

PIĄTA KONFERENCJA Kół Naukowych

w ramach

Politechnicznej Sieci VIA CARPATIA im. Prezydenta RP Lecha Kaczyńskiego

Wydano za zgodą Rektora

R e c e n z e n c i

dr inż. Jan SADOLEWSKI – Politechnika Rzeszowska
dr inż. Marcin BEDNAREK – Politechnika Rzeszowska

R e d a k t o r n a c z e l n y
Wydawnictw Politechniki Rzeszowskiej
dr hab. inż. Lesław GNIEWEK, prof. PRz

R e d a k t o r n a u k o w y
dr inż. Bartosz TRYBUS
Politechnika Rzeszowska
Wydział Elektrotechniki i Informatyki
Katedra Informatyki i Automatyki

P r o j e k t o k ł a d k i
Joanna MIKUŁA

W procesie wydawniczym pominięto etap opracowania redakcyjnego.
Druk z matryc dostarczonych przez redaktora naukowego.

Publikacja dofinansowana z projektu VIAD.RD.22.001 – Politechniczna Sieć VIA CARPATIA
im. Prezydenta RP Lecha Kaczyńskiego.

© Copyright by Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej
Rzeszów 2024

Wszelkie prawa autorskie i wydawnicze zastrzeżone. Każda forma powielania oraz przenoszenia na inne nośniki bez pisemnej zgody Wydawcy jest traktowana jako naruszenie praw autorskich, z konsekwencjami przewidzianymi w *Ustawie o prawie autorskim i prawach pokrewnych* (Dz.U. z 2018 r., poz. 1191 t.j.). Autor i Wydawca dołożyli wszelkich starań, aby rzetelnie podać źródło zamieszczonych ilustracji oraz dotrzeć do właścicieli i dysponentów praw autorskich. Osoby, których nie udało się ustalić, są proszone o kontakt z Wydawnictwem.

p-ISBN 978-83-7934-752-0
e-ISBN 978-83-7934-756-8

Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej
al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów
<https://oficyna.prz.edu.pl>

Ark. wyd. 12,29. Ark. druk. 10,25. Wydrukowano w grudniu 2024 r.
Drukarnia Oficyny Wydawniczej Politechniki Rzeszowskiej, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów
Zam. nr 49/24

Spis treści

Słowo wstępne.....	5
Elżbieta Orzechowska, Izabela Kozak, Agnieszka Mackiewicz	
Analiza procesu nauki malowania: Studium nad skutecznością, uniwersalnością podejścia i motywacją	6
Anita Demianiuk, Jan Czajkowski, Marcin Robert Czubaszek, Dorota Leończuk	
Jak analiza danych pozwala zapobiegać problemom w łańcuchu dostaw.....	15
Kiernozek Paweł E., Iwacik Roksana, Augustowska Julia, Daria Smarżewska	
Zaufanie do systemów opartych na sztucznej inteligencji w środowisku pracy pokolenia Z.....	21
Kacper Snarski, Dominika Nowińska, Paweł Kordziukiewicz, Mateusz Mikiewicz, Bartosz Kuryło, Piotr Prochor	
Regulowany wózek inwalidzki dla psów z niepełnosprawnością kończyn tylnych.....	27
Puchlik Monika, Micewicz Gabriel Michał, Żebrowski Igor, Taraszkiewicz Kacper, Prokop Jakub, Kasjanowicz Sylwia	
Ocena potencjału ekologicznego małych zbiorników wodnych w Nadleśnictwie Supraśl.....	35
Matvii Aksenko, Jan Kwapiński	
Od pudełka się zaczęło, czyli konstrukcje łazików marsjańskich Orion.....	44
Aleksandra Bilacz, Krzysztof Goluch, Marta Wachowska, Małgorzata Kozak	
Kolej na społeczność: Adaptacja pokolejowych obszarów do nowych funkcji publicznych – studium przypadków	58
Jacek Czarnigowski, Michał Borkowski, Idzi Pędzisz, Bartosz Łata	
Model zerowymiarowy jako podstawa optymalizacji wysokosprawnego pojazdu.....	67
Marcin Górski, Valerii Prykhodzenko, Jacek Domińczuk	
Zautomatyzowana linia montażu – stanowisko laboratoryjne	77
Aleksandra Typek, Dominika Lisiewska, Edyta Jańczuk, Wiktoria Gręda, Gabriela Majdańska, Łukasz Król, Karol Krupa	
Znaczenie i treść murali jako efekt partycypacji społecznej w przestrzeni Lublina	92
Magdalena Dul, Patrycja Leniart, Abigail Machaj, Faustyna Szczutko, Wiktoria Wojnarowska	
Modelowanie 3D w planowaniu zabiegów chirurgicznych	108
Beata Walicka-Góral, Jakub Skierski, Patrycja Matyś, Aleksandra Hasny, Waldemar Nalepka, Katarzyna Strenciwilk, Alicja Mosiewicz	

Idea woonerf w praktyce na przykładzie wybranych łódzkich realizacji	117
Zuzanna Brodowska, Kinga Matusz, Aleksandra Augustynowicz	
Transformacja energetyczna Unii Europejskiej w kontekście neutralności klimatycznej do 2050 roku.....	135
Tomasz Zdziebło, Jakub Cwynar	
Układ autopilota i kontrolera fly-by-wire małego samolotu bezzałogowego	143
Jakub Przystasz, Bartosz Trybus	
System operacyjny MicrOS – projekt i implementacja protokołów sieciowych	151

Słowo wstępne

Niniejsza monografia jest wynikiem pracy studenckich kół naukowych, działających przy trzech uczelniach technicznych: Politechnice Białostockiej, Politechnice Lubelskiej oraz Politechnice Rzeszowskiej. Poszczególne rozdziały zostały opracowane przez członków tych kół i często stanowią ich pierwsze doświadczenie w przygotowywaniu publikacji naukowych. Monografia nie tylko prezentuje konkretne osiągnięcia, ale także uwydatnia potencjał młodych, ambitnych badaczy, którzy aktywnie przyczyniają się do rozwoju różnorodnych dziedzin nauki.

Tematyka jest niezwykle różnorodna, co świadczy o interdyscyplinarności przedstawionych badań. W zakresie sztuki i edukacji autorzy analizują proces nauki malowania, podkreślając jego znaczenie w kształtowaniu umiejętności artystycznych. W kontekście partycypacji społecznej omówiono z kolei rolę murali w kreowaniu przestrzeni miejskiej. Zagadnienia urbanistyki i przestrzeni publicznej zostały poruszone w kontekście adaptacji terenów pokolejowych do nowych funkcji społecznych oraz wdrażania idei woonerf w projektowaniu.

W dziedzinie technologii informacyjnych i sztucznej inteligencji podjęto m.in. temat zaufania do systemów AI w miejscu pracy oraz projektu systemu operacyjnego MicrOS, zawierającego autorskie rozwiązania w implementacji protokołów sieciowych. W obszarze inżynierii opisano różnorodne innowacje, takie jak regulowany wózek inwalidzki dla psów, konstrukcje łazików marsjańskich, zautomatyzowaną linię montażową oraz systemy autopilota dla bezzałogowych samolotów. Mechanikę i optymalizację zilustrowano na przykładzie modelowania zerowymiarowego, stosowanego w projektowaniu pojazdów. Istotnym zagadnieniem jest zarządzanie logistyką – w tym obszarze przedstawiono zastosowanie analizy danych w przewidywaniu i zapobieganiu problemom w łańcuchu dostaw. Kwestie ekologiczne znalazły swoje odzwierciedlenie w badaniach nad małymi zbiornikami wodnymi oraz analizach dotyczących transformacji energetycznej Unii Europejskiej w kierunku neutralności klimatycznej do 2050 roku. Wreszcie, w dziedzinie medycyny i biotechnologii opisano zastosowanie modelowania 3D w precyzyjnym planowaniu zabiegów chirurgicznych.

Studenckie koła naukowe zaprezentowały swoje osiągnięcia podczas V Konferencji Studenckich Kół Naukowych, organizowanej w ramach Politechnicznej Sieci VIA CARPATIA im. Prezydenta RP Lecha Kaczyńskiego. Wydarzenie, które odbyło się na początku czerwca, było już drugą edycją konferencji organizowaną przez Politechnikę Rzeszowską. Stało się ono nie tylko okazją do wymiany doświadczeń i promocji działań, ale także do podkreślenia roli kół w edukacji, wolontariacie oraz popularyzacji nauki.

Aktywność studenckich kół naukowych ma istotne znaczenie dla budowania wizerunku uczelni, gromadząc studentów, którzy wykraczają poza obowiązkowe ramy programowe. Dla wielu z nich działalność w kole naukowym to nie tylko pasja i źródło satysfakcji, ale także szansa na rozwijanie umiejętności, poszerzanie wiedzy oraz przygotowanie do przyszłej kariery zawodowej i naukowej.

Bartosz Trybus
Redaktor naukowy

Analiza procesu nauki malowania: Studium nad skutecznością, uniwersalnością podejścia i motywacją

SUMMARY

The article examines whether anyone can be taught to paint. The participants, mostly without prior experience, started by learning how to mix colors and use different brushes. They then painted realistic and photorealistic images. The results showed that participants achieved a high level of realism and photorealism. Time and motivation were crucial. The study confirms that support and teaching methods can help anyone learn to paint, although individual differences require tailored approaches. The creative process of painting can contribute to personal and social development.

Key words – colour, painting, motivation, art, education, realism, photorealism

WSTĘP

W dzisiejszym społeczeństwie, gdzie umiejętności kreatywne i adaptacyjne stają się coraz bardziej wartościowe, pytanie o to, czy każdego można nauczyć malować? – nabiera szczególnego znaczenia. Czy talent plastyczny jest wrodzony, czy może być rozwijany przez odpowiednie metody kształcenia? Ta kwestia dotyka nie tylko obszaru sztuki, ale ma także zastosowanie w szerszym kontekście edukacji i rozwoju osobistego.

Badania nad naturą zdolności plastycznych i ich kształtowaniem przynoszą coraz bardziej złożone wnioski, sugerując, że potencjał artystyczny nie jest wyłącznie zarezerwowany dla nielicznych „wybranych”. W artykule przeanalizowano założenia tezy, że każdego można nauczyć malować. Przedstawiono główne argumenty oraz dowody wspierające tę tezę, a także zbadano implikacje tego przekonania dla praktyki edukacyjnej i społecznej.

Podążając śladami najnowszych odkryć w psychologii, neurobiologii i pedagogice, starano się rzucić nowe światło na procesy uczenia się sztuki malarskiej oraz rozważając, jakie strategie mogą być skuteczne w rozwijaniu umiejętności plastycznych u każdego, niezależnie od początkowych predyspozycji czy wieku. Celem było nie tylko wyjaśnienie, czy każdego można nauczyć malować, ale także ukazanie potencjału, jaki tkwi w procesie twórczym dla rozwoju jednostki i społeczeństwa jako całości [1].

Badania nad procesem uczenia się malowania stanowią istotny obszar z zakresu psychologii artystycznej oraz pedagogiki sztuki. Studium ma na celu zgłębienie skuteczności oraz uniwersalności podejścia w kształceniu malarskim przez analizę procesu twórczego 16 uczestników, którym postawiono zadanie utworzenia obrazu zgodnie ze ściśle określonymi parametrami. Prace uczestników poddano ocenie pod względem technicznym oraz aspektów takich, jak czystość wody używanej do płukania pędzli i precyzja manipulacji farbami.

¹ Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku, (Katedra Budownictwa Zrównoważonego i Instalacji Budowlanych), Koło Naukowe ARTstudio

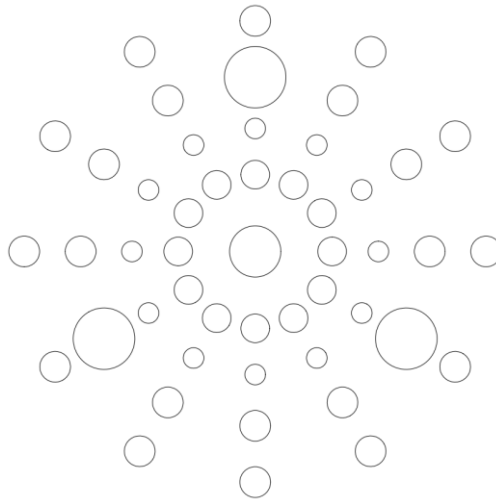
² Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku, Koło Naukowe ARTstudio

³ Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku, Koło Naukowe ARTstudio
www.viacarpatia.pro

Malowanie realistyczne i fotorealistyczne, które odwzorowuje rzeczywistość na płótnie w sposób maksymalnie zbliżony do fotografii, wymaga nie tylko zaawansowanych umiejętności technicznych, ale także stanowi jedno z największych wyzwań dla artystów. Proces ten wymaga silnej motywacji i zaangażowania. Celem tego badania jest przeprowadzenie analizy procesu twórczego oraz czynników motywacyjnych wpływających na skuteczność malowania realistycznego i fotorealistycznego. Podział pojęcia realizmu na realizm i fotorealizm wynika z poziomu zaawansowania i umiejętności potrzebnych do ich uzyskania. Obraz fotorealistyczny można zaliczyć jako dzieło na poziomie wysoko zaawansowanym, natomiast realizm kwalifikuje się do poziomu zaawansowanego. Dzieło realistyczne charakteryzuje się wiernym odzwierciedleniem proporcji i kolorów występujących w naturze, lecz w dalszym ciągu posiada charakterystyczne dla obrazu cechy. Fotorealizm natomiast jest najwyższym poziomem realizmu, którego uzyskanie wymaga od autora perfekcyjnego opanowania zagadnień z obszaru higieny pracy, posługiwania się pędzlem i farbami oraz zachowaniu zasad perspektywy i proporcji. Efekt końcowy obrazu kwalifikującego się do dzieła fotorealistycznego jest problematyczny do odróżnienia w porównaniu z fotografią.

