości oświadczyli, że się z nim zgadzają (148 osób: suma osób wybierających „zgadzam się i „zupełnie się zgadzam”). Można wywnioskować z tego wnioski, że wśród pokolenia Z jest chęć na podjęcie działania, lecz problemem jest aspekt finansowy. Wskazuje to też konieczność poprawy warunków do zakładania firm.



Rys. 6. Zgodność z podanymi stwierdzeniami

Źródło: Opracowanie własne.

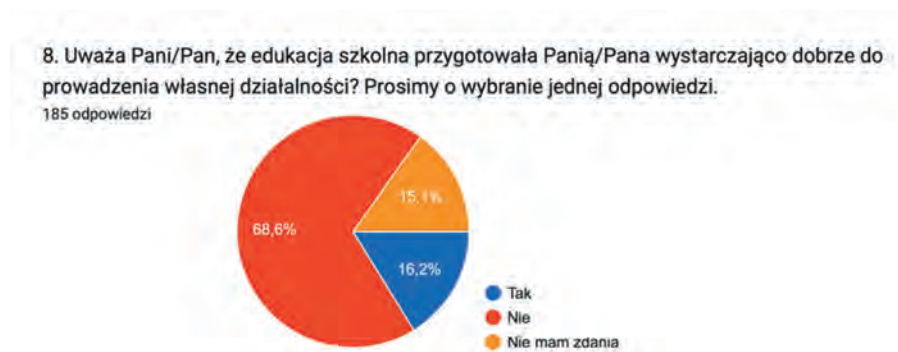


Rys. 7. Źródło informacji o przedsiębiorczości

Źródło: Opracowanie własne.

Ważnym aspektem badań było źródło pozyskiwania wiedzy przez naszych respondentów na temat przedsiębiorczości. Jako najczęstsze źródło informacji respondenci wybrali YouTube (63,8%), na kolejnym miejsc uplasowały się podcasty (48,1%), a następnie książki (34,6%) oraz lekcje, wykłady i konferencje (30,8%). W sekcji inne znalazły się odpowiedzi takie jak: platformy TikTok i Instagram oraz rozmowy z bliskimi i znajomymi o ich doświadczeniach. Pokazuje to, że Gen Z chętniej sięga do mediów społecznościowych niż do książek.

Respondenci zapytani o rolę edukacji szkolnej w przygotowaniu do prowadzenia własnej działalności w 68,6% odpowiedzieli, że nie czują się wystarczająco dobrze przygotowani, 15,1% nie ma zdania, a 16,2% uważa, że szkolnictwo zapewniło im dostateczną edukację w tym zakresie. To pytanie było także pytaniem warunkującym – osoby twierdzące, że nie zostały wystarczająco przygotowane, zostały poproszone o podanie powodu.



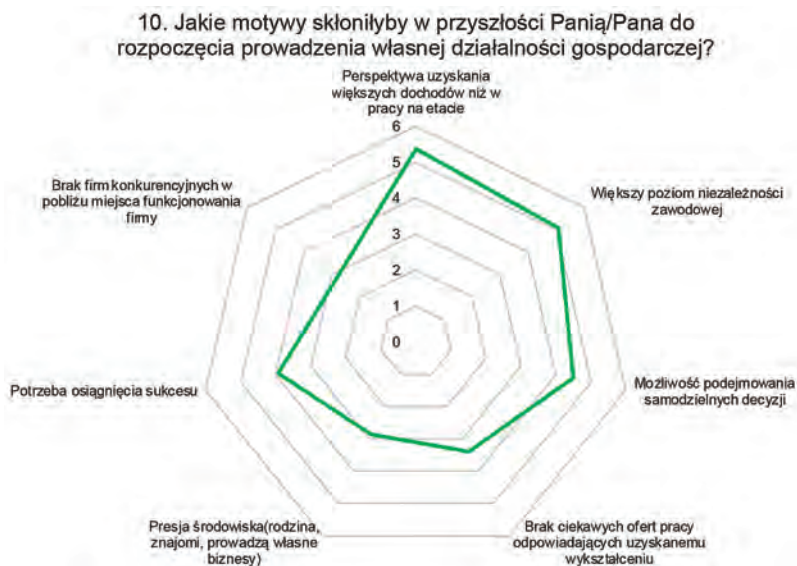
Rys. 8. Przygotowanie szkolne do prowadzenia własnej firmy

Źródło: Opracowanie własne.

Niektóre z odpowiedzi wskazywały, że „wiedza szkolna nie pokrywa się z rzeczywistością”, jest nieaktualna i przestarzała. Kolejnym wskazywanym problemem był brak zajęć praktycznych. Wiele osób uważa także, że przedmiotu odpowiedzialnego za naukę podstaw przedsiębiorczości i prowadzenia firmy powinny uczyć osoby, które prowadzą własne firmy i przechodziły przez proces budowania własnej działalności. Ponadto część respondenów wskazuje, że podstawa programowa w szkołach jest przeładowana przez co przedmiot powiązany z działalnością na

rynku pracy jest bagatelizowany – „zajęcia często są traktowane jako wypełniacz programu w programie anizeli wartościowymi przedmiotami”. Jedna z odpowiedzi, szczególnie daje do myślenia i brzmi ona: „szkoła nie przygotowuje do bycia dobrym pracodawcą, a do bycia dobrym pracownikiem”.

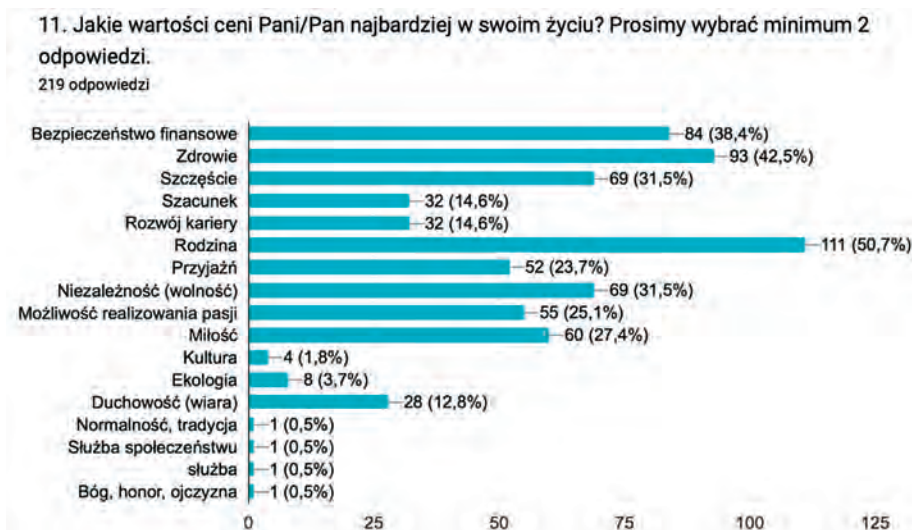
Respondenci zostali poproszeni też o uszeregowanie motywów skłaniających do rozpoczęcia prowadzenia własnej działalności gospodarczej. Spośród odpowiedzi wyciągnęliśmy średnie i zostały one przedstawione na wykresie radarowym. Najbardziej zachęcającym czynnikiem do otworzenia własnej firmy według respondentów jest perspektywa uzyskania większych dochodów niż w pracy na etacie (średnia ocena 5,37), następnym czynnikiem jest większy poziom niezależności finansowej (średnia ocena 5,10), możliwość podejmowania samodzielnych decyzji (średnia ocena 4,51), potrzeba osiągnięcia sukcesu (średnia ocena 3,92), brak ciekawych ofert pracy odpowiadających uzyskanemu wykształceniu (średnia ocena 3,4), presja środowiska (średnia ocena 2,87), a na ostatnim miejscu uplasował się brak firm konkurencyjnych w pobliżu miejsca funkcjonowania firmy (średnia ocena 2,83).



Rys. 9. Motywy skłaniające do otwarcia własnej firmy

Źródło: Opracowanie własne.

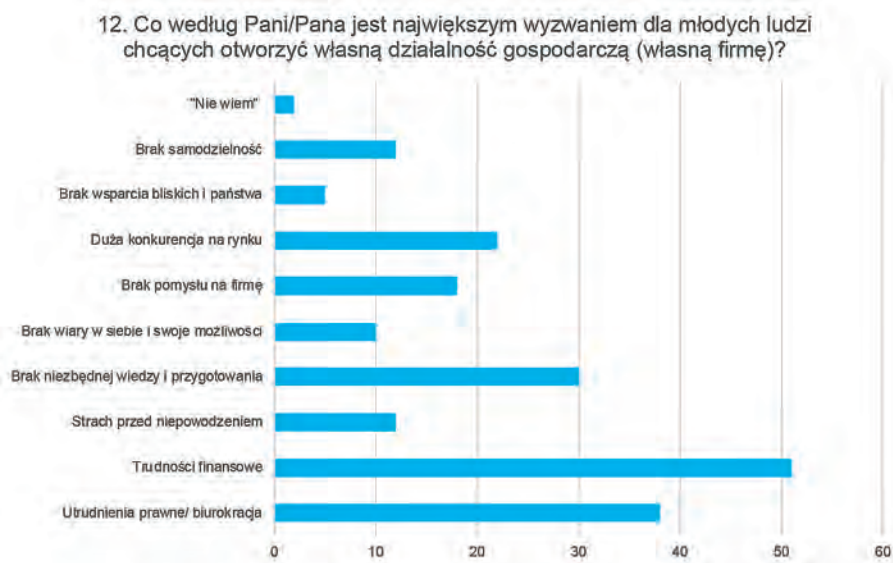
Następnie respondenci zostali poproszeni o wskazanie wartości, którymi kierują się przy podejmowaniu kluczowych decyzji. Możemy zauważyć, że pokolenie Z kieruje się w życiu głównie wartościami takimi jak: rodzina (50,7%), zdrowie (42,5%), bezpieczeństwo finansowe (38,4%) i niezależność (31,5%).



Rys. 10. Najbardziej cenione wartości

Źródło: Opracowanie własne.

W naszym badaniu pojawiło się także pytanie otwarte. Polegało ono na podaniu największego wyzwania dotyczącego wkraczania młodej osoby na rynek pracy, która chciałaby założyć własną działalność gospodarczą. Odpowiedzi przeanalizowano i sklasyfikowano w 10 kategoriach. Według respondentów największym wyzwaniem dla młodych przedsiębiorców są trudności finansowe (51 odpowiedzi), biurokracja i utrudnienia prawne (38 odpowiedzi) oraz brak niezbędnej wiedzy i przygotowania (30 odpowiedzi). Co ciekawe, pojawiły się odpowiedzi sugerujące brak wiary w swoje możliwości (10 odpowiedzi) i strach przed porażką (12 odpowiedzi).



Rys. 11. Największe wyzwania dla młodych ludzi chcących otworzyć firmę

Źródło: Opracowanie własne.