METODOLOGIA BADAWCZA

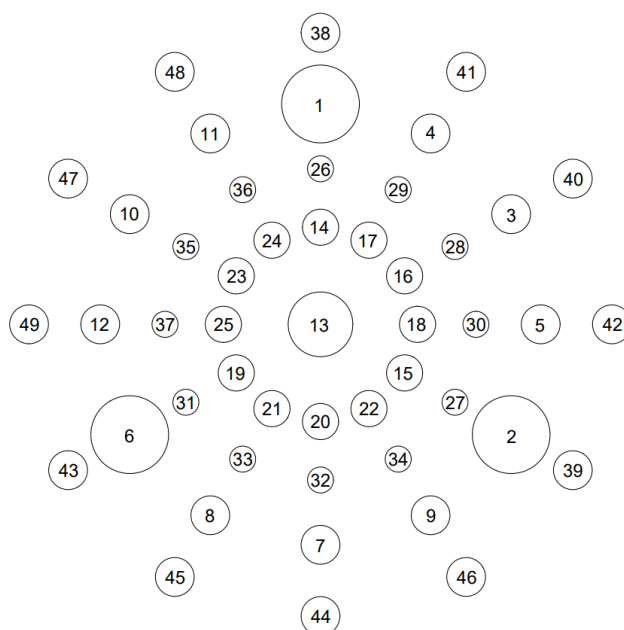
Grupa badanych składała się z piętnastu ochotników, którzy nie posiadali wcześniejszego doświadczenia w malowaniu oraz jednej osoby z przygotowaniem ponadpodstawowym. Naukę malarstwa rozpoczęto od wykonania palety kolorów na brystolu o wymiarach 50 × 70 cm. Polegało to na odrysowaniu 49 kół od specjalnie przygotowanego szablonu (rys. 1), który został narzucony ze względu na krótki czas realizacji lekcji mieszania barw [2].



Rys. 1. Szablon do nauki mieszania kolorów
Źródło: Opracowanie własne.

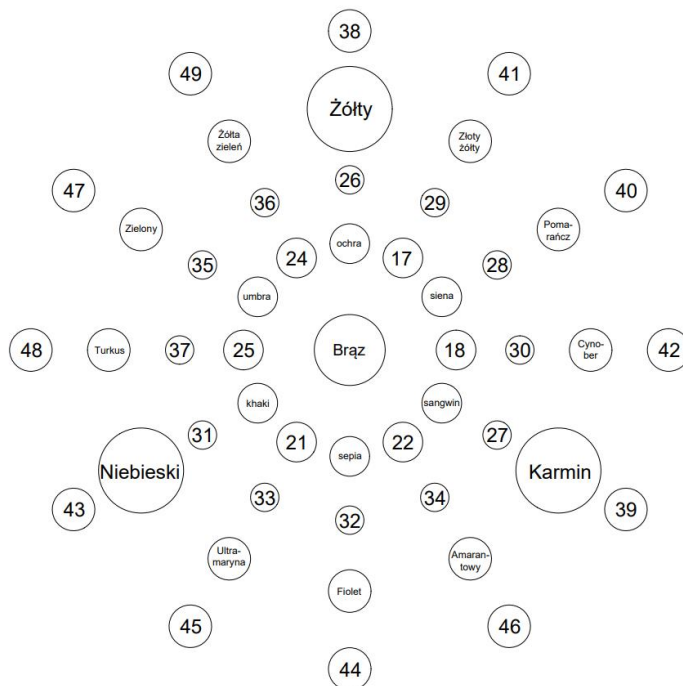
Sposób ten wykorzystuje ukrytą metodę kształcenia. Użycie jej jako narzędzia dydaktycznego jest sposobem na naukę w oparciu o podświadomość człowieka. Proces przygotowania szablonu, jak i łączenia kolorów wypracował u uczestników badania pamięć mięśniową, która polepszyła ich staranność w korzystaniu z farb i pędzli oraz trzymanie się w liniach szkicu. Inaczej ujmując, ukryta metoda kształcenia pomaga w osiągnięciu celów pobocznych, gdy osoba poddana tej metodzie ma na uwadze jedynie cel końcowy. Podczas przeprowadzania badania zauważono znaczącą poprawę w staranności i dokładności nakładania farb na płótno z naniesionym na nie szkicem. Zastosowanie tej metody skutkuje pozytywnymi efektami nauczania ze względu na brak czynników stresogennych

wynikających z posiadania innego dodatkowego celu, który należy osiągnąć. Tworzenie palety kolorów jest kluczowe w nauce malarstwa, ponieważ uczy płynnego operowania farbami. Dzięki tej metodzie uczestnicy mogą w każdej chwili uzyskać dowolny odcień, korzystając jedynie z trzech podstawowych kolorów oraz ciepłego i zimnego odcienia bieli. Wykonanie palety rozpoczyna się od nałożenia podstawowych kolorów [1, 3]. Następnie należy mieszać kolory zgodnie ze ściśle określoną regułą (rys. 2).



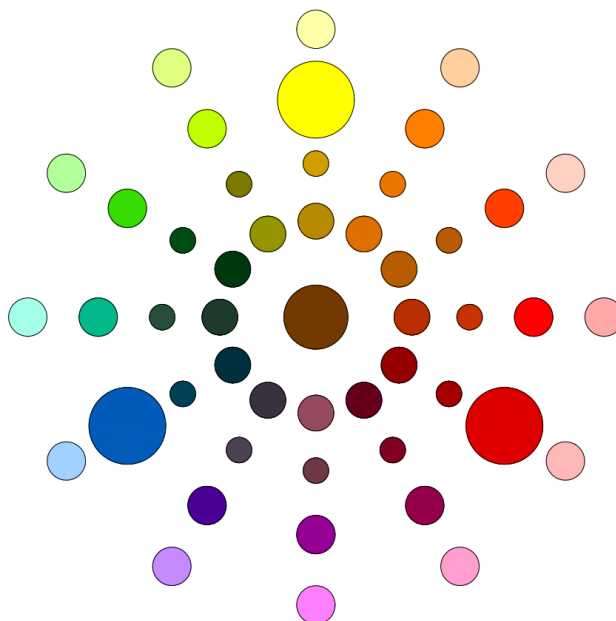
Rys. 2. Kolejność mieszania kolorów
Źródło: Opracowanie własne.

Łączenie kolorów ma ogromny wpływ na naukę nie tylko mieszania farb, ale również pełni ukryty program kształcenia oraz wypracowuje czystość pracy i precyzyjne operowanie pędzlem w obrysie kół rozety kolorów. Istotną zasadą jest uzyskanie wrażenia połowy odległości danego koloru do kolorów sąsiadujących, polega to na mieszaniu każdego koloru do momentu uzyskania połowy wzrokowego wrażenia między jednym podstawowym kolorem a drugim podstawowym kolorem. Mieszanie kolorów rozpoczyna się od połączenia ze sobą żółtego i czerwonego, tak aby powstał pomarańczowy, następnie tworzy się pochodne niższego rzędu. W pierwszej kolejności należy więc utworzyć złoty żółty a następnie cynober. Kolejnym etapem jest połączenie czerwonego i niebieskiego w celu utworzenia fioleto i analogicznie pochodnych niższego rzędu, którymi są ultramaryna i amarantowy. Dalszym krokiem mieszania podstawowych kolorów jest połączenie niebieskiego z żółtym, aby powstał zielony, a następnie uzyskanie żółtej zieleni i turkusowego (rys. 3).



Rys. 3. Nazwy kolorów
Źródło: Opracowanie własne.

W dalszej kolejności należy wymieszać ze sobą żółty, czerwony i niebieski w celu utworzenia brązowego, z którym następnie należy wymieszać wszystkie powstałe wcześniej kolory. Ostatnim etapem nauki mieszania kolorów jest połączenie wszystkich wytworzonych przez nas kolorów z bielą o zimnym odcieniu oraz z bielą o ciepłym odcieniu, co zwińcza wykonaną paletę, oraz pozwala zobrazować jak wiele kolorów i ich odcieni można utworzyć przy pomocy tylko trzech podstawowych barw i dwóch odcieni bieli (rys. 4) [5, 6].



Rys. 4. Skończony szablon ukazujący wszystkie uzyskane kolory
Źródło: Opracowanie własne.

Istotnym elementem nauki malarstwa jest umiejętność posługiwania się pędzlami o różnej budowie: płaskimi, okrągłymi, w kształcie kociego języka i ściętymi. Użycie takich pędzli pozwala uzyskać odmienne efekty wizualne, co jest szczególnie ważne przy tworzeniu obrazu. Wiedza, jaki pędzel zastosować, umożliwia wiernie oddanie rzeczywistości [3].

Wszystkie osoby biorące udział w badaniu nauczyły się mieszać kolory już po jednej lekcji, co potwierdziło, że do opanowania tej umiejętności wystarczył czas, chęci oraz nauczyciel, który wytłumaczył proces mieszania farb od podstaw. Ważnym efektem kształcenia uczestników badania było zaszczepienie w nich nawyku częstej zmiany wody używanej do płukania pędzli. Jest to kluczowa czynność, niezbędna do uzyskania czystych barw. Budowanie przyzwyczajenia do stosowania odpowiedniej higieny pracy było wymagane przez prowadzącego zajęcia, który kontrolował czystość stanowiska. Zaobserwowano pozytywny efekt dydaktyczny wynikający z higieny pracy, wpływający na poprawę jakości obrazów wykonywanych przez uczestników.

Po opanowaniu manipulacji farbami i narzędziami malarskimi rozpoczął się kolejny etap badania. Każdy uczestnik otrzymał płótno o wymiarach 50 × 70 cm i został poproszony o wybór tematu: martwej natury lub pejzażu. Wszyscy samodzielnie wybrali zdjęcie do odwzorowania. Paleta kolorów została ograniczona do trzech podstawowych barw: żółtego, czerwonego i niebieskiego oraz dwóch rodzajów bieli: zimnego i ciepłego. Dopuszczalne było również użycie ciemnego koloru granatowego dla osób, które musiały uzyskać efekt głębokiej czerni na swoich obrazach. Do nauki malarstwa użyto studyjnych farb akrylowych firmy Talens z linii Amsterdam, przeznaczonych dla osób średniozaawansowanych [2, 4]. Po zatwierdzeniu wybranych zdjęć przez prowadzącego, uczestnicy badania przystąpili do kopiowania obrazu ze zdjęcia formatu A3 na podobrazie o formacie B2, wykorzystując metodę kratek. Metoda ta polega na narysowaniu kratek zarówno na zdjęciu, jak i na podobrazu, uwzględniając proporcje określonych formatów, a następnie przenoszeniu szkicu w odpowiednich proporcji [1]. Mając gotowy szkic, uczestnicy przystąpili do wykonania podkładu jako pierwszej warstwy obrazu. Podczas jego wykonywania najważniejsze jest szczelne zamalowanie całego podobrazia, dzięki temu tworzy się baza przygotowująca do dalszej pracy, a odpowiednio pokryte podobrazie wchłania mniej farby. Eliminuje to konieczność nakładania wielu warstw, aby uniknąć niepokrytych miejsc farbą na płótnie. Tworzenie podkładu to mieszanie i odpowiednie dobieranie kolorów, aby możliwie wiernie przypominały te na zdjęciu. Po jego ukończeniu przechodzi się do nakładania drugiej, właściwej warstwy, którą wykonuje się znacznie bardziej szczegółowo, ponownie dbając o dokładne pokrycie podobrazia tak, aby nie było widać warstwy płótna. Właściwa warstwa zajmuje najwięcej czasu ze względu na jej dokładność, koncentrując się na detalach, światła i cieni. Ostatnią warstwą jest nakładanie poprawek i podkreślanie szczegółów, co służy wykończeniu obrazu oraz wykonaniu ostatnich detali [1, 2]. Po ukończeniu, dzieła były zabezpieczane werniksem, który jest bezbarwnym lakierem w sprayu o błyszczącym lub satynowym wykończeniu. Werniks nadał im połysk i zapewnił ochronę [4, 5]. Każdy etap pracy został poddany ocenie pod kątem czystości pracy i narzędzi oraz precyzji wykonania.

Pozytywne efekty pracy wpłynęły motywująco na uczestników projektu, skutkując przystąpieniem dziewięciu z szesnastu osób (tj. 57%) do kolejnego, trudniejszego etapu nauki malarstwa, polegającego na tworzeniu wielkoformatowych kopii obrazów realistycznych słynnych polskich malarzy.

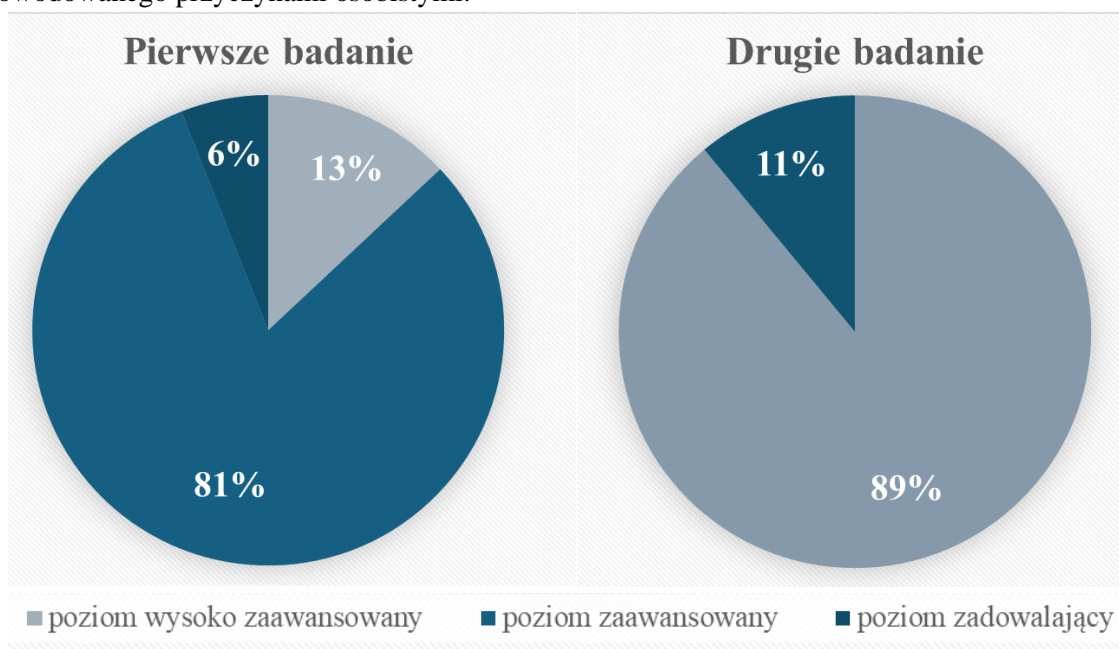
Każdy z osób samodzielnie wybrał dzieło do odwzorowania. Wybrane obrazy przez uczestników projektu to: J. Fałata „Krajobraz zimowy”, „Powrót z polowania na niedźwiedzia”, J. Matejki „Stańczyk”, J. Chełmońskiego „Babie lato”, „Czwórka”, „Bociany”, „Powitanie słońca. Żurawie”, A. Gierymskiego „Trumna chłopska” i L. Wyczółkowskiego „Orka na Ukrainie”. Rozmiar płótna znacząco

www.viacarpatia.pro

różnił się wielkością od tego z poprzedniego projektu, wynosił on 97×177 cm. Sztuka wykonania obrazów była taka sama, jednak zadanie to okazało się znacznie bardziej skomplikowane, ponieważ kopiowanie dzieła innego twórcy wymaga precyzyjnego odwzorowania techniki pociągnięć pędzla oraz nałożenia barw zgodnie z oryginałem. Niezbędne było przeprowadzenie analizy użytych narzędzi oraz techniki malarskiej autora pierwowzoru.

WYNIKI

Analiza wyników ukazała, że podczas pierwszego badania dwóch uczestników osiągnęło poziom wysoko zaawansowany odwzorowania, co stanowiło 12,5% badanej grupy. Trzynastu uczestników osiągnęło poziom zaawansowany w realizmie, co stanowiło 81,25%. Jedna osoba, stanowiąca zaledwie 6,25%, uzyskała jedynie zadowalający poziom wykonania dzieła ze względu na brak czasu oraz utratę chęci do malowania. Badanie ukazało znaczenie ćwiczeń w efektywnym kształceniu. Uczestnicy angażujący się w realizację projektu uzyskali lepszy efekt końcowy od tych, którzy poświęcili na niego mniejszą ilość czasu i zaangażowania. Spowodowane jest to wypracowaniem się u badanych pamięci mięśniowej oraz wyobraźni artystycznej. Popelniane i poprawiane przez nich błędy będące podstawowym elementem ćwiczeń spowodowały poprawę oczekiwanych efektów, co pozytywnie wpłynęło na końcowe rezultaty. Wyniki potwierdzają znaczenie motywacji w osiągnięciu pozytywnych efektów zakończenia projektu. Efekty drugiego badania ukazały, że ośmiu z dziewięciu uczestników osiągnęło wysoko zaawansowany poziom repliki obrazu, co stanowi aż 89% przystępujących do zadania. Jedna osoba, stanowiąca zaledwie 11%, uzyskała poziom zaawansowany, wynikało to z braku czasu spowodowanego przyczynami osobistymi.



Rys. 5. Wykresy przedstawiające procentowy udział osób, które osiągnęły określony poziom malarstwa
Źródło: Opracowanie własne.

Analizując wyniki procentowe, zaobserwować można poprawę jakości pracy osób uczestniczących w drugim projekcie, które zdołały uzyskać ponadprzeciętne umiejętności w malarstwie. Rezultatem drugiego projektu jest większe doświadczenie uczestników biorących udział w projekcie.

Wyniki te potwierdzają, że osiągnięcie jedynie zadowalających rezultatów jest kwestią ograniczeń czasowych, a nie braku umiejętności. Czas i chęci wydają się kluczowymi czynnikami motywacyjnymi w osiągnięciu sukcesu w malowaniu fotorealistycznym.

Analiza wykonanych obrazów oraz procesu twórczego pokazała znaczącą różnorodność podejść do zadania. Pomimo jednolitych parametrów, każdy uczestnik wykazał indywidualny styl i interpretację projektu. Wszyscy badani zdołali zrealizować zadanie, co sugeruje, że zdolność do malowania może być przyswajana przez każdego, niezależnie od pierwotnych predyspozycji. Patrząc na pierwszy obraz zamieszczony poniżej wykonany bez podstawowej wiedzy z malarstwa oraz na drugi obraz utworzony po odbyciu lekcji, można zauważyć znaczną różnicę w poprawie poziomu malarstwa uczestniczki projektu (rys. 6 i 7).



Rys. 6. Obraz wykonany przed lekcjami malarstwa
Autor: Izabela Kozak.

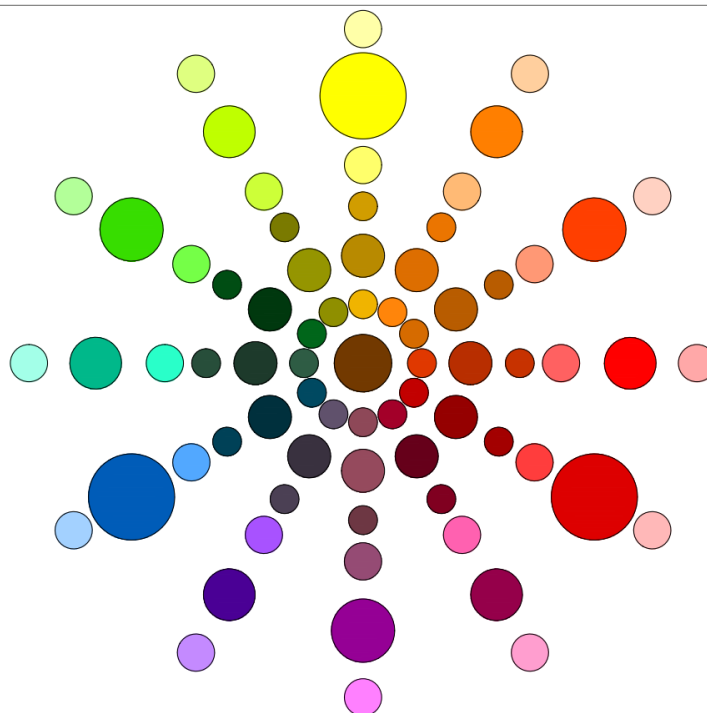


Rys. 7. Obraz wykonany w czasie nauki malarstwa
Autor: Izabela Kozak.

W kontekście technicznego wykonania obserwowano zróżnicowanie umiejętności w obszarze używania farb i pędzli. Niektórzy uczestnicy wykazali większą precyzję i kontrolę nad ruchem pędzla, podczas gdy inni mieli mniejszą zdolność w utrzymaniu równomiernego krycia powierzchni. Po przebytych kształceniu autorów, większość obrazów ma realistyczną jakość wykonania, co sugeruje możliwość rozwoju umiejętności malarskich przez odpowiednie kształcenie.

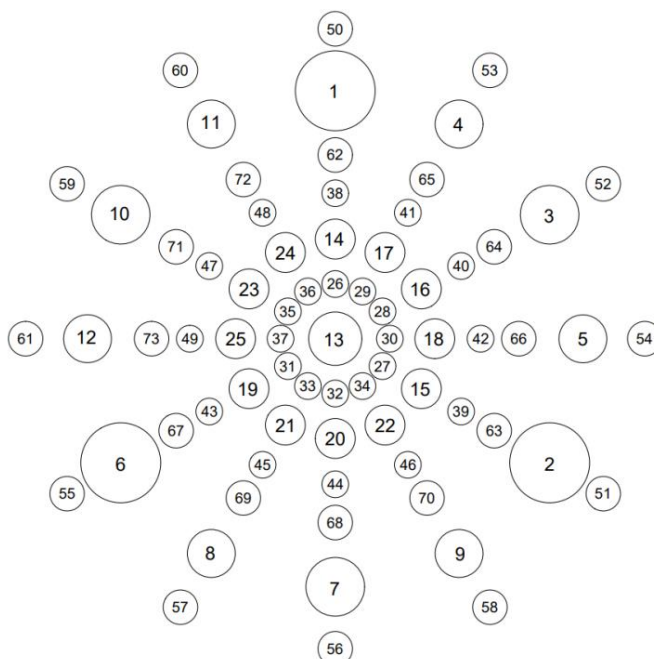
W aspekcie czystości pracy zdecydowana większość uczestników wykazała się odpowiednią czystością w manipulacji farbami oraz utrzymaniem porządku na swoim stanowisku pracy. Trudności z utrzymaniem czystości wody używanej do płukania pędzli mogłyby wpłynąć na jakość i trwałość narzędzi malarskich jak również na efekt końcowy wykonywanego zadania.

Podczas drugiego projektu, o zdecydowanie trudniejszym poziomie, nastąpiło poszerzenie rozety kolorów, ponieważ ułatwiło to jeszcze bardziej pracę nad obrazami. Zaobserwowano, że niektórzy uczestnicy projektu mieli problem z uzyskaniem odpowiedniego odcienia koloru przy realizacji bardziej zaawansowanych prac. Opierając się na tym wniosku, utworzony został szablon rozszerzony do siedemdziesięciu trzech kolorów (rys. 8).



Rys. 8. Utworzony szablon przedstawiający wszystkie możliwe do uzyskania kolory
Źródło: Opracowanie własne.

Oznacza to uzyskanie 24 nowych odcieni pastelowych. Dwanaście nowych barw o ciepłym odcieniu pochodzących od barw podstawowych oraz pochodnych od podstawowych. Dwanaście nowych barw o zimnym odcieniu pochodzących od pochodnych brązu, co wpływa na rozszerzenie się kolejności mieszania kolorów (rys. 9). Zmiana ta pozwoliła na efektywniejszą naukę przyszłych uczestników zajęć malarskich.



Rys. 9. Utworzony szablon zawierający kolejność mieszania kolorów
Źródło: Opracowanie własne.

PODSUMOWANIE

Wyniki tego studium potwierdzają tezę, że każdego można nauczyć malować, przy odpowiednim wsparciu i kierowaniu procesem uczenia. Istnieje jednak zróżnicowanie indywidualne pod względem zdolności technicznych oraz podejścia do pracy artystycznej. Ważne jest więc zrozumienie indywidualnych potrzeb i możliwości każdego ucznia oraz dostosowanie metod kształcenia do ich specyficznych cech.

Podsumowując, proces nauki malowania może być uniwersalny, ale jego skuteczność zależy od wielu czynników, takich jak indywidualne predyspozycje samo-motywuujące czy odpowiednie wsparcie edukacyjne. Dalsze badania mogą prowadzić do lepszego zrozumienia procesów uczenia się sztuki oraz opracowania jeszcze bardziej efektywnych strategii kształcenia w tej dziedzinie.

Wyniki badania podkreślają trudność malowania realistycznego i fotorealistycznego, które wymagają zarówno umiejętności technicznych, jak i silnej motywacji. Niemniej jednak większość uczestników osiągnęła wysoki poziom realizmu, co sugeruje, że rozwinięcie umiejętności malarskich jest możliwe przy odpowiednim wsparciu. Czas i chęć odgrywają kluczową rolę w osiągnięciu wysokiego poziomu realizmu w tej dziedzinie.

Proces twórczy w malowaniu fotorealistycznym, będący odwzorowaniem rzeczywistości na płótnie w sposób zbliżony do fotografii, jest niezwykle złożony i wymagający, ale może prowadzić do imponujących efektów artystycznych. Badanie nad tym procesem pozwala lepiej zrozumieć czynniki wpływające na skuteczność tworzenia obrazów fotorealistycznych i może pomóc w opracowaniu lepszych strategii nauczania oraz motywacji w tej dziedzinie sztuki.

Wyniki pokazały również, że uczestnicy projektów dzięki wysokim rezultatom w nauce malarstwa i imponującym wynikom w postaci realistycznych i fotorealistycznych kopii, podnieśli znacznie samoocenę nie tylko w dziedzinie sztuki malowania.

LITERATURA

- [1] Arnheim R., *Sztuka i percepcja wzrokowa. Psychologia twórczego oka*, Oficyna s.c., 2013
- [2] Ballestar V. B., Vigue J., *Malowanie. Praktyczny podręcznik*, Arkady, 2008
- [3] Barber J., *Akwarele. Książka z kołem*, Arkady, 2008
- [4] Werner J., *Podstawy technologii malarstwa i grafiki*, PWN, 1989
- [5] Zwolińska K., *Mała technologia malarstwa*, Centralny Ośrodek Metodyki Upowszechniania Kultury, 1989
- [6] Clair K., *Sekrety kolorów*, Grupa Wydawnicza Foksal, 2022

Jak analiza danych pozwala zapobiegać problemom w łańcuchu dostaw

SUMMARY

In the 20th century, the importance of long supply chains increased, resulting from the desire to achieve the highest possible benefits and provide access to goods produced in distant locations. They are characterized by high susceptibility to ruptures, blockages or other problems. The development of computer science and information systems has made it possible to analyze data at a level previously unavailable using various methods, including those based on the so-called artificial intelligence. The use of data analytics can counteract and, in some cases, prevent problems in supply chains, making them safer and more resilient.

Key words – supply chain, crisis, data analytics

WSTĘP – ZNACZENIE ŁAŃCUCHÓW DOSTAW

Łańcuch dostaw to system, który obejmuje organizacje, ludzi, działania, informacje i zasoby zaangażowane w przemieszczanie produktu lub usługi od dostawcy do klienta. Obejmuje on wszystkie etapy, począwszy od pozyskiwania surowców, przez produkcję, transport, magazynowanie, aż po dostarczenie końcowego produktu do konsumenta. Efektywny łańcuch dostaw jest niezbędny dla funkcjonowania firm oraz gospodarek na całym świecie [1].