Wśród odpowiedzi pojawiło się kilka wyróżniających się na tle innych: „Największym wyzwaniem jest odpowiedni wybór biznesu, oraz zdawanie sobie sprawy, że czasem na sukces pracuje się latami i nie pojawia się on od razu. Młodzi ludzie często są bardzo niecierpliwi i wydaje mi się to największym wyzwaniem”

„Brak wsparcia, a wręcz zniechęcanie młodych ludzi do otwierania swojej firmy mówiąc, że i tak nie dadzą rady, albo że nie nadają się do tego bo ...”

„Uważam, że takim wyzwaniem może być zostanie zauważonym na rynku. Dla kogoś kto nie miał z podobnymi wyzwaniami do czynienia dochodzi również stres czy założenie własnej firmy się uda i przyniesie oczekiwane korzyści”

„To, że często nie mają wsparcia od bliskich; nie mają także doświadczenia, ani osoby która chciałaby być ich mentorem i ich wspomóc”

„Przekonanie osób starszych że jesteśmy równie kompetentni co oni”

Podsumowanie

Przeprowadzone przez nas badania wskazują na potrzebę wdrożenia szeregu różnych działań wspierających młodych przedsiębiorców z Pokolenia Z. Pokazują, że Generacja Z jest bardzo zainteresowana przedsiębiorczością, ale potrzebuje wsparcia finansowego, edukacyjnego i praktycznego, aby skutecznie realizować swoje aspiracje. Zrozumienie tych potrzeb i barier jest kluczowe dla tworzenia skutecznych strategii wspierających rozwój młodych przedsiębiorstw. Poniżej przedstawiono szczegółowe rekomendacje, które mogą przyczynić się do zwiększenia ich sukcesu:

- Dostępności informacji:

Badania wskazują, że konieczne jest ułatwienie dostępu do rzetelnych i aktualnych informacji na temat możliwości finansowania oraz procedur zakładania firmy. Obejmuje to tworzenie dedykowanych platform internetowych, organizację regularnych webinarów oraz publikowanie przewodników i poradników. Dzięki temu przedsiębiorcy będą mieli łatwy i szybki dostęp do kluczowych informacji, co zredukuje część barier wejścia na rynek [2].

- Mentoring i szkolenia:

Organizacja programów mentoringowych oraz szkoleń z zakresu przedsiębiorczości jest niezbędna do rozwijania umiejętności zarządzania i prowadzenia własnej działalności wśród młodych przedsiębiorców. Specjaliści z różnych branż powinni dzielić się swoją wiedzą i doświadczeniem z młodymi przedsiębiorcami. Programy te mogą obejmować warsztaty, coaching oraz spotkania networkingu, które nie tylko edukują, ale również budują cenne relacje biznesowe [5].

- Cyfrowe narzędzia wsparcia:

Wykorzystanie technologii do tworzenia cyfrowych narzędzi wspierających przedsiębiorców, takich jak aplikacje do zarządzania finansami, platformy e-learningowe czy systemy CRM (Customer Relationship Management), może znacznie ułatwić prowadzenie działalności gospodarczej i zwiększyć efektywność zarządzania firmą [12].

- Współpraca z instytucjami edukacyjnymi:
Wprowadzenie programów przedsiębiorczości do szkół i uczelni wyższych może pomóc w kształtowaniu umiejętności biznesowych od najmłodszych lat. Kursy i warsztaty z zakresu zakładania i prowadzenia działalności gospodarczej, zarządzania projektami, marketingu oraz finansów powinny być integralną częścią programu nauczania. Dodatkowo, współpraca z lokalnymi przedsiębiorstwami w formie praktyk i staży może dostarczyć młodym ludziom cennego doświadczenia [6].
- Budowanie sieci kontaktów i współpracy:
Tworzenie platform i organizowanie wydarzeń networkingowych umożliwiających młodym przedsiębiorcom nawiązywanie kontaktów z innymi przedsiębiorcami, inwestorami oraz ekspertami branżowymi jest kluczowe. Takie inicjatywy mogą obejmować konferencje, meet-upy, hackathony oraz grupy dyskusyjne online. Współpraca i dzielenie się doświadczeniami mogą znacząco zachęcić młodych przedsiębiorców do otwarcia własnych firm, wesprzeć ich pierwsze inicjatywy oraz pomóc w rozwoju [13].
- Programy wsparcia:
Przedsiębiorczość wiąże się często z dużym stresem i presją. Zapewnienie wsparcia psychologicznego oraz programów rozwoju osobistego może pomóc młodym przedsiębiorcom w radzeniu sobie z wyzwaniami emocjonalnymi i zachowaniu równowagi między życiem zawodowym a prywatnym. Programy takie mogą obejmować sesje coachingowe, warsztaty z zarządzania stresem oraz dostęp do specjalistów ds. zdrowia psychicznego [1].

Wdrożenie powyższych rekomendacji pomoże zwiększyć szanse młodych ludzi z Pokolenia Z na sukces w prowadzeniu własnych firm. Takie wsparcie nie tylko pomoże im w realizacji ich przedsiębiorczych marzeń, ale również przyczyni się do ogólnego rozwoju gospodarki i wzrostu innowacyjności. Młodzi przedsiębiorcy, posiadający odpowiednie narzędzia i wsparcie, mogą stać się siłą napędową przyszłościowej gospodarki [14].

Literatura

- [1] Twenge, J. M. (2017). "iGen: Why Today's Super-Connected Kids Are Growing Up Less Rebellious, More Tolerant, Less Happy – and Completely Unprepared for Adulthood – and What That Means for the Rest of Us". Atria Books. Rozdziały 1–3, s. 1–60.
- [2] Francis, T., & Hoefel, F. (2018). "True Gen: Generation Z and its implications for companies". McKinsey & Company. Rozdziały 2–4, s. 10–45.
- [3] Hajduk-Stelmachowicz M., Belch P., Bednarova L., Šimková Z., Chudy-Laskowska K. (2023), Environmentally friendly products – how customers from Generation Z in V4 countries assess this approach, HUMANITIES AND SOCIAL SCIENCES.
- [4] Kaczmarczyk M. „Pokolenie Z na rynku pracy, postawy, priorytety, oczekiwania.”, Instytut Nauk o Zarządzaniu i Jakości, Wyższa Szkoła Humanitas.
- [5] Singh, A. P., & Dangmei, J. (2016). "Understanding the Generation Z: The future workforce". South-Asian Journal of Multidisciplinary Studies, 3(3), 1–5. Rozdziały 1–2, s. 1–20.
- [6] Dolot, A. (2018). "The characteristic of Generation Z"**. E-mentor, 74(2), 44–50. Rozdziały 1–2, s. 44–50.
- [7] Belch P., Hajduk-Stelmachowicz M., Chudy-Laskowska K., Vozňáková I., Gavurová B. (2024), *Factors Determining the Choice of Pro-Ecological Products among Generation Z*, Sustainability.
- [8] Hajduk-Stelmachowicz M., Belch P., Chudy-Laskowska K., Metszösy G., (2024) "Do factors influencing satisfaction in purchasing products in the electromechanical industry consider a proecological approach", Qualitative-environmental aspects of products improvement, Siwiec D.
- [9] Hajduk-Stelmachowicz M., Belch P. (ed.), Publishing House of the Rzeszow University of Technology, Rzeszow 2024.
- [10] Fromm, J., & Read, A. (2018). "Marketing to Gen Z: The rules for reaching this vast--and very different--generation of influencers"**. AMACOM. Rozdziały 1–3, s. 1–70.
- [11] Cieślík J. Z. Przedsiębiorczość dla ambitnych – jak uruchomić własny biznes. Warszawa: Wydawnictwa Akademickie i Profesjonalne; 2008.
- [12] Turner, A. (2015). "Generation Z: Technology and social interest". The Journal of Individual Psychology, 71(2), 103–113. Rozdziały 1–2, s. 103–113.

- [13] Priporas, C. V., Stylos, N., & Fotiadis, A. K. (2017). "Generation Z consumers' expectations of interactions in smart retailing: A future agenda". *Computers in Human Behavior*, 77, 374–381. Rozdziały 1–2, s. 374–381.
- [14] Piecuch T., Chudy-Laskowska K., Hajduk-Stelmachowicz M., Szczygieł E. (2023), *Between Comfort and Challenge: Entrepreneurial Attitudes and Behaviors of Students from Poland and Ukraine on the Example of Students of Economics and Management from Rzeszów and Lviv* , Barometr Regionalny. Analizy i Prognozy, T. 19, nr 2, s. 111–124.

Agata Dados

Politechnika Lubelska | SKN Human Centered Management

Karolina Ostapińska

Politechnika Lubelska | SKN Human Centered Management

Yeva Tserakhovich

Politechnika Lubelska | SKN Human Centered Management

**CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE
NA DECYZJĘ O KONTYNUACJI STUDIÓW
NA II STOPNIU W OCENIE STUDENTÓW
WYDZIAŁU ZARZĄDZANIA POLITECHNIKI LUBELSKIEJ**

**CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE
NA DECYZJĘ O KONTYNUACJI STUDIÓW
NA II STOPNIU W OCENIE STUDENTÓW
WYDZIAŁU ZARZĄDZANIA POLITECHNIKI LUBELSKIEJ**

S U M M A R Y

Creating and building a lasting relationship is not possible without knowing the needs and expectations of students. In order to conduct a study of students' preferences, an analysis of available data was first undertaken. The purpose of the research was to assess the factors influencing the decision to pursue a second degree program as perceived by students. The research indicates the need for educational institutions to create programs based on students' needs. Universities need to understand the internal determinants and external environmental conditions that influence needs.

Key words

Factors, decision, evaluation, research, study

Wstęp

W obliczu demograficznego spadku liczby studentów oraz trudności rekrutacyjnych, coraz więcej uwagi poświęca się badaniom nad procesami decyzyjnymi dotyczącymi wyboru kariery i ścieżek edukacyjnych przez studentów i absolwentów uczelni wyższych. Współczesny system edukacji wyższej w Polsce, ukształtowany w dużej mierze przez założenia Procesu Bolońskiego, stoi przed szeregiem wyzwań [1]. Wprowadzenie studiów dwustopniowych wymusiło na studentach podejmowanie dodatkowych decyzji dotyczących dalszej ścieżki kształcenia.

Badania skierowane na identyfikację motywatorów działań studentów nabierają szczególnego znaczenia na Wydziale Zarządzania Politechniki Lubelskiej. W tym przypadku, zrozumienie czynników wpływających na decyzje o kontynuacji nauki na studiach II stopnia może pozwolić na dostosowanie programów dydaktycznych do oczekiwań i potrzeb kolejnych pokoleń. Dzięki temu możliwe jest tworzenie atrakcyjnych propozycji programowych oraz kształtowanie skutecznych strategii marketingowych, które są kluczowe dla przyciągnięcia pożądanych kandydatów i utrzymania pozycji uczelni na rynku edukacyjnym. Wskutek wciąż zmieniającego się świata, oraz galopującego rozwoju technologii, konieczne jest, aby uczelnie wyższe wychodziły naprzeciw oczekiwaniom przyszłych studentów. Dzięki przeprowadzonym badaniom, zostały zidentyfikowane czynniki, które mogą pomóc sprostać oczekiwaniom stawianym przez kolejne pokolenia studentów Wydziałowi Zarządzania Politechniki Lubelskiej.