W XXI wieku jednym z najważniejszych aspektów gospodarki stały się globalne, wydłużone do granic możliwości łańcuchy dostaw. By ułatwić przepływ towarów na duże odległości, od dawna wprowadzano szereg udogodnień, generujących równocześnie ogromne zyski, w tym budowę kanałów Sueskiego i Panamskiego [2] czy tworzenie tak zwanego Nowego Jedwabnego Szlaku, mającego łączyć Chinę z Europą [3].

Do podstawowych przyczyn wydłużania łańcuchów dostaw można zaliczyć [4]:

- nierównomierne rozmieszczenie surowców,
- szukanie korzyści skali,
- różnice w regulacjach,
- możliwości techniczne transportu na długi dystans,
- różnice w cenach środków produkcji.

Powyższe doprowadziło w konsekwencji do stworzenia sieci międzynarodowych i międzykontynentalnych powiązań obejmującej połączenia lądowe, wodne oraz powietrzna, a także obiekty infrastrukturalne jak porty morskie i lotnicze lub terminale.

¹ Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania, Międzynarodowa Katedra Logistyki i Inżynierii Usług, Studenckie Koło Naukowe Analizy Danych w Biznesie „ADaBiz”

² Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania, Międzynarodowa Katedra Logistyki i Inżynierii Usług, Studenckie Koło Naukowe Analizy Danych w Biznesie „ADaBiz”

³ Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania, Międzynarodowa Katedra Logistyki i Inżynierii Usług, Studenckie Koło Naukowe Analizy Danych w Biznesie „ADaBiz”

⁴ Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania, Międzynarodowa Katedra Logistyki i Inżynierii Usług
www.viacarpatia.pro

PRZYKŁADOWE METODY ANALIZY DANYCH

Analiza danych odnosi się do procesu wydobywania, przetwarzania i interpretacji informacji z różnych źródeł. Głównym celem analizy jest wykorzystanie danych do podejmowania trafnych decyzji i optymalizacji działań [5].

Do głównych metod tradycyjnej analizy danych zalicza się m.in. analizę statystyczną, która polega na wykorzystaniu podstawowych technik statystycznych takich jak średnia arytmetyczna, mediana czy odchylenie standardowe. Inną metodą jest analiza trendów i wzorców, polegająca na identyfikowaniu i interpretacji zmian oraz poszczególnych relacji w zestawach danych. Ma ona na celu zrozumienie aktualnych trendów i zachowań oraz przewidywanie przyszłych zmian. Można ją zastosować w wielu przypadkach, na przykład podczas analizy trendów sprzedaży produktów w celu prognozowania wyników sprzedażowych. Wyróżnić można również metody regresji w analizie danych służące do modelowania i badania zależności pomiędzy zmienną zależną a innymi zmiennymi niezależnymi (predyktorami). Te metody, mimo że są skuteczne, wykazują niższą dokładność w porównaniu z nowoczesnymi metodami analizy danych, szczególnie wykorzystującymi sztuczną inteligencję [6].

Sztuczna inteligencja rewolucjonizuje dziedzinę analizy danych, przynosząc ze sobą zaawansowane narzędzia i techniki, które pozwalają na bardziej efektywne i dokładne przetwarzanie informacji. Przed wszystkim procesy analityczne staną się jeszcze bardziej zautomatyzowane, zmniejszając potrzebę manualnej interwencji i pozwalając analitykom skoncentrować swoje bezpośrednie działanie na obszarach interpretacji wyników [7].

Uczenie maszynowe (ang. *Machine Learning*, ML) odgrywa kluczową rolę we współczesnej analizie danych, przekształcając sposób, w jaki dane są przetwarzane, analizowane i interpretowane. Dzięki zdolności do automatycznego uczenia się na podstawie danych, możliwe jest tworzenie zaawansowanych modeli predykcyjnych i analitycznych, które znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach, od finansów po medycynę i marketing. Uczenie maszynowe można podzielić na trzy główne kategorie [8]:

- uczenie nadzorowane – modele są trenowane na oznaczonych danych, gdzie każda próbka ma przypisaną etykietę; celem jest nauczenie modelu przewidywania etykiet dla nowych, nieoznaczonych danych;
- uczenie nienadzorowane – uczenie to nie wykorzystuje oznaczonych danych; modele uczą się odkrywać ukryte wzorce i struktury w danych;
- uczenie wzmacniające – polega na trenowaniu algorytmów, które podejmują decyzje w środowisku, ucząc się na podstawie prób i błędów.

Machine Learning znajduje zastosowania w wielu branżach oraz dziedzinach, m.in. w finansach, medycynie czy logistyce. Modele ML są wykorzystywane do oceny ryzyka kredytowego, wykrywania oszustw, diagnozowaniu chorób, ale również są w stanie optymalizować trasy dostaw czy pomagać w zarządzaniu zapasami [8].

WYBRANE PROBLEMY W ŁAŃCUCHACH DOSTAW

Pierwsze dekady XXI wieku udowodniły, że globalna sytuacja nie jest przewidywalna, a uznawana dotychczas za stabilną sieć powiązań staje się niezwykle podatna na zaburzenia. Wynika to z pojawiania się nowych, do tej pory nieznanymi zjawisk, problemów z przekazywaniem informacji, co prowadzi między innymi do powstawania tak zwanego efektu byczego bicza lub błędnych decyzji oraz braku koordynacji i konieczności działania w warunkach wysokiej niepewności. Warto nadmienić, że kryzysy

te spowodowane są bardzo różnymi przyczynami, od politycznych, przez wypadki i katastrofy, po sytuację klimatyczną.

Morze Czerwone stanowi jeden z ważniejszych punktów z perspektywy morskich łańcuchów dostaw ze względu na przebieganie przez nie głównych szlaków handlowych łączących Daleki Wschód z Europą. Równocześnie sytuacja w tym rejonie charakteryzuje się bardzo wysoką niestabilnością, wynikającą z konfliktów zbrojnych i narodowościowych. Od początku XXI wieku występuje tam zjawisko piractwa, w szczególności przy wybrzeżach Somalii [9]. Równocześnie, od eskalacji konfliktu Hamasu i Izraela, wspierane przez Iran ugrupowanie Huti rozpoczęło atakowanie statków handlowych, co doprowadziło część armatorów do korzystania z innych, dłuższych szlaków [10].

Innym obiektem występującym w tym rejonie jest Kanał Sueski, w którym dochodzi do zatorów powodowanych przez duże jednostki. Najśłynniejszym przypadkiem była blokada ogromnego kontenerowca Ever Given, która na 6 dni sparaliżowała transport w tym rejonie. Według raportu opublikowanego przez Urząd Morski Panamy głównymi przyczynami zdarzenia był brak komunikacji oraz złe warunki pogodowe [11]. Doszło do postojów około 400 jednostek pływających, wzrostu cen ropy i niedoborów towarów w Europie [12].

Z kolei Kanał Panamski, na skutek wysychania jeziora Gatún, które stanowi jego główny rezerwuuar wodny, znacząco ograniczył swoją przepustowość, w skrajnych momentach o 50%. Jest to najkrótsza droga morska pozwalająca osiągnąć wschodnie wybrzeże USA jednostkom płynącym z zachodu. Wprowadzenie systemu aukcyjnego pozwoliło zachować ruch, jednak był on silnie utrudniony [13].

Pandemia COVID-19 bardzo mocno wpłynęła na funkcjonowanie łańcuchów dostaw na całym świecie. Zamknięcia fabryk, portów i innych obiektów logistycznych spowodowało duże opóźnienia w dostawach surowców i produktów gotowych. Koszty transportu znacznie wzrosły, ponieważ możliwości przemieszczania się były ograniczone, a wymagania zdrowotne dodatkowo utrudniały działania logistyczne. Pojawiło się też większe zapotrzebowanie na niektóre produkty, takie jak maski ochronne, co spowodowało ich braki na rynku. Zmieniające się przepisy sanitarno-epidemiologiczne w różnych krajach wprowadzały dodatkowe utrudnienia dla firm zajmujących się logistyką. Pandemia sprawiła, że zarządzanie zapasami i planowanie produkcji stały się trudniejsze, ze względu na potrzebę szybkiej reakcji na zmieniające się warunki. Kolejnym problemem było zwiększone ryzyko ataków cybernetycznych, które wynikało ze zwiększenia skali wykorzystania pracy zdalnej oraz większej automatyzacji systemów logistycznych. Sytuacja ta doprowadziła do zmniejszenia efektywności pracy w łańcuchach dostaw, w wyniku wprowadzania zmian w organizacji pracy, żeby była bezpieczna dla zdrowia pracowników. Te problemy pokazały, jak ważne jest elastyczne zarządzanie łańcuchami dostaw w czasie kryzysów, żeby firmy mogły działać płynnie i skutecznie. Przedsiębiorstwa osiągające najlepsze wyniki w czasie pandemii realizowały strategię zarządzania łańcuchem dostaw, będącą w ciągłym stadium tworzenia, kształtowania się, charakteryzującą się błyskawiczną reakcją na zmieniające się wymagania klientów, warunki otoczenia oraz działania konkurentów, przy respektowaniu zasad zrównoważonego rozwoju. Strategiczne i operacyjne zarządzanie procesami logistycznymi coraz bardziej determinowało wyniki ekonomiczne i rynkowe najlepszych badanych przedsiębiorstw w czasie pandemii COVID-19 [14, 15].

ANALIZA DANYCH W PRZECIWDZIAŁANIU PROBLEMOM W ŁAŃCUCHACH DOSTAW

Właściwe zastosowanie analizy danych pozwala na tworzenie odpowiednich prognoz i modeli. Dotyczą one zarówno wartości związanych z przewidywaniem zapotrzebowania lub zdolności

produkcyjnych, ale też kwestii takich jak oszacowanie długości przestoju. Pozwala to na podejmowanie decyzji minimalizujących utracone koszty.

Analiza danych stanowi także ważny aspekt podczas działań w czasie sytuacji kryzysowych. Zespół ekspertów wyposażonych w odpowiednie narzędzia, które często nie muszą być przy tym skomplikowane, może w znaczący sposób wesprzeć pracę personelu pracującego w pierwszej linii. Jednym z miejsc, w których postulowane jest korzystanie z metod analizy danych, jest służba zdrowia, której znaczenie dla zachowania bezpieczeństwa publicznego znacznie wzrosło wraz z problemami wywołanymi przez pandemię COVID-19 oraz inne, mniejsze epidemie [16]. Dotyczy to właściwego zarządzania zasobami ludzkimi oraz innymi środkami w sposób pozwalający na stałe wykonywanie powierzonych zadań.

Powiązana z kryzysami analiza danych pozwala także na szersze określenie sytuacji w regionie. Tym samym pozwala zapoznać się z uwarunkowaniami, w jakich przebiegać może dany łańcuch dostaw. Tym samym możliwe staje się łatwiejsze, poparte wiarygodnymi informacjami, wytyczanie oraz tworzenie bezpieczniejszych, bardziej odpornych szlaków, które pozwalają na uniknięcie terenów podwyższonego ryzyka, zarówno w kontekście bezpośredniego, fizycznego zagrożenia, jak i kwestii związanych z przestępczością, korupcją lub brakiem kompetentnej administracji [17]. Wiąże się to w dużej mierze z analizą tak zwanych Big Data, czyli ogromnych zbiorów danych pozyskiwanych z różnych źródeł. Ze względu na ich mnogość konieczne jest wykorzystywanie w niej zaawansowanych narzędzi informatycznych oraz pozyskiwania różnych typów informacji. Jednak dane w ten sposób uzyskane mają ogromną wartość, pozwalającą w sposób bardziej konkretny, właściwy i skuteczny zwalczyć sytuację kryzysową, w tym wpływającą na łańcuch dostaw. Ważnym aspektem w kontekście fizycznej ich struktury staje się możliwość analizy danych geograficznych z wykorzystaniem modelowania trójwymiarowego, co niemożliwe byłoby w przypadku standardowych map [18].

Analiza predykcyjna z kolei skupia się na wykorzystaniu pozyskanych już danych do tworzenia możliwie realistycznej wizji przyszłości. Dotyczy to określania i szacowania cen oraz trendów rynkowych, popytu na dane produkty, a także kwestii związanych z szeroko pojętą obsługą wszelkich działań, do których wliczają się między innymi koszty eksploatacyjne pojazdów. Dzięki temu możliwe staje się racjonalne, korzystne planowanie tras, czasu i częstotliwości dostaw. Ponadto dzięki korzystaniu z dokładnych sensorów kontrolowanie, a co za tym idzie wprowadzanie poprawek, staje się możliwe we wcześniej nieprzewidzianych obszarach. Przykładowo okazać się może, że analiza zużycia paliwa na całej trasie wskazuje punkt, w którym występuje jego znaczący wzrost. Tym samym koniecznym staje się określenie przyczyny tego stanu rzeczy, a potem wprowadzenie działań zaradczych. Firmami korzystającymi z analizy predykcyjnej są między innymi drugi co do wielkości pod względem obrotu kontenerowego armator Maersk oraz przewoźnik UPS. W obydwu przypadkach wykorzystanie tej technologii pozwala oszczędzać setki milionów USD rocznie, choć wymaga znaczących nakładów [19].

Innym sposobem radzenia sobie z kryzysami przy wykorzystaniu analizy danych jest testowanie łańcuchów dostaw w warunkach wirtualnych, zwykle opartych na dwóch podstawowych miarach:

- TTS – *Time To Survive* – maksymalny czas, przez jaki łańcuch dostaw jest w stanie zaspokajać popyt po zaburzeniu w danym jego ogniwie;
- TTR – *Time To Recover* – czas potrzebny na odzyskanie pełnej efektywności i funkcjonalności po zaburzeniu w danym ogniwie.

Dane te pozwalają na określenie punktów krytycznych, zaplanowaniu stosownych działań zaradczych oraz zmian organizacyjnych. Tym sposobem możliwe jest także mapowanie wąskich gardeł

oraz punktów szczególnie narażonych na przerwania oraz, w miarę możliwości lub racjonalności ekonomicznej, wdrażanie elementów wzmacniających je [20].