1. Czynniki wpływające na podejmowanie decyzji przez studentów

Na dzień 01.06.2024 r. w Polsce działa ponad 400 uczelni wyższych (zarówno publicznych, jak i prywatnych) [4], co za tym idzie, studenci, decydujący się na kontynuowanie studiów na studiach drugiego stopnia (II stopnia) mają niesłychanie szeroki wachlarz opcji wyboru. W samym

województwie lubelskim na studentów czeka 20 jednostek oferujących kształcenie na ponad 100 kierunkach [2]. Jak podaje serwis ELA, około 70% absolwentów studiów I stopnia, decyduje się kontynuować naukę na II stopniu od razu, po uzyskaniu tytułu licencjata/inżyniera[3]. Kluczowe jest zatem, aby uczelnie nawiązywały ze swoimi studentami więź, dzięki której będą się oni decydowali na kontynuację studiów na II stopniu właśnie na macierzystej uczelni. Stworzenie i budowanie trwałej relacji nie jest możliwe bez znajomości potrzeb i oczekiwań studentów.

Aby przeprowadzić badania dotyczące preferencji studentów na Wydziale Zarządzania Politechniki Lubelskiej, w pierwszej kolejności podjęta została analiza dostępnych danych. Pozwoliło to na poznanie szeregu czynników, które w dostępnych badaniach zostały wskazywane przez respondentów. A. Suchorab, w swoich badaniach przeprowadzonych w 2014 roku, identyfikuje 18 czynników jakie zadecydowały o podjęciu przez studentów kształcenia na poziomie wyższym. Według niej są to: [5]

- ambicja posiadania wyższego wykształcenia,
- przekonanie, że ukończenie studiów umożliwi znalezienie dobrze płatnej pracy,
- przekonanie, że ukończenie studiów gwarantuje łatwiejsze znalezienie stałej i pewnej pracy,
- potrzeba rozwoju, zdobywania nowej wiedzy i umiejętności,
- przesunięcie na pewien czas obowiązku pracy,
- możliwość poznania nowych ludzi,
- chęć osiągnięcia wysokiej pozycji społecznej,
- chęć zdobycia zawodu wymagającego wysokich kwalifikacji zawodowych,
- możliwość rozwoju osobowości,
- oczekiwania ze strony rodziców,
- chęć bycia studentem, poznania życia studenckiego,
- strach przed bezrobociem,
- przekonanie, że ukończenie studiów jest warunkiem zdobycia interesującej pracy, przynoszącej satysfakcję,
- przypadek,
- przykład/namowa otoczenia/przyjaciół,
- łatwość dostania się na kierunek,

- kontynuacja zawodowych tradycji rodzinnych,
- chęć studiowania razem ze znajomymi.

Aby jednak badania okazały się jak najbardziej trafne, przeanalizowano również czynniki, które zostały przedstawione przez A. Wroczyńską w dziennikach sejmowych „Studia BAS”. Dane pochodzą z ankiety rekrutacyjnej na studia na Uniwersytecie Warszawskim, a ich prezentacja została przygotowana na posiedzenie Senatu UW, w 2010 roku [6]. Do czynników wtedy zidentyfikowanych należą:

- łatwość dostania się na studia,
- możliwość pogodzenia studiów z pracą zawodową,
- uczestnictwo w życiu studenckim,
- możliwość nauki u znanych naukowców,
- opinie na temat uczelni z innych źródeł, np. forów internetowych,
- łatwość wyjazdu na stypendium zagraniczne,
- koszty związane z nauką,
- opinie znajomych o uczelni,
- pozycja uczelni w rankingach,
- łatwość znalezienia pracy po ukończeniu studiów,
- wysoki poziom nauczania.

Badania, którymi się posiłkowano nie należą do najnowszych, natomiast czynniki, które zostały w nich zidentyfikowane są stale aktualne. Podczas tworzenia narzędzia badawczego, zdecydowano się wybrać tylko niektóre z wyżej wymienionych czynników, chcąc jak najlepiej dotrzeć do respondentów, którymi mieli zostać studenci Wydziału Zarządzania Politechniki Lubelskiej.

Jak można zauważyć, czynniki zidentyfikowane w obu przypadkach dotyczą zarówno personalnych preferencji jednostki, jak i presji wywieranej na nią przez otoczenie. Różnice te skłoniły autorki do dokonania podobnego podziału czynników podczas przeprowadzania docelowych badań. Zdecydowano, że respondenci zostaną zapytani o czynniki wpływające na podejmowanie decyzji o kontynuowaniu studiów II stopnia w dwóch oddzielnych pytaniach. Został zastosowany podział na czynniki wewnętrzne oraz zewnętrzne, ze względu na znacząco różniące się spektrum oddziaływania.

2. Metodyka badań

2.1. Problem, cel, hipotezy badań

Celem przeprowadzonego badania była ocena czynników wpływających na podejmowanie decyzji o kontynuowaniu nauki na Wydziale Zarządzania Politechniki Lubelskiej w opinii studentów Wydziału Zarządzania Politechniki Lubelskiej.

Problemem badawczym postawionym na potrzeby niniejszego artykułu jest pytanie: Jakie czynniki biorą pod uwagę studenci decydując się na kontynuację nauki na Wydziale Zarządzania Politechniki Lubelskiej?

Pytania badawcze zostały postawione w celu uszczegółowienia problemu badawczego. Miały one opisywać, w sposób konkretny, temat umożliwiając uzyskanie jednoznacznych odpowiedzi.

Do przeprowadzenia badań zostały skonstruowane następujące pytania badawcze:

1. Jakie zewnętrzne czynniki wpływające na podejmowanie decyzji o kontynuowaniu przez studentów nauki na II stopniu odgrywają kluczową rolę?
2. Jakie wewnętrzne czynniki wpływające na podejmowanie decyzji o kontynuowaniu przez studentów nauki na II stopniu odgrywają kluczową rolę?

Na podstawie problemu badawczego oraz pytań autorki sformułowały hipotezy, które brzmią następująco:

1. Bezpośrednia współpraca wydziału z pracodawcami i dodatkowe wsparcie finansowe jest w opinii studentów brana pod uwagę przy podejmowaniu decyzji o kontynuacji studiów na II stopniu.
2. Chęć odnalezienia własnej ścieżki kariery i rozwój umiejętności jest w opinii studentów brana pod uwagę przy podejmowaniu decyzji o kontynuacji studiów na II stopniu.
3. Osiągnięcia uzyskane podczas studiów I stopnia są w opinii studentów brane pod uwagę przy podejmowaniu decyzji o kontynuacji studiów na II stopniu.
4. Presja rodziców nie jest brana pod uwagę w opinii studentów przy podejmowaniu decyzji o podjęciu studiów na II stopniu.

2.2. Metody, techniki, narzędzia badań

Aby osiągnąć postawiony przez autorki cel badań wykorzystane zostały dwie metody badawcze tj. metoda krytyki piśmiennictwa oraz metoda sondażu diagnostycznego. Metoda sondażu diagnostycznego jest to forma gromadzenia wiedzy na temat zachodzących zjawisk społecznych, poglądów wybranej społeczności oraz kierunkach rozwoju określonych zjawisk w oparciu o intencjonalnie dobraną grupę reprezentacyjną, w której występuje badane zjawisko [7].

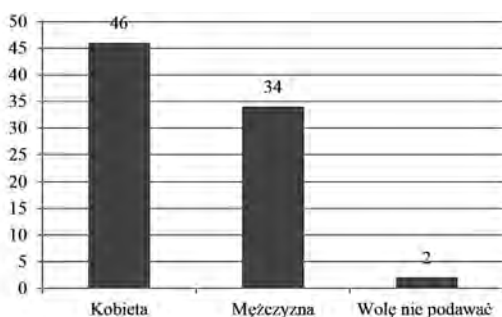
Technika badania wybrana na potrzeby niniejszej pracy badawczej to ankieta internetowa. Badanie ankietowe to technika badawcza mająca na celu pośrednie zebranie informacji od respondentów, których jako grupę badawczą dobiera się w sposób losowy. Zaletami ankiety internetowej jest nieograniczony zasięg oraz silne poczucie anonimowości [8].

Narzędzie badawcze w postaci kwestionariusza ankiety jest prostym sposobem na zebranie pokażnej ilości danych dotyczących badanej zbiorowości. Na potrzeby badania został skonstruowany kwestionariusz ankiety składający się z 12 pytań merytorycznych oraz 3 pytań metryczkowych [7].

2.3. Charakterystyka próby badawczej

W badaniu ankietowym przeprowadzonym na potrzeby niniejszego artykułu wzięło udział 82 respondentów, którymi byli studenci Wydziału Zarządzania Politechniki Lubelskiej.

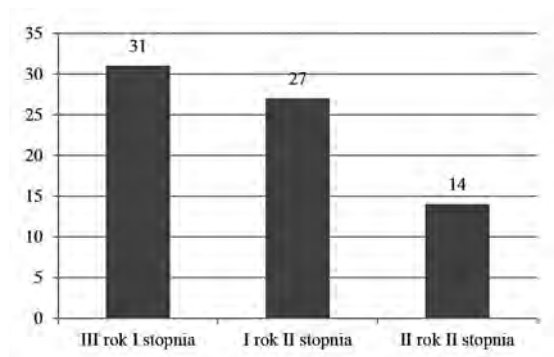
W badaniu wzięło udział 46 kobiet, 34 mężczyzn oraz 2 osoby, które wolały nie podawać swojej płci.



Wykres 1. Płeć respondentów

Źródło: Opracowanie własne na podstawie badań

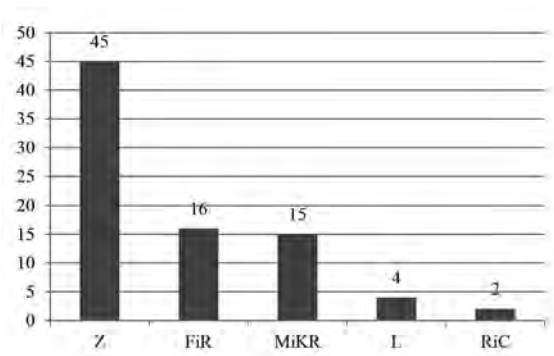
Najliczniejszą grupą wśród ankietowanych byli studenci III roku studiów I stopnia. W ankiecie wzięło udział 41 studentów II stopnia, z czego 27 osób z I roku, a 14 respondentów z II roku studiów magisterskich.