Dynamiczne warunki, w jakich funkcjonują obecnie przedsiębiorstwa oraz zmiany w układzie geopolitycznym, a także przejście z koncepcji maksymalizacji zysku na rzecz ograniczania ryzyka, prowadzą do coraz częstszych modyfikacji łańcuchów dostaw. Następuje przeniesienie obiektów produkcyjnych w obszary, na których występuje mniejsze zagrożenie oraz bardziej stabilna sytuacja. Generalne założenie mówi o skracaniu drogi między miejscem produkcji, a finalnym odbiorcą, co przekładać ma się na stabilność całego systemu. Równocześnie nie oznacza to całkowitego rezygnowania z uzyskiwania korzyści skali wynikających z produkcji zagranicznej. Przykładem tego mogą być przedsiębiorstwa z USA, które ze względu na napiętą wielowymiarowo sytuację w rejonie Chińskiej Republiki Ludowej, a także, by przeciwdziałać rozszerzaniu jej wpływów, decydują się na przeniesienie produkcji na przykład do Meksyku. Odpowiednio stosowane narzędzia analizy danych pozwalają na modelowanie oraz przewidywanie zmian na danym obszarze, w tym w obrębie wzrostu gospodarczego, co bezpośrednio wpływa na decyzje o relokacji produkcji [16].

PODSUMOWANIE

Istnieje wiele sposobów, w jakie analiza danych wspomóc może działania przedsiębiorstw i instytucji publicznych w trakcie wystąpienia problemów związanych z łańcuchami dostaw. Dodatkowo właściwe jej zastosowanie pozwala w wielu przypadkach przewidzieć możliwość wystąpienia sytuacji kryzysowej i podjęcie odpowiednich środków zaradczych.

Operowanie w warunkach wysokiej niepewności, przy ogromnych zbiorach danych oraz konieczności korzystania z informacji o charakterze nieliczbowym konieczne jest wykorzystywanie nowoczesnych narzędzi, często opartych o najnowsze technologie, w tym elementy wchodzące w skład szeroko pojętej tak zwanej sztucznej inteligencji, takiej jak deep learning, działania na ogromnych zbiorach danych, machine learning oraz systemy wnioskowania. Ponadto korzystne jest stosowanie wiarygodnych symulacji, pozwalających na badanie różnych scenariuszy celem podjęcia najważniejszych decyzji.

Przedsiębiorstwa właściwie wykorzystujące posiadane dane i umiejące odpowiednio zastosować ich analizę osiągać mogą znaczącą przewagę konkurencyjną poprzez tworzenie bardziej odpornych łańcuchów dostaw oraz bardziej trafne reagowanie w przypadku występujących w nich problemów.

LITERATURA

- [1] Witkowski J., Pisarek A., *Istota zielonych łańcuchów dostaw – Propozycja systematyzacji pojęć*, Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, nr 315, 2017
- [2] ascentnlogistics.com, *Panama Canal vs. Suez Canal: Global Shipping Insights*, <https://ascentnlogistics.com/blog/the-panama-canal-vs-the-suez-canal/>, dostęp dnia 15.06.2024
- [3] Lisik J., Bolisęga P., *Ocena funkcjonalności Nowego Jedwabnego Szlaku*, Journal of Translogistics, 2020
- [4] reboundeu.com, *Korzyści z globalnego łańcucha dostaw*, <https://reboundeu.com/pl/insights/blog/the-benefits-of-a-global-supply-chain-12/>, dostęp dnia 16.06.2024
- [5] Martinek-Jaguszewska K., *Znaczenie i rola automatyzacji procesów biznesowych*, Organizacja i Kierowanie nr 4, 2018

- [6] pap.net.pl, *Nowe podejście do analizy danych – innowacyjne strategie i techniki*, <https://pap.net.pl/nowe-podejscie-do-analizy-danych-innowacyjne-strategie-i-techniki/>, dostęp dnia 18.06.2024 roku
- [7] Szeliga M., *Data science i uczenie maszynowe*, Wydawnictwo Naukowe PWN SA, 2017
- [8] Praca zbiorowa, *Machine learning and deep learning*, Electronic Markets, vol. 31, 2021
- [9] Banasiewicz P., Gramala S., *Piractwo somalijskie*, Roczniki Studenckie Akademii Wojsk Lądowych, Rocznik 4, 2020
- [10] money.pl, *Ataki Huti na Morzu Czerwonym. Unia Europejska wysła statki*, <https://www.money.pl/gospodarka/ataki-huti-na-morzu-czerwonym-unia-europejska-wysle-statki-6997393328675744a.html>, dostęp dnia 19.06.2024
- [11] gospodarkamorska.pl, *Blokada Kanału Sueskiego w 2021*, <https://www.gospodarkamorska.pl/>, dostęp dnia 18.06.2024 roku
- [12] portalmorski.pl, *Statek Evergreen na mieliźnie w USA blisko rocznicy zablokowania kanału Sueskiego przez inny statek tego operatora*, <https://www.portalmorski.pl/zegluga/50593-statek-evergreen-na-mieliznie-w-usa-blisko-rocznicy-zablokowania-kanal-u-sueskiego-przez-inny-statek-tego-operatora>, dostęp dnia 19.06.2024
- [13] Kędziński R., *Światowy transport szuka alternatywy dla Kanału Panamskiego*, <https://www.money.pl/gospodarka/swiatowy-transport-szuka-alternatywy-dla-kanal-u-panamskiego-7038738702101248a.html>, dostęp 17.06.2024
- [14] Gąsowska M.K., *Konsekwencje pandemii COVID-19: perspektywa logistyki w polskich przedsiębiorstwach (cz. I)*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2024
- [15] Praca zbiorowa, *Porwane łańcuchy dostaw. Odbudowa i nowe ogniwa*, Wydawnictwo "Druk-Art" S.C., Napędy i Sterowanie, 2023
- [16] Brown S., *3 business problems data analytics can help solve*, <https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/3-business-problems-data-analytics-can-help-solve>, dostęp dnia 15.06.2024
- [17] Campion P., *Using Data Analytics to Be a More Efficient Crisis Manager*, <https://crisisreadyinstitute.com/how-to-use-data-analytics-to-be-a-more-efficient-crisis-manager/>, dostęp dnia 15.06.2024
- [18] Qadir J., Ali A., Rasool R., Zwitter A., Sathiaselan A., Crowcroft J., *Crisis analytics: big data-driven crisis response*, Journal of International Humanitarian Action, 2016
- [19] digital.fpt.com, *Optimize Supply chain through data analysis and prediction*, <https://digital.fpt.com/en/digital-solutions/optimize-supply-chain-through-data-analysis-and-prediction.html>, dostęp dnia 15.06.2024
- [20] n-ix.com, *How to mitigate your supply chain risks with Data Analytics*, <https://www.n-ix.com/supply-chain-risk-management-data-analytics/>, dostęp dnia 16.06.2024

Zaufanie do systemów opartych na sztucznej inteligencji w środowisku pracy pokolenia Z

SUMMARY

Contemporary technological progress requires enterprises to adapt new innovative solutions. One of the properties which defines technological development is artificial intelligence (AI). Organizations increasingly and willingly are taking available software based on AI. However the main challenge for successful implementation is employee trust in this technology. The goal of the publication was identification of key aspects influencing trust to the systems based on AI in working environment of Z generation.

Key words – systems based on artificial intelligence, work environment, Generation Z

WSTĘP

Współczesny rozwój technologii powoduje, że coraz częściej i chętniej korzystamy z gotowych rozwiązań. Jednym z aktualnych trendów jest rozwój sztucznej inteligencji, który wpływa nie tylko na życie ludzi, ale także na funkcjonowanie przedsiębiorstw. Sztuczna inteligencja (*artificial intelligence – AI*) opisuje technologie, które posiadają zdolność do interakcji z otoczeniem, a ich głównym celem jest stymulowanie i upodabnianie się do inteligencji ludzkiej [1]. Wdrażanie sztucznej inteligencji w organizacjach wymaga jednak podjęcia szeregu działań, w tym także przekonania pracowników do słuszności jej stosowania. Stopień zaufania ludzi do systemów opartych na sztucznej inteligencji może być wyznacznikiem powodzenia ich wdrażania [2].

Wiarygodność różnorodnych systemów działających w oparciu o sztuczną inteligencję, coraz częściej rodzi obawy. Wynikają one głównie z bezprecedensowego jej zastosowania w różnych dziedzinach życia i gospodarki [3]. Literatura przedmiotu wskazuje, że badania w zakresie zaufania do sztucznej inteligencji są na wczesnym etapie [4]. Komisja Europejska również podkreśla potrzebę identyfikacji relacji między zaufaniem z sztuczną inteligencją [1]. Zatem uzasadnione wydaje się prowadzenie badań dotyczących zaufania do systemów opartych na sztucznej inteligencji.

SYSTEMY OPARTE NA SZTUCZNEJ INTELIGENCJI PERSPEKTYWA POKOLENIA Z

Jak podają Rybiński i Królewski, sztuczna inteligencja to inteligencja, która cechuje maszyny i określa ich zdolność do wykonywania funkcji, zazwyczaj złożonych, które dotychczas były wykonywane wyłącznie przez ludzi [5]. Początki rozwoju sztucznej inteligencji sięgają lat 50 ubiegłego wieku. Pierwszą definicję opracował John McCarthy, który określił ją jako konstruowanie maszyn, których sposób działania może być podobny do ludzkiej inteligencji [6]. W kolejnych latach nastąpił duży rozwój w zakresie badań nad sztuczną inteligencją. Powstał m.in. roboty Shakey, komputer Deep

¹ Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania, Koło Naukowe Zarządzania Kapitałem Ludzkim HR Team

² Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania, Koło Naukowe Zarządzania Kapitałem Ludzkim HR Team

³ Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania, Koło Naukowe Zarządzania Kapitałem Ludzkim HR Team

⁴ Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania, Instytut Nauk o Zarządzaniu i jakości, Katedra Zarządzania, Ekonomii i Finansów

Blue grający w szachy, pierwszy samochód autonomiczny, wirtualni asystenci, ChatBoty czy wreszcie ChatGPT [6].

Istnieje kilka rodzajów sztucznej inteligencji. Pierwszym z nich jest wąska sztuczna inteligencja. Wykorzystuje ona zaawansowane algorytmy oraz sieci neuronowe do wykonywania konkretnych zadań, np. rozpoznawanie twarzy czy prowadzenie auta [7]. Kolejny rodzaj to ogólna sztuczna inteligencja. Jej cechą charakterystyczną jest zdolność do wykonywania zadań intelektualnych, których ludzie nie potrafią realizować [7]. Ostatnim rodzajem jest super sztuczna inteligencja. W tym przypadku, systemy działające w jej oparciu są w teorii pełni świadome, mogą naśladować i rozumieć ludzkie zachowania [7].

Sztuczna inteligencja i jej zastosowanie przynosi organizacjom i instytucjom wiele korzyści. Jedną z nich jest możliwość gromadzenia, przechowywania i przetwarzania dużej ilości danych [6]. Działania te są szczególnie istotne z punktu widzenia przedsiębiorstw. Do kluczowych zalet jej wykorzystania można zaliczyć [6]:

- zautomatyzowaną analizę danych,
- identyfikację obszarów wrażliwych,
- zmniejszanie błędów ludzi poprzez odczyt i interpretację danych,
- ogólny rozwój przemysłu.

Wdrażanie systemów opartych na sztucznej inteligencji jest pomocne w podniesieniu kontroli jakości procesów produkcyjnych, zwiększania wydajności przedsiębiorstw czy rekrutacji i selekcji pracowników [6]. Dość popularnym ich zastosowaniem jest wykorzystanie chatbotów, które bez problemu odpowiadają na pytania klientów [8]. Automatyzacja procesów, personalizacja produktów, czy optymalizacja środowiska pracy, to tylko niektóre z przyczyn powszechnego wdrażania tych systemów [9]. Powszechne stosowanie systemów opartych na sztucznej inteligencji w środowisku pracy ma zarówno zalety, ale niesie za sobą również wiele zagrożeń (tabela 1).

Tabela 1. Zalety i zagrożenia zastosowania systemów opartych na sztucznej inteligencji w środowisku pracy

Zalety zastosowania systemów opartych na sztucznej inteligencji w środowisku pracy	Zagrożenia zastosowania systemów opartych na sztucznej inteligencji w środowisku pracy
Minimalizowanie opóźnień w działaniu.	Nadużywanie sztucznej inteligencji, budzące niepokój i obawy społeczeństwa.
Wspomaganie rozumienia złożoności procesów.	Brak możliwości określenia odpowiedzialności za szkody związane z stosowaniem sztucznej inteligencji.
Wzrost innowacyjności.	Zagrożenie dla bezpieczeństwa użytkowników systemów (hakowanie, cyberataki).
Redukcja kosztów.	Redukcja miejsc pracy (zastępowanie ludzi systemami/maszynami).
Ochrona marki przed ryzykiem wystąpienia oszustw i nadużyć.	Nieuczciwa konkurencja.
Zmiana sposobu komunikacji i interakcji z klientami.	Nierówności w dostępie do informacji.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Devenport T.H., Mittal N., *Sztuczna inteligencja w biznesie*, „MT Biznes”, Warszawa 2023; *Sztuczna inteligencja: szanse i zagrożenia* (online):

<https://www.europarl.europa.eu/news/pl/headlines/society/20200918STO87404/sztuczna-inteligencja-szanse-i-zagrozenia>

Jak wynika z tabeli 1, systemy oparte na sztucznej inteligencji nie są systemami doskonałymi. Ciągła automatyzacja powoduje, że obecnie wiele osób podejmuje się zdobycia nowych, dotychczas nieposiadanych kwalifikacji. Kwalifikacje te nastawione są na tworzenie czy obsługę nowych technologii [10]. Kluczowe więc stają się nowe kompetencje takie jak analityczne czy twórcze myślenie, kreatywność czy zdolności społeczne [11].