Wykres 2. Rok studiów

Źródło: Opracowanie własne na podstawie badań

Wśród respondentów znaleźli się studenci z większości kierunków znajdujących się na Wydziale Zarządzania Politechniki Lubelskiej. Najliczniejszą grupą były osoby studiujące Zarządzanie (Z) i stanowiły ponad 50% wszystkich ankietowanych. Pozostali respondenci byli studentami Finansów i Rachunkowości (FiR), Marketingu i Komunikacji Rynkowej (MiKR), Logistyki (L) oraz Rachunkowości i Controllingu (RiC).

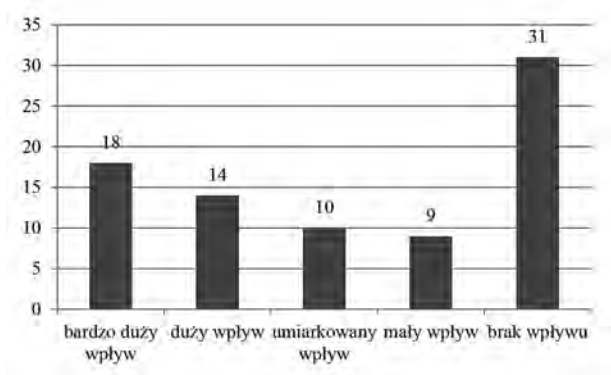


Wykres 3. Kierunek studiów

Źródło: Opracowanie własne na podstawie badań

3. Wyniki badań

W pierwszym pytaniu studenci mieli za zadanie określić w jaki sposób poszczególne czynniki wpływają na podjęcie decyzji o kontynuowaniu studiów na II stopniu na Wydziale Zarządzania Politechniki Lubelskiej. Autorki w pierwszej hipotezie założyły iż dodatkowe wsparcie finansowe oraz bezpośrednia współpraca Wydziału z pracodawcami będzie miała największy wpływ przy podejmowaniu decyzji na temat kontynuowania studiów na II stopniu. Jak wynika z wykresu 4 najczęściej wskazywaną odpowiedzią przez studentów przy wsparciu finansowym była odpowiedź „brak wpływu”.



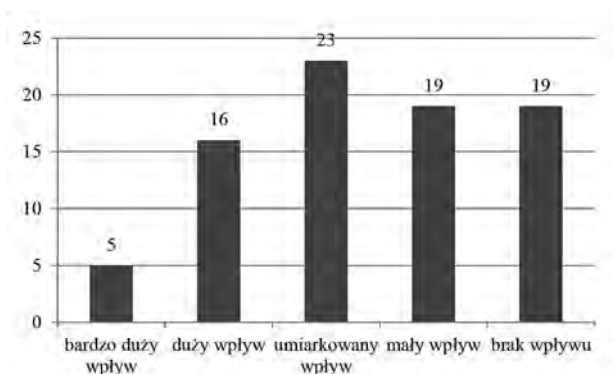
Wykres 4. Wpływ dodatkowego wsparcia finansowego

Źródło: Opracowanie własne na podstawie badań

Na Wykres 5 zostały przedstawione odpowiedzi respondentów odnośnie wpływu bezpośredniej współpracy Wydziału z pracodawcami. Jak wynika z odpowiedzi respondentów jedynie 21 osób określiło wpływ tego czynnika zewnętrznego jako pozytywny. Ponad 74% respondentów zazna-czyło umiarkowany, mały wpływ, bądź jego brak.

25. Czynniki wpływające na decyzję o kontynuacji studiów na II stopniu...

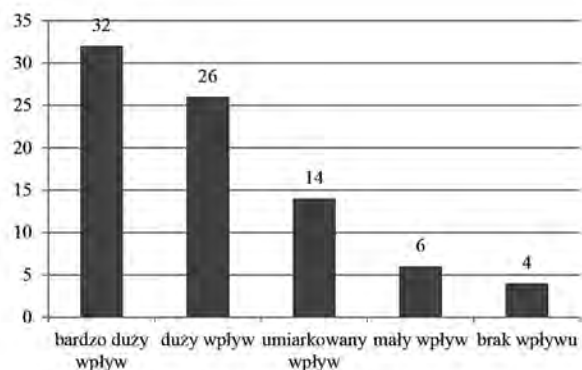
A. Dados, K. Ostapińska, Y. Tserakhovich



Wykres 5. Wpływ bezpośredniej współpracy Wydziału z pracodawcami

Źródło: Opracowanie własne na podstawie badań

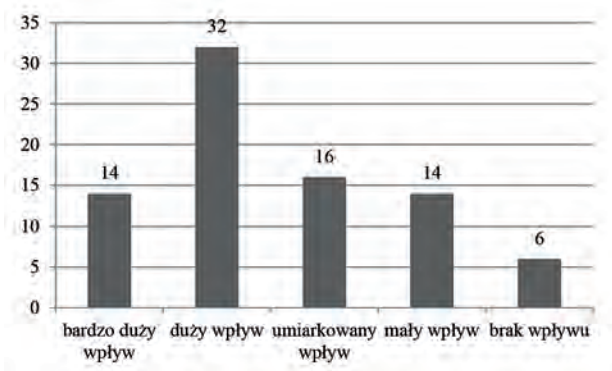
Czynnikami, które według respondentów mają dużo większy wpływ niż te, które autorki założyły w hipotezie, są lokalizacja oraz kultura akademicka. Blisko 70% studentów, biorących udział w badaniu, określiło wpływ lokalizacji na dużym, bądź bardzo dużym poziomie.



Wykres 6. Wpływ lokalizacji

Źródło: Opracowanie własne na podstawie badań

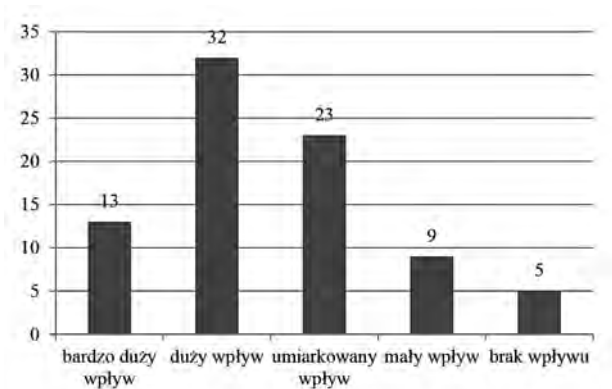
Kulturę akademicką, aż 46 respondentów określiło jako mającą duży lub bardzo duży wpływ na podjęcie decyzji o kontynuowaniu nauki na II stopniu na Wydziale Zarządzania Politechniki Lubelskiej.



Wykres 7. Wpływ kultury akademickiej

Źródło: Opracowanie własne na podstawie badań

W następnym etapie badania studenci mieli określić wpływ czynników zewnętrznych na podjęcie decyzji o kontynuowaniu studiów na II stopniu na Wydziale Zarządzania Politechniki Lubelskiej. W drugiej hipotezie autorki założyły, że największy wpływ dla studentów będzie miał rozwój umiejętności oraz chęć odnalezienia własnej ścieżki kariery. Jak wynika z Wykres 8 studenci określili możliwość rozwoju umiejętności jako czynnik o dużym wpływie.

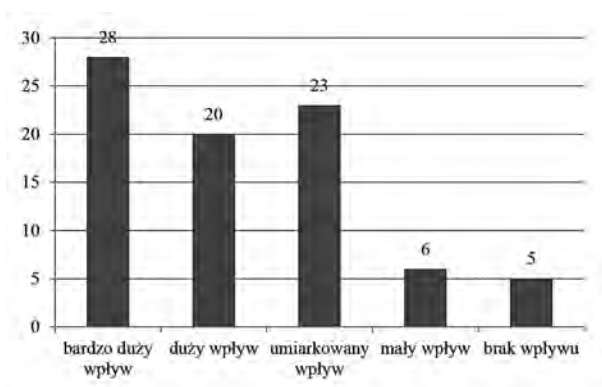


Wykres 8. Wpływ rozwoju umiejętności

Źródło: Opracowanie własne na podstawie badań

Jak wynika z Wykres 9 czynnik „chęć odnalezienia własnej ścieżki kariery” przez studentów Wydziału Zarządzania Politechniki Lubelskiej jest

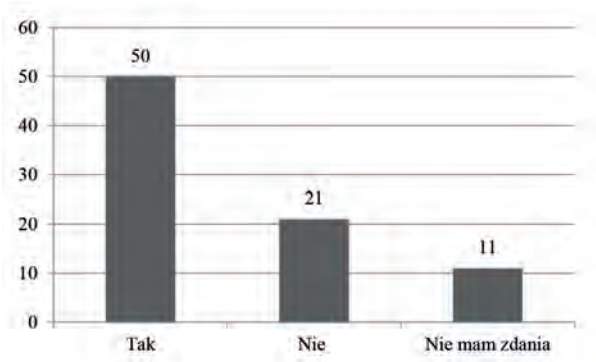
określany na poziomie bardzo dużego wpływu na decyzję o kontynuacji nauki na II stopniu.



Wykres 9. Wpływ chęci odnalezienia własnej ścieżki kariery

Źródło: Opracowanie własne na podstawie badań

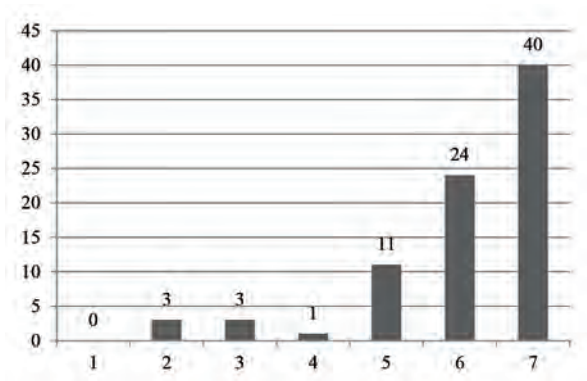
Kolejnym pytaniem do respondentów było: Czy osiągnięcia uzyskane podczas studiów I stopnia (np. wyniki w nauce, udział w projektach, aktywność pozaakademicka) wpływają/wpłynęły na Twoją decyzję o kontynuowaniu nauki? Jak wskazują wyniki, znaczna większość respondentów odpowiedziała na to pytanie twierdząco.



Wykres 10. Wpływ osiągnięć podczas studiów I stopnia

Źródło: Opracowanie własne na podstawie badań

Wykres 11 przedstawia wyniki ostatniego pytania, które odnosiło się do wpływu jaki może mieć presja wywierana przez rodziców w kontekście podjęcia decyzji o kontynuacji nauki na studiach magisterskich. Większość ankietowanych oceniła wpływ tego czynnika jako niewielki (na poziomie 6 lub 7 w skali). Oznacza to, że studenci sami podejmują decyzję i nie zawsze opinia rodziców jest decydująca przy wyborach życiowych ich dzieci.



Wykres 11. Wpływ presji rodziców

Źródło: Opracowanie własne na podstawie badań

4. Podsumowanie

Badanie przeprowadzone na Wydziale Zarządzania Politechniki Lubelskiej umożliwiło identyfikację kluczowych czynników motywacyjnych, które determinują decyzję studentów o kontynuacji nauki na studiach magisterskich.

Wśród czynników wewnętrznych, najczęściej wskazywanych przez studentów Wydziału Zarządzania Politechniki Lubelskiej można wyróżnić ambicję zdobycia wyższego wykształcenia, przekonanie o lepszych perspektywach kariery zawodowej po ukończeniu studiów oraz chęć rozwoju osobistego. Dążenie do pozyskiwania nowej wiedzy i umiejętności często motywuje studentów, którzy postrzegają studia wyższe jako sposób na zwiększenie swoich szans na rynku pracy oraz osiągnięcie wymarzonej pozycji zawodowej.

Jako równie istotne czynniki zewnętrzne, studenci wskazali takie jak, opinie o uczelni, które studenci mogą oceniać na podstawie forów internetowych, rankingów, recenzji i innych dostępnych źródeł. Ważnym aspektem są również koszty związane ze studiowaniem oraz możliwość pogodzenia nauki z pracą zawodową.

Badania wskazują na konieczność tworzenia przez instytucje edukacyjne programów opartych na potrzebach studentów. Uczelnie muszą rozumieć zarówno wewnętrzne determinanty, jak i zewnętrzne uwarunkowania środowiskowe, które wpływają na te potrzeby. Dzięki temu Uczelnie wyższe mogą skutecznie odpowiadać na oczekiwania i aspiracje studentów, co z kolei decyduje o ich zdolności do przyciągania i zatrzymywania studentów.

Bibliografia

- [1] <https://education.ec.europa.eu/pl/education-levels/higher-education/inclusive-and-connected-higher-education/bologna-process>, [data dostępu: 4.06.2024].
- [2] <https://www.gov.pl/web/nauka/szkolnictwo-wyzsze>, [dostęp: 4.06.2024].
- [3] <https://www.uczelnie.pl/wojewodztwo/lubelskie/#uczelnie>, [dostęp: 4.06.2024].
- [4] *Przejście na studia drugiego stopnia – dynamika zmian decyzji osób z dyplomem licencjata*, https://ela.nauka.gov.pl/pl/labor-market/przejscie_na_studia_drugiego_stopnia_dynamika_zmian_decyzji_osob_z_dyplomem_licencjata [data dostępu: 4.06.2024].
- [5] Suchorab, A. (2014). *Czynniki determinujące wybory edukacyjno-zawodowe studentów*, „Szkoła – Zawód – Praca”, 2014 (7/8).
- [6] Wroczyńska, A., *Oczekiwania współczesnych studentów wobec uczelni wyższych – prezentacja wyników prowadzonych badań*. Studia Biura Analiz Sejmowych kancelarii sejmu, 3(35) 2013.
- [7] Apanowicz J., *Metodologia ogólna*, Wyższa Szkoła Administracji i Biznesu, Gdynia 2002.
- [8] Kaczmarczyk S., *Badania marketingowe. Metody i techniki*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2003.

Klaudia Lalak

Politechnika Lubelska | Koło Naukowe Menedżerów

dr inż. Jakub Bis

Politechnika Lubelska | Katedra Ekonomii, Innowacji i Kapitału Społecznego

WYKORZYSTANIE SZTUCZNEJ INTELIGENCJI W ZARZĄDZANIU PROJEKTAMI IT – PERSPEKTYWY, OCZEKIWANIA I REALIA

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN IT PROJECT MANAGEMENT – PERSPECTIVES, EXPECTATIONS, AND REALITY

S U M M A R Y

This article explores the role of artificial intelligence (AI) in IT project management, analyzing both its transformative potential and current limitations based on theoretical insights and empirical research. As technology advances, AI is increasingly used by IT managers to support time-consuming and repetitive tasks such as note-taking, translations, programming, and documentation. While managers acknowledge the benefits of AI in improving efficiency, decision-making, and adaptability, they remain cautious about assigning AI responsibility for strategic areas like planning, team monitoring, or document management. The study conducted among 127 IT managers confirmed that AI is widely used in professional practice, particularly for routine operations, although programming was not identified as the most common application. Respondents expressed concerns about AI dehumanizing their roles and potentially threatening job security. The article also discusses the evolving definitions and types of AI (narrow, general, and superintelligent), the structure of IT projects, and the duality of heuristic versus methodical approaches in project management. Ultimately, the findings highlight both the opportunities and reservations surrounding the growing integration of AI in IT project environments, emphasizing the need for strategic, balanced implementation.

Keywords

artificial intelligence, IT project management, decision-making,
automation, digital transformation

Wstęp

Wraz z ciągłym postępem technologicznym coraz bardziej skomplikowane procesy informatyczne stają się pewną codziennością w świecie zarządzania oraz biznesu. Zarządzanie projektami IT wymaga doskonałych umiejętności ludzkich, ale również zastosowania zaawansowanych technologii, takich jak sztuczna inteligencja. Wśród narzędzi technologicznych kluczowa jest sztuczna inteligencja, która usprawnia procesy decyzyjne a także zapewnia optymalizację wydajności zarządzania projektami IT. Sztuczna inteligencja oraz nieustannie rozwijające się technologie znajdują się już w leksykonie świata biznesu, nauki oraz technologii.⁴ W świecie nieustannych zmian technologii informacyjnych (IT) rozwój ma priorytetowe znaczenie dla powodzenia przedsiębiorstw we wszystkich sektorach. Rozwój przedsiębiorstw możliwy jest głównie dzięki terminowości oraz jakości wdrażanych pomysłów.

W obecnych czasach technologicznych rozwiązań, sukces projektów IT w dużej mierze nie zależy już tylko od ludzi, ale również od zastosowania w organizacjach sztucznej inteligencji (SI). SI można określić, że staje się kluczowym partnerem bądź współpartnerem dla menedżerów projektów IT, które oferuje wsparcie przy podejmowaniu ważnych i mniej ważnych decyzji dla organizacji w zarządzaniu projektami. SI odpowiada także za analizę danych i ciągłe doskonaleniu procesów, aby wykonywane projekty były jak najbardziej precyzyjne. SI nie tylko ułatwia, a wręcz rewolucjonizuje zarządzanie projektami przez zautomatyzowanie rutynowych zadań. Sztuczna inteligencja coraz bardziej staje się w organizacji nieodłącznym

4 Balahurovska, I. (2022). Wykorzystanie technologii w różnych formach zarządzania. Etyka biznes i zrównoważony rozwój, Interdyscyplinarne Studia Teoretyczno-Empiryczne, (4), s. 46.

elementem współczesnego zarządzania projektami IT, przyczynia się to do licznych korzyści dla organizacji. Poprzez wykorzystanie innowacyjnych algorytmów i technik uczenia maszynowego, organizacje mogą osiągać dużo lepsze wyniki projektowe, a także zwiększyć swoją konkurencyjność na rynku. W związku z tym, inwestowanie w rozwój i wdrażanie systemów SI staje się krokiem w stronę przyszłości oraz kluczowym elementem strategii sukcesu organizacji w erze cyfrowej.

Na przestrzeni lat definicja sztucznej inteligencji znacznie się poszerza. Jedną z pierwszych definicji sztucznej inteligencji powstała w 1956r. twierdzono wtedy, że są to maszyny wykonane w taki sposób, aby wynik ich działania odzwierciedlał wynik działania ludzkiego umysłu.⁵ W latach 50-tych to praca ludzka była kluczowa i pełniła podstawę, a maszyny były wykonane w bardzo prosty sposób. W roku 1978 r. pojawiła się teoria, że AI to proces automatyzacji czynności związanych z podejmowaniem decyzji oraz uczeniem się, które odwzorowują inteligencję każdego człowieka.⁶ Na przestrzeni lat 70-tych i 80-tych zaczęło pojawiać się coraz więcej zautomatyzowanych technik np. komputerowa. W 1990 r. uznawano sztuczną inteligencję za dziedzinę badań, która ma na celu wdrażanie oraz wyjaśnianie zachowań wykorzystujących inteligentne procesy poświęcone obliczeniom.⁷ Natomiast w 1993 r. opracowano definicję sztucznej inteligencji, która ma zastosowanie w dużej mierze w obecnych czasach. Mianowicie sztuczna inteligencja to systemy, których główną funkcją jest myślenie i zachowywanie się w sposób racjonalny.⁸ Można zauważyć, że w tym przypadku sztuczna inteligencja jest porównywalna do ludzi. W 2003 r. uznano, że AI to dział informatyki umożliwiający badanie reguł przewodzących inteligentnymi postawami oraz zachowaniami każdego człowieka, a więc tworzenie programów komputerowych niezbędnych do stymulowania tych zachowań.⁹

5 Janik J., Drobiną I., & Drobiną R., Rola sztucznej inteligencji w optymalizacji procesów zarządzania projektami, s. 122.

6 Ibidem.

7 Ibidem.

8 Ibidem.

9 Ibidem, s. 123.

Sztuczna inteligencja jako dyscyplina ma za zadanie dążyć do skonstruowania maszyny inteligentnej, mającej wpływ na rzeczywistość i podejmowane przez każdego człowieka decyzje. Takiej, która dzięki przetwarzaniu i aktualizowaniu danych jest w stanie organizować życie każdego człowieka oraz procesy decyzyjne w przedsiębiorstwach.¹⁰ Zatem można określić, że sztuczną inteligencją odznaczają się maszyny, które wykazują się inteligencją. Dziedzina nauki zajmująca się rozwiązywaniem zagadnień w oparciu o modelowanie wiedzy. Nauka mająca za zadanie nauczyć maszyny zachowań podobnych do ludzi, a także nauka o komputerowych modelach wiedzy umożliwiających rozumienie i działanie.

Można wyróżnić kilka rodzajów sztucznej inteligencji, mianowicie¹¹:

- wąska sztuczna inteligencja (NAI) – SI tego typu jest wykorzystywana do pojedynczych zadań np. prowadzenie samochodu, wypełnianie dokumentów bankowych, rozpoznawanie twarzy. Stanowi większość otaczającej nas sztucznej inteligencji. Jest niezmiernie ważna w obecnych czasach, gdyż ułatwia funkcjonowanie, poprzez wykonywanie czynności za człowieka. Inteligencja tego typu głównie symuluje ludzkie zachowania. Przykłady wykorzystujące ten rodzaj AI: asystenci głosowi, chatboty, samojeżdżące samochody,
- ogólna sztuczna inteligencja (AGI) – są to maszyny, które posiadają takie umiejętności dorównujące człowiekowi. Potrafią uczyć się, myśleć, podejmować decyzje, a dzięki temu mają zdolność do rozwiązywania zaistniałych problemów. Ten typ sztucznej inteligencji nie jest jeszcze stworzony, gdyż należałoby zaprojektować maszynę świadomą, która ma zdolności poznawcze,
- nadludzka sztuczna inteligencja (ASI) – inaczej też superinteligencja, nie tylko posiada umiejętności takie jak człowiek, ale również przekracza ludzkie możliwości. Na obecną chwilę jest to tylko wyobrażenie. Koncepcją superinteligencji jest nie tylko rozumienie uczuć i emocji, ale także wywoływanie własnych emocji, pragnień i potrzeb.