Obecnie na rynku pracy występuje kilka pokoleń: BB, X, Y oraz Z. Najmłodszym i zarazem najczęściej obcującym z technologiami w środowisku pracy jest pokolenie Z [12]. Pokolenie te nie preferuje spotkań twarzą w twarz. Komunikują się zazwyczaj przy użyciu różnorodnych aplikacji i urządzeń mobilnych [13]. Technologie które działają w oparciu o sztuczną inteligencję są więc w ich opinii kluczowe. Literatura przedmiotu wskazuje, że pokolenie Z cechuje się zaufaniem do sztucznej inteligencji. Jego przedstawiciele uważają, że powszechne stosowanie takich rozwiązań jest bezpieczne i ma swoje konkretne korzyści [14]. Z drugiej strony, *Zetki* obawiają się, że nadmierne stosowanie systemów opartych na sztucznej inteligencji może doprowadzić do zmniejszenia ich kreatywności, wpłynąć negatywnie na relacje interpersonalne czy pogorszyć stan ich zdrowia psychicznego [15].

Pokolenie Z jest tym pokoleniem, które zmienia rynek pracy. Ich poziom znajomości technologii, unikalne podejście do zastosowania sztucznej inteligencji oraz chęć rozwoju osobistego sprawiają, że są oni najlepiej przygotowanym pokoleniem do radzenia sobie z rozwojem technologicznym [16]. Należy podkreślić, że wdrażanie i stosowanie systemów opartych na sztucznej inteligencji w miejscu pracy powinno odbywać się z uwzględnieniem potrzeb oraz możliwości wszystkich pokoleń pracowników. Istotne jest także weryfikowanie, czy pracownicy są w stanie zaufać tym systemom.

METODYKA BADAŃ

Celem badań niniejszej publikacji była identyfikacja kluczowych aspektów wpływających na zaufanie do systemów opartych na sztucznej inteligencji w środowisku pracy w opinii pokolenia Z. Sformułowano następujący problem badawczy: Które aspekty są kluczowe w kształtowaniu zaufania do systemów opartych na sztucznej inteligencji w środowisku pracy w opinii pokolenia Z?

Badania przeprowadzono na próbie 100 respondentów. Dobór próby był celowy. Badani to przedstawiciele pokolenia Z. Większość respondentów stanowili mężczyźni (54 %), kobiety to 46 % badanych (tabela 2).

Jako narzędzie badawcze zastosowano autorski kwestionariusz ankiety, składający się z części właściwej oraz pytań metryczkowych. Respondentów poproszono o ocenę badanych aspektów w skali od 1 do 5 (gdzie 1 oznaczało zupełny brak zgodności, a 5 bardzo dużą zgodność). Badania

Tabela 2. Struktura badanych respondentów wg płci

Wyszczególnienie	n	%
Kobiety	46	46 %
Mężczyźni	54	54 %

Źródło: Opracowanie własne.

przeprowadzono techniką CAWI. Do badań przyjęto, że przedstawiciele pokolenia Z to osoby urodzone między 1995 a 2010 rokiem.

Do analizy danych zastosowano podstawowe miary statystyczne: średnią (M) oraz odchylenie standardowe (SD). W celu weryfikacji zależności istotnych statystycznie zastosowano test U Manna-Whitney'a.

WYNIKI

Respondentów poproszono o ustosunkowanie się do wybranych aspektów zaufania do systemów opartych na sztucznej inteligencji w miejscu pracy (tabela 3).

Tabela 3. Statystyki opisowe dla aspektów zaufania do systemów opartych na sztucznej inteligencji w środowisku pracy

Aspekty zaufania do systemów opartych na sztucznej inteligencji w środowisku pracy	Kobiety		Mężczyźni	
	M	SD	M	SD
Doświadczenie i edukacja nt. sztucznej inteligencji	4,15	0,87	3,33	1,33
Skuteczność i transparentność systemów sztucznej inteligencji	4,22	0,76	3,43	1,21
Etyczne zastosowanie technologii sztucznej inteligencji	3,93	1,06	3,50	1,27
Ochrona prywatności i bezpieczeństwo danych systemów sztucznej inteligencji	4,02	0,95	3,31	1,18
Dostępność informacji o technologii sztucznej inteligencji	4,07	0,85	3,54	1,21
Wyniki i konsekwencje stosowania sztucznej inteligencji	4,11	0,92	3,46	1,19

Źródło: opracowanie własne.

Badania wskazują, że kobiety wyżej ocenią analizowane aspekty zaufania do systemów opartych na sztucznej inteligencji w środowisku pracy, niż mężczyźni. Najwyższą średnią ocen w grupie kobiet otrzymały: *skuteczność i transparentność systemów sztucznej inteligencji* (4,22) oraz *doświadczenie i edukacja nt. sztucznej inteligencji* (4,15). Mężczyźni, najwyżej ocenili takie aspekty zaufania do systemów jak: *dostępność informacji o technologii sztucznej inteligencji* (3,54) oraz *etyczne zastosowanie technologii sztucznej* (3,50).

Sprawdzono, czy istnieją istotne statystycznie różnice w ocenie badanych aspektów między kobietami i mężczyznami. W tym celu, zastosowano test U Manna-Whitney'a (tabela 4).

Tabela 4. Test U Manna-Whitney'a dla oceny aspektów zaufania do systemów opartych na sztucznej inteligencji w środowisku pracy

Aspekty zaufania do systemów opartych na sztucznej inteligencji w środowisku pracy	U	Z	p
Doświadczenie i edukacja nt. sztucznej inteligencji	806,50	3,01	(p) < 0,001
Skuteczność i transparentność systemów sztucznej inteligencji	775,00	3,23	(p) < 0,001
Etyczne zastosowanie technologii sztucznej inteligencji	1000,00	1,67	0,09

Ochrona prywatności i bezpieczeństwo danych systemów sztucznej inteligencji	801,50	3,04	(p) < 0,001
Dostępność informacji o technologii sztucznej inteligencji	944,00	2,06	0,04
Wyniki i konsekwencje stosowania sztucznej inteligencji	852,50	2,69	0,01

Źródło: Opracowanie własne.

Analiza testu U Manna-Whitney'a wskazuje, że prawie we wszystkich ocenianych aspektach występują istotne statystycznie różnice w ocenach kobiet i mężczyzn ($p < 0,05$). W związku z tym, ocena poszczególnych aspektów była zależna od płci respondentów.

PODSUMOWANIE

Sztuczna inteligencja jest nieodłącznym elementem funkcjonowania współczesnego świata. Nie ulega wątpliwości, że jej rozwój wpływa na życie ludzi, ale także na funkcjonowanie przedsiębiorstw. Możliwość optymalizowania procesów czy wdrażania innowacyjnych systemów w środowisku pracy, to tylko niektóre z korzyści idące wraz z rozwojem SI. Systemy oparte na sztucznej inteligencji są już obecne w wielu przedsiębiorstwach. Jednak problematyka zaufania do tych systemów nadal budzi wiele obaw. Kluczowe jest więc identyfikowanie poziomu zaufania pracowników do tych rozwiązań.

Prezentowane badania wskazują istotne statystycznie różnice między ocenami kobiet i mężczyzn. To wskazuje, że ich podejście dotyczące aspektów zaufania do systemów sztucznej inteligencji w środowisku pracy jest różne. Kobiety wyżej oceniły konieczność transparentności i edukacji w zakresie ich wdrażania i stosowania. Z kolei w opinii mężczyzn, kluczowe są dostępność informacji i etyka stosowania.

Analiza literatury przedmiotu i wyniki badań wskazują, że istnieje potrzeba stałego doskonalenia procesów cyfryzacji przedsiębiorstw, zwłaszcza w aspekcie wyjaśniania i budowania zaufania do systemów opartych na sztucznej inteligencji w środowisku pracy. Należy podejmować działania ukierunkowane na wyjaśnianie kwestii etycznych, szkolenia pracowników czy adaptowania ich do pracy w nowym środowisku pracy.

Autorzy mają świadomość ograniczeń wynikających z prezentowanych badań. Pierwszym jest próba badawcza – zawężona wyłącznie do pokolenia Z. Drugim jest liczebność tej próby. W związku z powyższym, kierunki dalszych badań powinny dotyczyć w szczególności badania aspektów zaufania do systemów opartych na sztucznej inteligencji wśród pozostałych pokoleń pracowników oraz identyfikacji wpływu tych systemów na kształtowanie proinnowacyjnej kultury organizacji.

LITERATURA

- [1] Glikson E., Wooley A.W., *Human trust in artificial intelligence: Review of empirical research*, Academy of Management Annals, 2020, vol. 14, issue 2.
- [2] Omrani N., Riviuccio G., Fiore U., Agreda S.G., *To trust or not to trust? An assessment of trust in AI-based system: Concerns, ethics and contexts*, Technological Forecasting and Social Change, 2022, vol. 181.
- [3] Li G.Y., Liu B.H., Yang Y.H., Shao, D., *Quality Attributes and Practices of Trustworthy Artificial Intelligence Systems: A Systematic Literature Review Based on Relevant Secondary Studies*, Journal of Software, 2023, vol. 34, issue 9.

-
- [4] Cai H., Wang C., Zhu Y., *The Influencing Factors of Human-Machine Trust: A Behavioral Science Perspective*, Lecture Notes In Electrical Engineering, 2022, vol. 861.
- [5] Rybiński K., Królewski J., *Algokracja Jak i dlaczego sztuczna inteligencja zmienia wszystko*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2023.
- [6] Klamerek J., Semeniuk D., *Sztuczna inteligencja w realnym świecie*, [w:] Mazurek P.A., Kociubiński A., Kołtunowicz T.N., Majcher J., Maciejewski M., Filipek P.Z., Styła S. (red.), *Problemy Współczesnej Inżynierii. Wybrane zagadnienia z zakresu IT*, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2021.
- [7] *Czym jest sztuczna inteligencja?*, <https://www.sap.com/poland/products/artificial-intelligence/what-is-artificial-intelligence.html>, dostęp dnia: 16.05.2024 roku
- [8] Jackowska W., *Potencjał AI*, *Kariera w Finansach i Bankowości* 2023, nr 24.
- [9] Walusiak-Skorupa J., Kaczmarek P., Wiszniewska M., *Sztuczna Inteligencja a zdrowie pracownika – nowe wyzwania*, *Medycyna Pracy*, 2023, nr 74(3).
- [10] Zajac S., *Automatyzacja na rynku pracy. Kto straci prace a kto zyska?*, *Kariera w Finansach i Bankowości*, 2023, nr 24.
- [11] Brzeznska K., *Człowiek w świecie bani. Jak odnieść sukces w stale zmieniającej się rzeczywistości?*, *Kariera w Finansach i Bankowości*, 2023, nr 24.
- [12] Ławińska O., Korombel A., *Pokolenie Z jako wyzwanie współczesnego zarządzania przedsiębiorstwem relacje, media społecznościowe i crowdsourcing*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2023.
- [13] Metcalf B., *IGeneration and their acceptance of technology*, *International Journal of Management & Information System*, 2017, nr 2.
- [14] Szkoda S., *Implementacja modelu FHP w technologii NVIDIA CUDA*. Praca magisterska, Wrocław 2010
- [15] *Pokolenie Z zdecyduje o przyszłości GenAI*, <https://ccnews.pl/2023/10/11/pokolenie-z-zdecyduje-o-przyszlosci-genai/>, dostęp dnia: 18.05.2024 roku
- [16] *Is Gen Z Ready to Embrace AI? It's Complicated*, <https://www.ideo.com/journal/is-gen-z-ready-to-embrace-ai-its-complicated>, dostęp dnia: 18.05.2024 roku
- [17] Erkul E., *Gen Z Will Shape The Age Of AI*, <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2023/10/20/gen-z-will-shape-the-age-of-ai/?sh=733225bf7215>, dostęp dnia: 20.05.2024 roku

Regulowany wózek inwalidzki dla psów z niepełnosprawnością kończyn tylnych

SUMMARY

The loss or permanent injury of a limb in dogs significantly impacts their daily functioning and quality of life. This study focuses on designing and developing an adjustable wheelchair tailored for dogs with rear limb disabilities. The proposed wheelchair features an aluminum frame, durable rubber wheels, and adjustable mechanisms to ensure optimal support and comfort. The design aims to enhance the mobility and well-being of disabled dogs, providing a customizable solution that adapts to each animal's specific needs. Preliminary evaluations indicate that the wheelchair improves physical activity levels and overall quality of life for affected dogs.

Key words: adjustable wheelchair, disabled dogs

WSTĘP

Utrata kończyny lub jej trwałe uszkodzenie przez psa jest sytuacją dramatyczną, zarówno dla samego zwierzęcia, jak i jego opiekunów. Psy mogą tracić kończyny na skutek różnorodnych zdarzeń i schorzeń, w tym w wypadkach komunikacyjnych, przez poważne infekcje, choroby nowotworowe, czy też wady wrodzone. W wyniku takich traumatycznych doświadczeń, psy stają się niepełnosprawne, co znacząco wpływa na ich codzienne funkcjonowanie i jakość życia. Amputacja kończyny u psa to poważne wyzwanie zarówno z punktu widzenia medycznego, jak i psychologicznego. Utrata łapy nie tylko ogranicza zdolność do poruszania się, ale także wpływa na równowagę ciała oraz rozkład masy, co może prowadzić do dodatkowych problemów zdrowotnych [1, 2]. Psy pozbawione kończyny często muszą radzić sobie z chronicznym bólem, dyskomfortem oraz problemami adaptacyjnymi [1,2]. Takie zwierzęta mogą także doświadczać znacznego stresu, co może przekładać się na problemy behawioralne. Konsekwencje utraty kończyny są wieloaspektowe. Fizycznie psy mogą doświadczać zaniku mięśni w pozostałych kończynach, nadmiernego obciążenia stawów, a także problemów z kręgosłupem wynikających z nieprawidłowej postawy i ruchu. Brak możliwości swobodnego poruszania się ogranicza ich naturalne zachowania, takie jak bieganie, skakanie czy zabawa, co ma kluczowe znaczenie dla ich ogólnego samopoczucia. W obliczu takich wyzwań, zastosowanie wózków inwalidzkich staje się niezbędnym rozwiązaniem. Wózki inwalidzkie dla psów umożliwiają im powrót do aktywnego trybu życia, pozwalając na swobodne poruszanie się i uczestnictwo w codziennych aktywnościach. Dzięki odpowiednio dobranemu wózkowi, pies może cieszyć się większą swobodą ruchu, co przekłada się na poprawę jego kondycji fizycznej oraz psychicznej. Ponadto, wózki inwalidzkie odciążają pozostałe kończyny i kręgosłup, co zmniejsza ryzyko powstawania dodatkowych urazów i schorzeń [3, 4].