10 Blechar, Ł. Od sztucznej inteligencji do zaawansowanej analityki i wzmacniania inteligencji, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Lublin, 2023, s. 50.

11 <https://artificiallaw.pl/pl/rodzaje-sztucznej-inteligencji/> [dostęp: 09.05.2024].

Projekt w szerokiej mierze charakteryzuje się unikatowością i oryginalnością, gdyż każdy projekt jest inny, różni się tematyką, zagadnieniem czy sposobem wykonania. Można powiedzieć, że projekt to działalność tymczasowa wykonywana w pewnym okresie czasu, mająca na celu produkcję unikatowego wyrobu, doręczenie unikatowej usługi bądź uzyskanie unikatowego rozwiązania.¹² W dzisiejszych czasach sukces projektu zależy od umiejętności samodoskonalenia tzn. sposobu zorganizowania i wprowadzania zmian zazwyczaj sporządzanych pod presją czasu oraz niezbędnych zasobów finansowych.¹³ Podczas pracy z projektem ważne jest stworzenie zintegrowanego zespołu, gdyż jest to kluczowy element niezbędny do powodzenia przedsięwzięcia. Sprawne zarządzanie projektem wiąże się z określeniem celów m.in. zorganizowanie budżetu, określenie czasu, w którym będzie wykonywany projekt i zgrany zespół, będący priorytetem do osiągnięcia postępów.

Zarządzanie projektami może przyjmować dwie formy, mianowicie można wyróżnić¹⁴:

- podejście heurystyczne – związane jest z utrzymaniem zdrowego rozsądku, decyzje podejmowane są przy pojawiających się okolicznościach, zdobywanym doświadczeniem lub też pod wpływem intuicji. Często w tym podejściu wiedza związana z realizacją projektu jest uzyskiwana poprzez metodę prób i błędów.
- podejście metodyczne – zarządzanie projektem oparte jest na metodycznym, a także uporządkowanym sposobie postępowania, który wiąże się również ze sformalizowaniem projektu oraz danymi konsekwencjami wynikającymi z działania. Taka forma zarządzania projektami wiąże się z stopniowym zdobywaniem doświadczenia oraz minimalnym wpływem intuicji.

Podczas wykorzystywania sztucznej inteligencji w zarządzaniu projektami dochodzi do minimalizacji wad wynikających z korzystania z wyżej wymienionych form, gdyż to sztuczna inteligencja odpowiada

12 Kos, A. (2019). Przegląd wybranych metodyk zarządzania projektami. *Zeszyty Naukowe Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej im. Witelona w Legnicy*, 3(32), s. 25.

13 Ibidem, s. 26.

14 Ibidem.

za podejmowanie decyzji. W zespole może to doprowadzić do skrócenia czasu wykonywania danego projektu IT oraz do pojawienia się większej ilości możliwych do podjęcia decyzji. Jednakże zbyt częste podejmowanie decyzji za pomocą sztucznej inteligencji może doprowadzić do tego, że członkowie zespołu odzwyczajają się od samodzielnego podejmowania decyzji oraz będą liczyć tylko na sztuczną inteligencję, zamiast w szerszej mierze na swoje rozwiązania i pomysły.

Zarządzanie projektami wymaga ustalenia wymagań pracy, określenia zakresu pracy, planowania wykonywania pracy, monitorowania rezultatów pracy, a także w razie niepowodzeń korygowania zaistniałych odchyień.¹⁵ Firma może osiągnąć sukces w realizacji projektów IT, który można rozumieć jako sukces samego projektu oraz sukces zarządzania projektem. Sukces projektu związany jest z celami projektu, które są niezbędne do osiągnięcia sukcesu, ponieważ jeśli firma nie dąży do realizacji swoich celów to nie osiągnie sukcesu na rynku. Sukces projektu to projekt, który spełnia techniczną specyfikację wykonania oraz niezbędny jest wysoki poziom zadowolenia z wyniku projektu. Z kolei sukces zarządzania projektem skupia się na obiektywnych miarach wydajności m.in. czas, jakość oraz koszty.¹⁶

Stały wzrostu popularności projektów informatycznych spowodował powstanie wielu narzędzi oraz metod, które służą do planowania oraz wdrażania nowoczesnych rozwiązań przy zarządzaniu projektami IT¹⁷. Celem projektu informatycznego jest utworzenie lub modyfikacja danego systemu informatycznego, którego głównym zadaniem jest połączenie zasobów ludzkich, sprzętu, odpowiedniego oprogramowania oraz elementów informacyjnych i organizacyjnych, żeby przetwarzane informacje przy wykorzystywaniu technik komputerowych były utożsamiane oraz zgodne z techniczną dokumentacją danego projektu IT. Projekty informatyczne w szerokiej mierze dotyczą wdrożenia nowego oprogramowania lub już istniejącego oprogramowania, odpowiedniej struktury IT¹⁸. Głównym zało-

15 Zaleski, S., & Michalski, R. (2020). Czynniki sukcesu zarządzania projektami usług IT. *Przegląd Organizacji*, (8), s. 29.

16 Ibidem.

17 Albiniak, R., & Miłosz, E. (2019). Wdrożenie narzędzi wspomagających zarządzanie projektami w firmach IT. *Journal of Computer Sciences Institute*, 10, s. 77.

18 Ibidem, s. 78.

żeniem oprogramowania jest praca wykonywana w stałych okresach czasowych, zazwyczaj jest to okres kilku tygodni. Natomiast jeśli firma ma do czynienia z szerszym projektem to czas ten może trwać dłużej. Struktura organizacyjna projektu wygląda następująco¹⁹:

- product owner – to osoba, dla której tworzony jest dany projekt, a więc można nazwać go właścicielem projektu, czyli potencjalnym klientem,
- scrum master- to kierownik projektu, czyli osoba odpowiedzialna za zarządzanie realizacją projektu. Przy wykorzystaniu sztucznej inteligencji scrum master musi być zaznajomiony z procesem funkcjonowania AI oraz jak najlepiej korzystać z AI, aby dopilnować powodzenie projektu do końca,
- Team – to zespół, który odpowiada za dostarczenie następujących wersji danego produktu oraz zadbanie o zrealizowanie projektu do końca. Zespół powinien odznaczać się umiejętnościami komunikacyjnymi, aby w odpowiedni sposób pracować ze wszystkimi współpracownikami, ale także niezbędne są umiejętności techniczne związane z prawidłowym wykorzystywaniem sztucznej inteligencji.

Sztuczna inteligencja odgrywa coraz większą rolę podczas podejmowania decyzji związanych z zarządzaniem projektami IT. Wprowadzenie technik bazujących na wykorzystaniu sztucznej inteligencji może niezwykle zwiększyć efektywność funkcjonowania każdego przedsiębiorstwa. Dotyczy to zwiększenia produktywności podczas wykonywania projektu, a także uzyskaniem wysokiego poziomu satysfakcji klientów czy interesariuszy.²⁰ Sztuczna inteligencja dostarcza menedżerom projektów IT niezbędnych i unikatowych informacji oraz wskazówek, które ułatwiają podejmowanie kluczowych decyzji. Poniżej zostały wymienione korzyści, dotyczące wykorzystania sztucznej inteligencji podczas zarządzania projektami²¹:

19 Ibidem.

20 Janik J., Drobiną I., & Drobiną R., Rola sztucznej inteligencji w optymalizacji procesów zarządzania projektami, s. 128.

21 Ibidem.

- szybsze reagowanie na zmiany w otoczeniu oraz zwiększenie elastyczności – za pomocą sztucznej inteligencji możliwe jest przewidzenie szans oraz zagrożeń, wynikających z ryzyka, jakie jest ponoszone podczas podejmowania decyzji. Wystarczy wcześniej przedstawić dane o projekcie i można dostosować swój projekt do zmieniających się warunków otoczenia,
- rozpoznawanie trendów rynkowych – AI jest zdolne do analizowania niezliczonej ilości danych z rynku, a także dostarczyć te dane na temat trendów rynkowych oraz preferencjach klientów, do których chce trafić dana firma lub jednostka organizacyjna. Dzięki temu organizacja może przystosować swoją długoterminową strategię do preferowanych potrzeb klientów oraz osiągnąć sukces przy tworzeniu projektów IT,
- poprawa stanu jakości dokumentacji projektowej – istniejące narzędzia skupiające się na wykorzystaniu AI weryfikują, modyfikują oraz korygują treści dokumentacji projektowej, dzięki czemu pozwalają uniknąć zbędnych błędów i niepowodzeń. Takie działanie sztucznej inteligencji pozwala na ograniczenie pojawiających się wad w kolejnych etapach realizacji projektu IT,
- wsparcie przy podejmowaniu decyzji – algorytmy sztucznej inteligencji mają za zadanie pomóc przy wyborze jak najlepszej decyzji związanej z powodzeniem w zarządzaniu projektami IT. Wsparcie może następować przy każdym etapie pracy projektowej. Branża IT analizuje dane z różnych źródeł i na ich podstawie skupia się na podjęciu kluczowych działań niezbędnych do powodzenia całości projektu,
- efektywne dostosowanie do preferowanych potrzeb klientów – sztuczna inteligencja gwarantuje pomoc związaną z personalizacją danych rozwiązań projektowych, przy uwzględnieniu indywidualnych potrzeb klientów. Firma po określeniu wymagań klientów odnotuje większe zadowolenie ze strony klientów, co przełoży się na satysfakcję klientów oraz zwiększenie rekomendacji odnośnie przedsiębiorstwa oraz tworzonych projektów IT,
- skuteczna analiza informacji oraz wyciągnięcie wniosków z wcześniejszych realizacji – sztuczna inteligencja może także analizować dane z wcześniej wykonywanych projektów, a co za tym idzie

modyfikować je bądź uaktualniać. Na podstawie tych danych AI wyciąga wnioski dotyczące dalszej części realizacji podejmowanego projektu IT. Dzięki temu działaniu możliwe jest nieustanne doskonalenie procesu związanego z zarządzaniem projektami IT, a także minimalizowanie błędów i stałe tworzenie korekt.

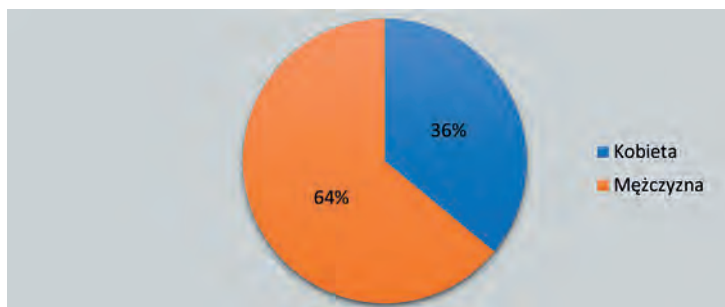
Postanowiono bliżej przyjrzeć się w jakim stopniu sztuczna inteligencja jest wykorzystywana w zarządzaniu projektami IT. Zostały wykonane badania, których celem była analiza stopnia wykorzystania sztucznej inteligencji (AI) w zarządzaniu projektami IT przez menedżerów oraz określenie perspektyw rozwoju AI.