¹ Politechnika Białostocka, Instytut Inżynierii Biomedycznej, SKN Orthos; kacper.snarski@gmail.com
www.viacarpatia.pro

Badanie i rozwój konstrukcji wózków inwalidzkich dla psów są istotne z wielu powodów. Jest to przede wszystkim poprawa mobilności i jakości życia psów po amputacji. Ponadto, rozwój takich technologii ma znaczenie dla opiekunów, którzy mogą lepiej zaspokajać potrzeby swoich podopiecznych, a także dla weterynarzy, którzy mogą oferować skuteczniejsze metody rehabilitacji. Dotychczasowe badania i publikacje dotyczące rehabilitacji psów po amputacji wskazują na różnorodność dostępnych rozwiązań wspomagających mobilność zwierząt. W literaturze podkreśla się znaczenie indywidualnego dopasowania wózków do potrzeb każdego psa oraz rolę regularnej rehabilitacji w procesie adaptacji do nowych warunków [3, 4].

Analiza efektywności wózków inwalidzkich dla psów obejmuje ocenę parametrów technicznych, takich jak stabilność, komfort użytkowania, trwałość materiałów oraz łatwość regulacji [1,2]. Badania te przeprowadzane są zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak i w realnym środowisku życia zwierząt, co pozwala na kompleksową ocenę funkcjonalności tych urządzeń. Wózki inwalidzkie mają ogromny wpływ na codzienne życie opiekunów psów. Umożliwiają łatwiejszą opiekę nad niepełnosprawnymi zwierzętami, zmniejszają stres związany z codziennym funkcjonowaniem oraz poprawiają relacje między psem a opiekunem poprzez umożliwienie wspólnych aktywności. Przyszłe badania powinny koncentrować się na dalszym rozwijaniu konstrukcji wózków inwalidzkich, w tym na wykorzystaniu nowych, bardziej wytrzymałych i lżejszych materiałów, oraz na opracowywaniu bardziej zaawansowanych systemów regulacji i dopasowania. Dodatkowo, badania nad długoterminowym wpływem użytkowania wózków na zdrowie psów mogą dostarczyć cennych informacji na temat optymalizacji tych urządzeń [4, 5].

PRZEGLĄD ROZWIĄZAŃ

Można wyróżnić trzy główne rodzaje wózków inwalidzkich dla psów. Są one podzielone ze względu na problem, z jakim boryka się zwierzę.

Wózki tylne są zaprojektowane z myślą o psach, które utraciły jedną lub obie tylne kończyny. Składają się z solidnej ramy, dwóch kół oraz uprząży, która podtrzymuje tułów psa, pozwalając mu na swobodne poruszanie przednimi kończynami. Tego typu wózki są często regulowane, co umożliwia dostosowanie wysokości oraz szerokości wózka do indywidualnych potrzeb zwierzęcia. Wózki tylne są zazwyczaj lekkie i łatwe w obsłudze, co ułatwia codzienne korzystanie zarówno psu, jak i jego opiekunowi [1,2].



Rys. 1. Wózek tylny produkowany przez firmę ADMIRAL
Źródło: firma-admiral.pl/

Wózki regulowane wyróżniają się możliwością dostosowania rozmiaru i kształtu do indywidualnych potrzeb psa. Jest to szczególnie ważne w przypadku rosnących szczeniąt lub psów z nietypową budową ciała. Wózki regulowane mają mechanizmy, które pozwalają na zmianę

www.viacarpattia.pro

wysokości, szerokości i długości wózka, co zapewnia optymalne wsparcie i komfort podczas poruszania się. Dzięki tej elastyczności, wózki regulowane mogą być używane przez dłuższy czas, co jest ekonomicznym rozwiązaniem dla opiekunów [1,2].



Rys. 2. Regulowany wózek firmy „Wózek dla psa - Marek Niwiński”
Źródło: wozekdlapsa.eu/

Wózki pełne zapewniają wsparcie zarówno dla przednich, jak i tylnych kończyn. Są stosowane głównie w przypadku psów z wieloma urazami lub schorzeniami neurologicznymi utrudniającymi poruszanie wszystkimi kończynami. Wózki pełne charakteryzują się bardziej złożoną konstrukcją, która zapewnia stabilność i wsparcie całego ciała psa. Mogą być wyposażone w dodatkowe elementy, takie jak podparcia dla brzucha czy regulowane uprząże, które pomagają w lepszym dopasowaniu wózka do ciała zwierzęcia [1,2].



Rys. 3. Wózek 4-kołowy produkowany przez firmę ADMIRAL
Źródło: firma-admiral.pl/

METODYKA

Wózek inwalidzki dla psa jest rzeczą indywidualną, dlatego istotne jest, aby był on wykonany z uwzględnieniem osobniczych cech i schorzeń zwierzęcia. Przed rozpoczęciem procesu projektowania należy przeprowadzić wywiad z opiekunem, który określi swoje oczekiwania względem konstrukcji, a także dokładnie zmierzyć zwierzę. Wykonanie tablicy morfologicznej jest niezbędnym elementem każdej pracy projektowej, a towarzyszący temu przegląd istniejących już konstrukcji zapewniający szerszy pogląd na możliwości wykonania.

Tablica morfologiczna składa się z sześciu potencjalnych możliwości produkcyjnych i uwzględnia takie aspekty konstrukcyjne jak: materiał ramy, połączenie elementów ramy, umocowanie,

podwieszenie kończyn tylnych, rodzaj kół, regulacja oraz jej płaszczyzny. Po analizie założeń zostały wybrane następujące elementy (podkreślone):

- materiał ramy z aluminium jest lżejszy od stali nierdzewnej oraz tańszy od włókna węglowego;
- połączenie spawane jest wytrzymalsze niż połączenie śrubowe czy nitowane;
- umocowanie za pomocą szelek zapewnia większą stabilność psa niż pasy;
- niepodwieszane kończyny tylne dały możliwość podpierania się zwierzęcia na drugiej, zdrowej łapie;
- koła kauczukowe są wytrzymalsze i charakteryzują się dłuższą żywotnością od kół oponowych, nie wymagają również dopompowywania;
- wybranie regulacji dociskowej pozwala na szybkie dostosowywanie wymiarów wózka i ewentualne rozkręcenie części składowych wózka;
- regulacja w płaszczyźnie czołowej i strzałkowej umożliwi natychmiastowe korygowanie długości i wysokości wózka.

Tabela 1. Tablica morfologiczna dotycząca wykonanej konstrukcji

Materiał ramy	<u>Aluminium</u>	Stal nierdzewna	Włókno węglowe
Połączenie elementów ramy	Śrubowe	<u>Spawane</u>	Nitowane
Umocowanie	<u>Szelki</u>	Pasy	-
Podwieszenie kończyn tylnych	Podwieszane	<u>Niepodwieszane</u>	-
Koła	<u>Kauczukowe</u>	Z oponą	-
Regulacja	<u>Dociskowa</u>	Skęciana	Brak regulacji
Płaszczyzny regulacji	Regulacja na wysokość i szerokość	<u>Regulacja na wysokość i długość</u>	Regulacja na wysokość, szerokość i długość

Źródło: Opracowanie własne

BUDOWA

Do wykonania ramy wózka inwalidzkiego wykorzystano profile aluminiowe o przekroju kwadratowym o wymiarach 30×30×2mm oraz arkusz blachy o grubości 4mm. Górna rama została wycięta a następnie zespawana w taki sposób, aby utworzyć kształt zbliżony do litery „U”. Ponadto w pobliżu miejsca zespolenia wykonano 12 otworów przelotowych. Dolne elementy wózka zostały zespawane z wyciętym arkuszem blachy, w którym wywiercono otwory. Posłużyły one do połączenia z górnymi partiami wózka. Przy krańcach profili wykonano dodatkowe otwory, w których umieszczono nitonakrętki.

Do otwartych krańców profili aluminiowych włożono aluminiowe ceowniki z wykonanym otworem przy jednym z końców. W przypadku dolnych partii wózka były one krótsze od tych umiejscowionych w górnej części wózka. Aby powstrzymać ceowniki od wypadania w miejscu nitonakrętek przykręcono śruby dociskowe.

Mobilność wózka zapewniają koła przykręcone za pomocą śruby M8 oraz nakrętek samohamownych. Same koła zostały zakupione. Są one wykonane z tworzywa sztucznego.

W celu potrzymania tułowia psa wykorzystano szelki oraz rzepy. Przez otwory wywiercone w ceownikach przeprowadzono jedną stronę rzepu, drugą zaś przez wykonany z tworzywa sztucznego zaczep znajdujący się na szelkach. Wokół sprawnej kończyny tylnej oraz kikuta przeprowadzono dodatkowe podparcie wykonane z rzepów i gąbki ochronnej. Zawieszono je w przy połączeniu dolnej części wózka z górną.

CECHY KONSTRUKCJI

Najważniejszym aspektem brany pod uwagę podczas projektowania była możliwość regulowania wózka na wysokość oraz długość. Udało się to osiągnąć za pomocą zastosowania połączenia ceowników z profilami aluminiowymi. Żeby zachować wybrane położenie między częściami wystarczy dokręcić śrubę dociskową. Gdyby było to niewystarczające istnieje możliwość dodatkowej regulacji poprzez przesunięcie dolnych części konstrukcji oraz przykręcenie ich przy innych otworach ramy głównej. Ponadto regulację wysokości przy przednich łapach możemy dostosować zmieniając napięcie rzepów przy szelkach.

Biorąc pod uwagę gabaryty psa, dla którego został wykonany wózek, niezbędne było zachowanie odpowiedniego balansu pomiędzy wytrzymałością oraz masą konstrukcji. Zastosowanie profili aluminiowych zachowało dostateczne wartości wytrzymałościowe przy jednoczesnym utrzymaniu masy, który nie powodował zmęczenia bądź skrępowania psa.

W celu zachowania jak największego komfortu niezbędne było zastosowanie materiałów miękkich oraz wyszlifowanie niektórych, ostrzejszych krawędzi. W tym celu szelki zostały wykonane z tworzywa sztucznego, które nie powoduje otarć przy noszeniu. Poza tym, mocowanie, które występuje przy tylnej łapie zostało dodatkowo otoczone miękką gąbką chroniącą psa od otarć w szczególnie wrażliwych miejscach. W celu zachowania bezpieczeństwa psa, ostre krawędzie, szczególnie te wynikające ze spawania, zostały zeszlifowane.

KONSTRUKCJA

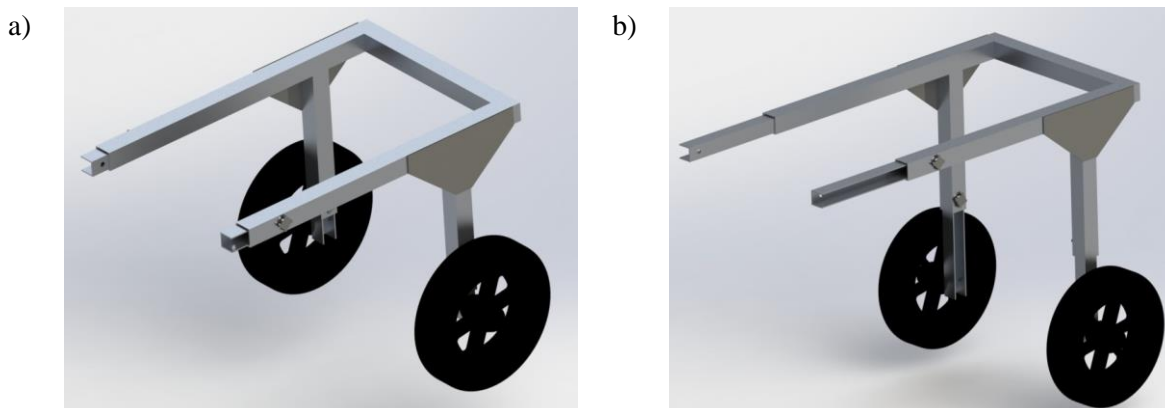
W trakcie tworzenia projekt niejednokrotnie zmieniał swoje formy. Zmieniało się także podejście do wymagań, które były niezbędne do spełnienia. Początkowo regulacja długości i wysokości została zaprojektowana w sposób teleskopowy, wykorzystujący dwa rozmiary profili aluminiowych oraz otwory na śruby utrzymujące określoną długość. Jednakże to rozwiązanie pozwalało na regulację tylko o konkretny skok odległości, co powodowało problemy w przypadku, gdy wymagana długość znajdowała się pomiędzy wytyczonymi otworami.