Dodatkowo przed przystąpieniem do badań zostały sformułowane następujące hipotezy:

1. Menedżerowie IT powszechnie korzystają ze sztucznej inteligencji w pracy zawodowej.
2. Menedżerowie IT najczęściej wykorzystują sztuczną inteligencję do programowania.
3. Menedżerowie IT bardziej skłonni są wykorzystywać sztuczną inteligencję do czasochłonnych zadań.

Na menedżerach IT przeprowadzono badanie ilościowe, przy wykorzystaniu techniki ankietowania. Z kolei narzędziem badawczym był kwestionariusz ankiety, który składał się z 12 pytań zamkniętych. Został on wysłany do menedżerów IT 8 maja. Zadaniem była odpowiedź na poszczególne pytania. Ankieta była anonimowa, co pozwoliło na swobodne udzielanie odpowiedzi. W badaniu ilościowym wzięło udział 127 menedżerów IT. Pierwsze 6 pytań to pytania metryczkowe dotyczące: płci, wieku, miejsca zamieszkania, wykształcenia, wielkości organizacji, w której pracuje dany menedżer, a także roli zawodowej, jaką odgrywa w organizacji. Natomiast kolejne pytania były związane z wykorzystaniem sztucznej inteligencji w organizacji. Respondenci także mieli za zadanie wskazać na czym polega pozytywny oraz negatywny wpływ sztucznej inteligencji na pracę menedżera. Jedno z pytań kwestionariusza ankiety związane było z zadaniami jakie, menedżerowie przekazaliby sztucznej inteligencji, kolejne pytanie było analogiczne, tylko dotyczyło zadań, których badani by nie przekazali. Ostatnie pytanie powiązane było z perspektywą wykorzystania sztucznej inteligencji w pracy za 10 lat.

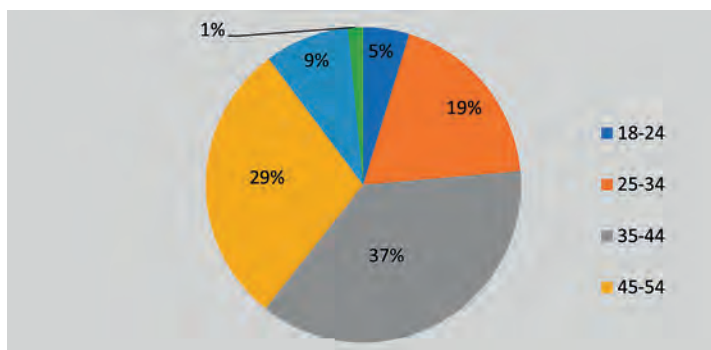
W badaniu wzięło udział 127 menedżerów. Po przeprowadzeniu badań zweryfikowano, że 64% badanych to mężczyźni tj. 80 menedżerów oraz 36% to kobiety, czyli 45 osób. W badaniu mężczyźni byli grupą dominującą.



Wykres 1. Płeć respondentów badania

Źródło: opracowanie własne.

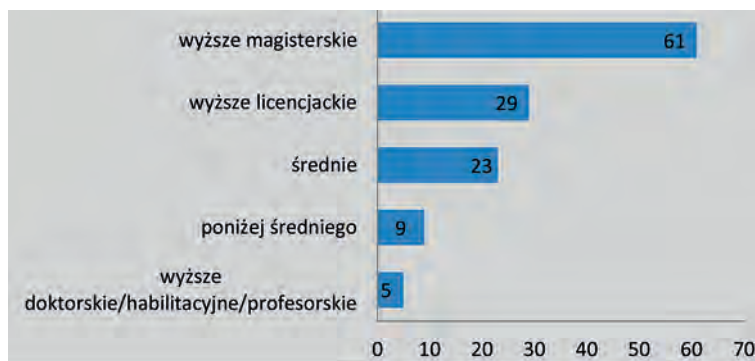
Z przeprowadzonych badań wynika, że największą grupą badanych były osoby w wieku od 35 do 44 lat (37% badanych) tj. 47 menedżerów, są to już doświadczeni członkowie organizacji, którzy posiadają doświadczenie zawodowe. Sporą część badanych stanowiła grupa wiekowa 45–54 lata – 37 osób, co stanowi 29% badanych oraz menedżerowie w wieku od 25 lat do 34 lat – 24 osoby, co stanowi 19% badanych. Menedżerowie w wieku od 55 lat do 64 lat stanowili 9% badanych, tj. 11 osób. Najmniej badanych to osoby w wieku od 18 do 24 lat (5% badanych tj. 6 osób) oraz osoby starsze 65 lat i więcej to zaledwie 1%.



Wykres 2. Struktura wiekowa badanych menedżerów

Źródło: opracowanie własne.

W badaniu wzięło udział najwięcej badanych z wykształceniem magisterskim tj. 61 osób, co stanowi 48% badanych. 29 badanych posiada wykształcenie wyższe licencjackie tj. 23% wszystkich respondentów oraz 23 badanych mają wykształcenie średnie tj. 18%. Najmniej badanych posiada wykształcenie wyższe doktorskie/habilitacyjne/profesorskie – 5 osób oraz wykształcenie poniżej średniego zaledwie 9 osób.



Wykres 3. Wykształcenie badanych menedżerów

Źródło: opracowanie własne

Najwięcej badanych menedżerów wskazało w kwestionariuszu ankiety, że w firmie jest specjalistą – 51 badanych, co stanowi 40%. Spora część badanych to także menedżerowie wyższego i średniego szczebla. Liczba badanych z tych dwóch grup była podobna. 30 badanych tj. 24% zadeklarowało się jako menedżer wyższego szczebla, a 31 badanych jako menedżer średniego szczebla, czyli 25% wszystkich badanych. Najmniej badanych to członkowie kadry zarządzającej tj. 14 osób, czyli 11%.



Wykres 4. Rola zawodowa badanych menedżerów

Źródło: opracowanie własne.

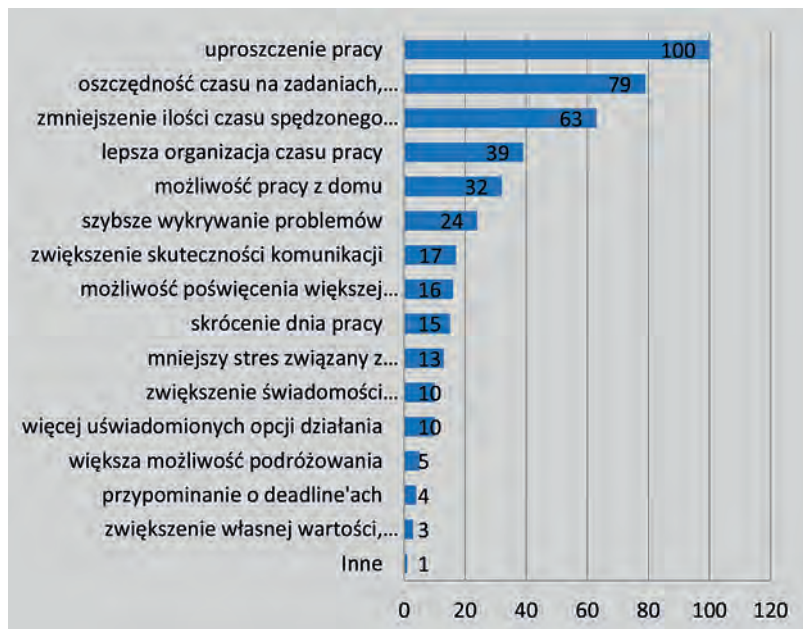


Wykres 5. Wykorzystanie AI przez menedżerów

Źródło: opracowanie własne.

Badani menedżerowie podczas wypełniania kwestionariusza ankiety wskazywali do czego najczęściej wykorzystują sztuczną inteligencję w swoich organizacjach. Według respondentów AI najczęściej przydaje się do czasochłonnych zadań takich jak: robienie notatek, tłumaczenia wielojęzyczne – ponad 70 badanych z 127 menedżerów. Dodatkowo menedżerowie wskazali, że chętnie wykorzystują AI do programowania (59 badanych) oraz do pisania maili (58 badanych). Spora grupa menedżerów uznała, że korzysta ze sztucznej inteligencji przy tworzeniu treści, prezentacji, obrazków tj. 51 menedżerów, a także do wypełniania formularzy tj. 50 badanych. Algorytmy sztucznej inteligencji mogą pomóc w tworzeniu kreatywnych pomysłów, co przyczynia się do urozmaicenia prac w organizacji. Zaledwie kilka menedżerów wskazało, że wykorzystuje AI do monitorowania działań konkurencji (2 badanych) oraz do monitorowania pracowników tj. 3 badanych. Kilka menedżerów uznało, że

korzysta ze sztucznej inteligencji podczas nagradzania i karania pracowników (3 badanych). Działania związane z monitorowaniem czy motywowaniem związanym z nagradzaniem i karaniem są istotne podczas prowadzenia organizacji, dlatego menedżerowie wolą samodzielnie wykonywać tego typu działania.



Wykres 6. Pozytywny wpływ AI na pracę menedżerów

Źródło: opracowanie własne.

Według menedżerów sztuczna inteligencja najbardziej ma pozytywny wpływ na uproszczenie pracy. Wskazało tak 100 menedżerów na 127 badanych. AI pomaga menedżerom przy pracy, co pozwala na oszczędność czasu na zadaniach, gdyż algorytmy AI są w stanie tworzyć szerokie gamy rozwiązań, ułatwiając oraz skracając przy tym pracę menedżerów. Według badanych sztuczna inteligencja ma pozytywny wpływ na pracę menedżerów, gdyż zmniejsza ilość czasu spędzonego przed komputerem – wskazało tak 63 respondentów. Zaledwie kilka badanych stwierdziło, że AI ma pozytywny wpływ na zwiększenie własnej wartości, samoświadomości tj. 3 osoby, zaś 4 badanych uznało, że sztuczna inteligencja ma pozytywny

wpływ na przypominanie o deadline'ach, a 5 badanych stwierdziło, że AI ma pozytywny wpływ na zwiększenie możliwości podróżowania. Większość badanych twierdzi, że AI nie wpływa pozytywnie na wyżej wspomniane czynności.

Najwięcej badanych twierdzi, że sztuczna inteligencja ma negatywny wpływ na utratę autentyczności tj. 88 menedżerów. Wynika to z faktu, że większość zadań za nas mogą wykonać algorytmy AI. Prowadzi to także do uprzedmiotowienia człowieka – uznało tak 68 badanych oraz do lęku przed utratą pracy – 65 badanych. Związane jest to z tym, że jeśli większość czasochłonnych zadań może wykonać za pracowników sztuczna inteligencja to w organizacji nie będzie potrzeba zatrudniać takiej liczby pracowników. Najmniej badanych uznało, że AI ma negatywny wpływ na wykluczenie cyfrowe tj. 5 badanych oraz na presję związaną z większą wydajnością AI, także 7 menedżerów stwierdziło, że AI przyczynia się do braku prywatności.



Wykres 7. Negatywny wpływ AI na pracę menedżerów

Źródło: opracowanie własne.

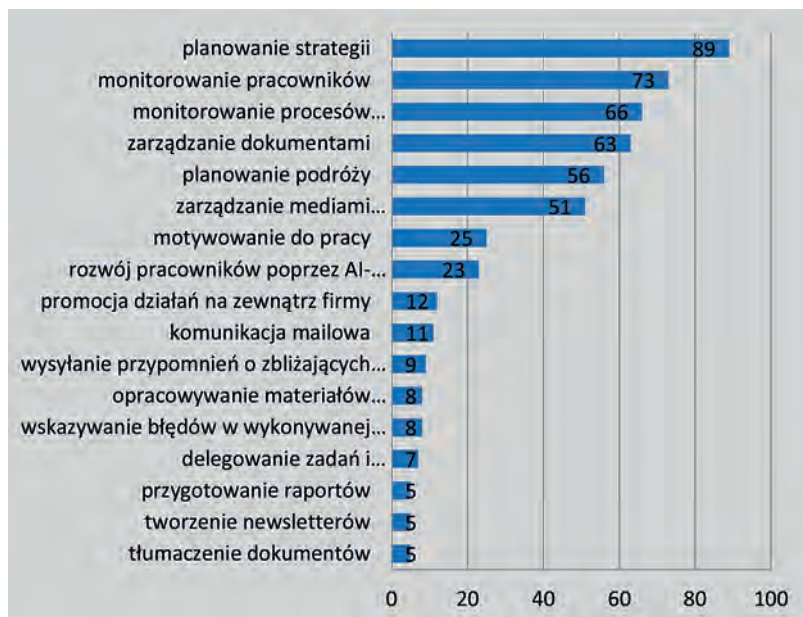
Największy odsetek badanych menedżerów wskazał, że z chęcią przekazaliby sztucznej inteligencji takie zadania jak: pisanie notatek i konsolidacja raportów (86 badanych), przygotowanie kreatywnych prezentacji (69 badanych), tworzenie zestawień danych (53 badanych), wysyłanie cyklicznych informacji do udziałowców (49 badanych). Wszystkie te zadania są pracochłonne dlatego menedżerowie preferują, aby tego typu czynności wykonywała sztuczna inteligencja. Natomiast najmniej menedżerów w przeprowadzonym badaniu wskazało, że przekazałoby AI zadania związane z zarządzaniem m.in. zarządzanie mediami społecznościowymi (2 badanych) oraz zarządzanie dokumentami (3 respondentów). Dodatkowo menedżerowie nie przekazaliby AI zadań dotyczących planowania takich jak: planowanie podróży tj. 4 badanych, a także planowanie strategii tj. 5 badanych. Określenie strategii to kluczowe zadanie dla każdej organizacji, dlatego menedżerowie wolą indywidualnie zajmować się kwestią związaną ze strategią, aby organizacja jak najlepiej prosperowała.



Wykres 8. Preferencje w zakresie zadań,
które respondenci chcieliby przekazać sztucznej inteligencji

Źródło: opracowanie własne.

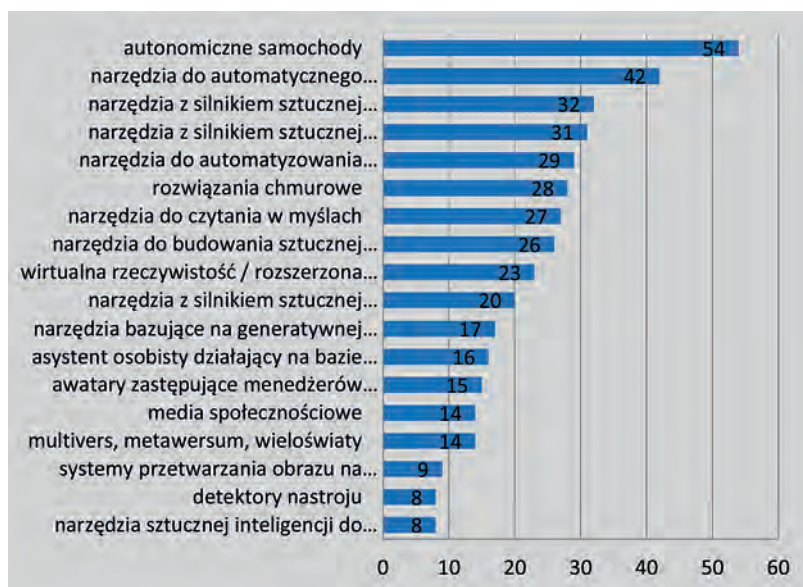
Według badań respondenci nie przekazaliby sztucznej inteligencji czynności związanych z planowaniem, głównie planowanie strategii tj. 89 badanych. Badani menedżerowie także uznali, że nie powierzyliby AI zadań dotyczących monitorowania takich jak: monitorowanie pracowników (73 badanych) oraz monitorowanie procesów organizacyjnych (66 badanych). Sporych część badanych wskazała, że nie przekazałaby sztucznej inteligencji zadań związanych z zarządzaniem takich jak: zarządzanie dokumentami tj. 63 badanych oraz zarządzanie mediami społecznościowymi tj. 51 badanych. Są to zadania priorytetowe w organizacji, dlatego menedżerowie wolą samodzielnie je wykonywać. Najmniej badanych wskazało, że nie przekazałoby sztucznej inteligencji zadań taki jak: tłumaczenie dokumentów, tworzenie newsletterów, przygotowanie raportów – po 5 badanych. Wynika to z tego, że są to zadania wymagające poświęcenia dużej ilości czasu, dlatego większość menedżerów woli delegować takie zadania sztucznej inteligencji.



Wykres 9. Zadania, których respondenci nie przekazaliby sztucznej inteligencji

Źródło: opracowanie własne.

Menedżerowie, którzy brali udział w badaniu mieli za zadanie wskazać, gdzie według nich sztuczna inteligencja będzie miała zastosowanie w perspektywie 10 lat. Respondenci uznali, że będą to głównie autonomiczne samochody (54 badanych) oraz narzędzia do automatycznego tłumaczenia z i na język obcy (42 badanych). Z kolei najmniej badanych wskazało, że sztuczna inteligencja będzie miała zastosowanie w perspektywie 10 lat jako narzędzia sztucznej inteligencji do motywowania i zarządzania oraz jako detektory nastroju – 8 badanych.



Wykres 10. Przewidywane przez menedżerów zastosowania sztucznej inteligencji w perspektywie 10 lat

Źródło: opracowanie własne.

Po przeprowadzeniu badania okazało się, że niektóre hipotezy się potwierdziły. Mianowicie z badań wynika, że menedżerowie IT powszechnie korzystają ze sztucznej inteligencji w pracy zawodowej. AI niezmiennie pomaga przy wykonywaniu pracy, dlatego menedżerowie coraz częściej są skłonni do jej wykorzystywania. Ponadto menedżerowie IT bardziej skłonni są wykorzystywać sztuczną inteligencję do czasochłonnych zadań, a więc z badań wynika, że zarówno pierwsza jak i trzecia hipoteza się potwierdziła.

Jedynie nie potwierdziła się druga hipoteza, mówiąca, że menedżerowie IT najczęściej wykorzystują sztuczną inteligencję do programowania.

Podsumowanie

Wyniki badań pokazują, że menedżerowie najczęściej wykorzystują sztuczną inteligencję do realizacji zadań czasochłonnych i rutynowych. Wśród najczęściej wskazywanych zastosowań znalazły się: tworzenie notatek, tłumaczenia na różne języki, programowanie, a także przygotowywanie raportów i dokumentacji. Jednocześnie zauważalna jest obawa, że rozwój sztucznej inteligencji może negatywnie wpłynąć na pozycję menedżerów na rynku pracy – część z nich wyraża lęk przed uprzedmiotowieniem ich roli lub wręcz utratą zatrudnienia. Co istotne, większość badanych menedżerów deklaruje brak gotowości do powierzania sztucznej inteligencji zadań kluczowych z punktu widzenia organizacji, takich jak planowanie strategii, monitorowanie pracy zespołów czy zarządzanie dokumentacją. Świadczy to o dużej ostrożności w delegowaniu odpowiedzialności AI w obszarach wymagających zaufania, doświadczenia i intuicji menedżerskiej.

Literatura

- [1.] Albiniak, R., & Miłosz, E. (2019). Wdrożenie narzędzi wspomagających zarządzanie projektami w firmach IT. *Journal of Computer Sciences Institute*, 10.
- [2.] Balahurovska, I. (2022). Wykorzystanie technologii w różnych formach zarządzania. *Etyka biznes i zrównoważony rozwój, Interdyscyplinarne Studia Teoretyczno-Empiryczne*, (4).
- [3.] Blechar, Ł. Od sztucznej inteligencji do zaawansowanej analityki i wzmocnienia inteligencji, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Lublin, 2023.
- [4.] <https://artificiallaw.pl/pl/rodzaje-sztucznej-inteligencji/> [dostęp: 09.05.2024]
- [5.] Janik J., Drobiną I., & Drobiną R., Rola sztucznej inteligencji w optymalizacji procesów zarządzania projektami.
- [6.] Kos, A. (2019). Przegląd wybranych metodyk zarządzania projektami. *Zeszyty Naukowe Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej im. Witelona w Legnicy*, 3(32), s. 25.
- [7.] Zaleski, S., & Michalski, R. (2020). Czynniki sukcesu zarządzania projektami usług IT. *Przegląd Organizacji*, (8).

TOWARZYSTWO NAUKOWE ORGANIZACJI I KIEROWNICTWA

STOWARZYSZENIE WYŻSZEJ UŻYTECZNOŚCI

DOM ORGANIZATORA

ul. Czerwona Droga 8
87-100 Toruń
tel. (56) 622 38 07, (56) 622 28 98

www.tnoik.torun.pl
e-mail: sekretariat@tnoik.torun.pl

www.wydawnictwo.tnoik.torun.pl/sklep/
e-mail: wydawnictwo@tnoik.torun.pl



DZIAŁ WYDAWNICTW

Wydajemy drukiem
poradniki, podręczniki akademickie i komentarze
z zakresu prawa, ekonomii, organizacji i zarządzania

DZIAŁ EDUKACJI

Organizujemy szkolenia, seminaria,
konferencje naukowe krajowe i międzynarodowe

Chcesz wiedzieć więcej?

zapraszamy
do naszej księgarni internetowej



www.wydawnictwo.tnoik.torun.pl/sklep/



POLITECHNIKA
LUBELSKA



ISBN 978-83-67153-84-3



9 788367 153843