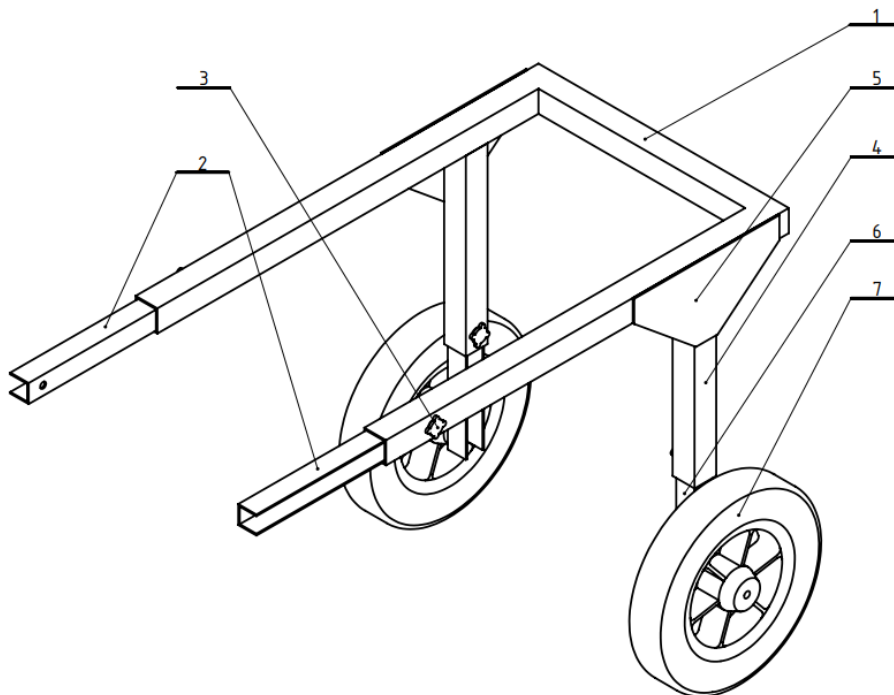
Rys. 4. Początkowy projekt ramy wózka inwalidzkiego
Źródło: Opracowanie własne

Kolejny projekt przewidywał użycie zacisku, który miał dociskać mniejszy profil znajdujący się wewnątrz większego. Projekt przewidywał wykonanie nacięć na większym profilu oraz zamontowanie zacisku, który pozwalałby na utrzymanie wymaganej odległości. Ostatecznie zrezygnowano z użycia dwóch profili aluminiowych. Mniejszy został zastąpiony ceownikiem o zbliżonym wymiarze, a zacisk

- śrubą dociskową. Pozwoliło to na zredukowanie kosztów produkcji oraz ułatwiło regulację długości wózka.



Rys. 5. Ostateczny model wózka inwalidzkiego: a) przy minimalnym wydłużeniu; b) przy maksymalnym wydłużeniu
Źródło: Opracowanie własne



Rys 6. Rysunek krawędziowy: (1) rama główna (2) ceownik do modyfikacji długości (3) śruba dociskowa (4) dolna część ramy (5) arkusz blachy (6) ceownik do modyfikacji wysokości (7) koło
Źródło: Opracowanie własne

WYNIKI

Konstrukcja regulowanego wózka inwalidzkiego została wykonana dla psa z niepełnosprawnością kończyny tylnej. Na podstawie obserwacji ustalono główne wyniki, dotyczące utrzymania lub polepszenia określonych cech użytkowych:

1. **Zwiększona mobilność:** Pies korzystający z wózka wykazał znaczną poprawę w zakresie mobilności, co pozwoliło mu na regularne angażowanie się w aktywności takie jak chodzenie, bieganie i zabawa. Wózek umożliwił mu powrót do aktywnego trybu życia, co pozytywnie wpłynęło na jego kondycję fizyczną.
2. **Poprawa komfortu i wsparcia:** Użycie lekkiego aluminium oraz miękkich, wyściełanych materiałów zapewniło komfort noszenia, redukując ryzyko otarć i dyskomfortu. Szelki i rzepy były odpowiednio dopasowane, co umożliwiło stabilne i wygodne podtrzymanie ciała psa.
3. **Usprawnienie procesu regulacji i dopasowania:** Regulowane funkcje wózka pozwalają na precyzyjne dopasowanie do indywidualnych potrzeb psów o różnych rozmiarach. Dzięki możliwości regulacji wysokości, szerokości i długości wózka, urządzenie będzie mogło być dostosowane do rosnących szczeniąt oraz dorosłych psów, co zapewni długoterminowe użytkowanie.
4. **Zachowanie trwałości:** Koła kauczukowe oraz solidna konstrukcja okazały się wytrzymałe w rozmaitych warunkach, w tym na trudnym terenie i w różnych warunkach pogodowych. Wózek sprawdza się w codziennym użytkowaniu, wykazując się wysoką odpornością na uszkodzenia i zużycie.

PODSUMOWANIE

Regulowany wózek inwalidzki dla psów z niepełnosprawnością kończyn tylnych znacząco poprawia jakość życia „czworonoga”. Dzięki zwiększeniu mobilności, komfortu i wsparcia, wózek pozwala psom na odzyskanie niezależności i uczestniczenie w codziennych aktywnościach. Wózek zapewnia nie tylko fizyczne wsparcie, ale także pozytywnie wpływa na psychikę psa, redukując stres i poprawiając samopoczucie.

Podczas projektowania wózka uwzględniono różne aspekty, takie jak trwałość materiałów, łatwość regulacji oraz wygoda użytkowania. Aluminium okazało się doskonałym materiałem, łączącym lekkość z wytrzymałością. Koła kauczukowe zapewniły stabilność i długowieczność, a system regulacji pozwolił na szybkie i łatwe dopasowanie wózka do potrzeb zwierzęcia.

W przyszłych badaniach warto skupić się na dalszym udoskonalaniu konstrukcji wózka, w tym na wykorzystaniu jeszcze lżejszych i wytrzymalszych materiałów oraz opracowaniu bardziej zaawansowanych systemów regulacji. Badania nad długoterminowym wpływem użytkowania wózków na zdrowie psów mogą dostarczyć cennych informacji na temat optymalizacji tych urządzeń. Konstrukcja regulowanego wózka inwalidzkiego stanowi istotny krok w stronę poprawy jakości życia niepełnosprawnych psów, oferując im szansę na aktywne i szczęśliwe życie.

LITERATURA

[1] Cole, G. L., & Millis, D. (2017). The effect of limb amputation on standing weight distribution in the remaining three limbs in dogs. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 30(01), 59-61.

-
- [2] Kirpensteijn, J., Van den Bos, R., Van den Brom, W. E., & Hazewinkel, H. A. W. (2000). Ground reaction force analysis of large breed dogs when walking after the amputation of a limb. *Veterinary Record*, 146(6), 155-159.
- [3] Chansangsri, N., & Thawesaengkulthai, N. (2014). Innovation development process for dog with two disabled hind legs wheelchair. *Advanced Materials Research*, 945, 410-423.
- [4] Puotinen, C. J. (2023). The Best Wheelchairs for Disabled Dogs: Thanks to canine wheelchairs, dogs who lose the use of their front or hind legs can still live active, happy lives. *Whole Dog Journal*, 26(12), 20-23.
- [5] Chansangsri, N., & Thawesaengkulthai, N. (2015). Automatic Wheelchair for Dog with Two Disabled Hind Legs. *Applied Mechanics and Materials*, 778, 229-234.
- [6] Hubert, G., Tousignant, M., Routhier, F., Corriveau, H., & Champagne, N. (2013). Effect of service dogs on manual wheelchair users with spinal cord injury: A pilot study. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 50(3), 341.
- [7] Millis, D., & Cole, G. (2017). The effect of limb amputation on standing weight distribution in the remaining three limbs in dogs. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology: V.C.O.T.*, 30(01), 59–61.
- [8] Jarvis, S. L., Worley, D. R., Hogy, S. M., Hill, A. E., Haussler, K. K., & Reiser, R. F. (2013). Kinematic and kinetic analysis of dogs during trotting after amputation of a thoracic limb. *American Journal of Veterinary Research*, 74(9), 1155–1163.
- [9] Fowler, Edward Bros (2008). Design, analysis, and development of cost-effective canine wheelchairs.

PUCHLIK MONIKA¹, MICEWICZ GABRIEL MICHAŁ¹, ŻEBROWSKI IGOR¹, TARASZKIEWICZ KACPER¹,
PROKOP JAKUB¹, KASJANOWICZ SYLWIA¹

Ocena potencjału ekologicznego małych zbiorników wodnych w Nadleśnictwie Supraśl

SUMMARY

The aim of the study was to investigate the quality of surface water in small reservoirs in the supraśl forest district in podlaskie voivodship. Artificial reservoirs not yet analysed in terms of physico-chemistry were selected for the study: natalia pond, vincentego pond and podsokołda reservoir. Basic physico-chemical parameters and selected heavy metals were determined during a 2-year study in may and june 2022 and 2023. The results obtained were compared with the applicable surface water standards. On the basis of the studied parameters it was possible to determine their ecological potential.

Key words – small retention, surface water quality, wetlands, forest areas.

WSTĘP

Polska leży w strefie klimatu umiarkowanego typu przejściowego i cechuje się niestabilnym bilansem wodnym. Oznacza to, że na tych samych terenach ma zarówno nadmiar, jak i niedobór wód [1]. Zasoby wodne Polski w porównaniu z innymi krajami europejskimi są niewielkie i w sporym stopniu zależą od opadów. Zalicza się tu wody powierzchniowe w jeziorach, rzekach i zbiornikach wodnych, a także wody podziemne. Niemal na 20% terenu Polski odnotowuje się rocznie opady, które są poniżej 500mm. Odpowiadają one najbardziej suchym regionom Europy [1,14,40]. W tej sytuacji każda forma retencji pozwalająca na poprawę zdolności retencyjnej zlewni jest uzasadniona i pożądana. Wiadomość o tendencji warunków hydrologicznych w Polsce nabiera coraz większego znaczenia dla gospodarki leśnej, pod względem konieczności jej przystosowania do zmian klimatu. Przy monitorowanym wzroście temperatury powietrza, zmienia się także rozkład oraz ilość opadów, jak i zwiększa się częstość zjawisk ekstremalnych, hydrologicznych, których skutkiem są powodzie oraz długotrwałe susze. Te ostatnie są niestety najbardziej groźne dla trwałego rozwoju drzewostanów. Zmiany klimatyczne, które są odczuwalne, oraz związane z nimi zaburzenia w obiegu wody, które objawiają się m.in. zmniejszaniem się zasobów wodnych, z jednakowo wzrastającym zagrożeniem powodzią oraz suszą, wskazują na potrzebę zwiększenia świadomości społecznej, w tym funkcji lasów w łagodzeniu tych negatywnych zjawisk [14].

Celem pracy było badanie jakości wód w małych zbiornikach wodnych na terenie Nadleśnictwa Supraśl w województwie podlaskim. Do badań wytypowano dotychczas nie analizowane pod względem fizyko-chemicznym zbiorniki wodne: Staw Natalii, Staw Wincentego oraz zbiornik Podsokołda. Oznaczono podstawowe parametry fizyko-chemiczne i wybrane metale ciężkie oraz porównano uzyskane wyniki badań z obowiązującymi normami dla wód powierzchniowych. Szczególną uwagę zwrócono związkom biogennym (C,N,P oraz OWO) i ich roli w eutrofizacji wód. Na podstawie badanych parametrów możliwe było określenie klasy czystości wód (tzw. oceny potencjału ekologicznego) oraz działań na rzecz poprawy jej jakości.

¹ Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku, Instytut Nauk Leśnych, Koło Naukowe Gospodarowania Środowiskiem
www.viacarpatia.pro

MAŁA RETENCJA NA OBSZARACH LEŚNYCH

Lasy są stale poddawane wpływowi zmian klimatu, zanieczyszczeniom powietrza oraz wód powierzchniowych. Wiele takich czynników stresogennych jest w pewnym stopniu ze sobą powiązanych i ma działanie na ekosystemy leśne z różną intensywnością [3,4]. Niedobory wód w lasach mogą stanowić poważne konsekwencje w aspekcie gospodarczym jak i środowiskowym. Najbardziej narażone są leśne obszary mokradłowe, z uwagi na fakt ich bioróżnorodności gatunkowej roślin i zwierząt [6,7]. W lasach spotykamy się z tzw. małą retencją, która w głównej mierze polega na zatrzymywaniu wody w lesie przez magazynowanie jej w niewielkich zbiornikach i oczkach wodnych, a także na terenach mokradłowych. Podstawowym celem jest zwiększenie zasobów wodnych, poprawienie warunków mikroklimatycznych, tworzenie korzystnych warunków do bytowania fauny, urozmaicenie siedliska i krajobrazu, a także zwiększenie odporności lasu na wypadek pożaru [38-39].

Poglądy dotyczące ochrony wód określa tzw. Ramowa Dyrektywa Wodna UE [33], w której ukazano założenia polityki wodnej państw Unii Europejskiej. Priorytetem stała się konieczność zwiększenia zdolności retencyjnej. Może to skutkować zatrzymaniem na terenie zlewni wód w nadmiarze, które w okresach posusznych będą zasilać cieką [11]. Większe znaczenie w małej retencji w lasach ma ilość oraz funkcjonalność, niż wielkość obiektów. Mimo małej objętości w odniesieniu do powierzchni leśnej, ma ona bardzo duże znaczenie dla zachowania prawidłowych stosunków wodnych w lasach (ograniczeniu pojawiania się susz i powodzi), jak i na ochronę siedlisk mokradłowych [4,41].

Do utworzenia rozproszonych wód wykorzystuje się materiały naturalne t.j. drewno, kamienie czy ziemię. Nie jest zalecane, aby w środowisku przyrodniczym używać konstrukcji betonowych [4]. W zrozumiałych technicznie okolicznościach jest możliwe zastosowanie tworzywa sztucznego, konstrukcje z nich powinny być „zakryte” materiałami naturalnymi, tak aby nie stanowiły dysharmonijnego elementu w krajobrazie leśnym [13]. Zastosowanie geomembran typu bentonitowego jest najlepszym możliwym sposobem uszczelnienia przeciekających grobli. Koszt ich zastosowania jest nieproporcjonalnie niski do przebudowy całej grobli lub sprowadzenia odpowiedniego materiału na jej budowę. Przepusty i mnichy wykonane ze specjalnych blach lub tworzyw sztucznych rzadko wymagają remontów, a czasem są praktycznie niezniszczalne. Konieczne jest też stosowanie stalowych siatek powleczonych tworzywem do zabezpieczania budowli ziemnych – grobli [12].

CHARAKTERYSTYKA TERENU BADAŃ

Arboretum w Kopnej Górze im. Powstańców 1863, położone jest w województwie podlaskim, w powiecie białostockim, w gminie Supraśl. Arboretum (łac. *arbor* – drzewo, drzewostan) w Kopnej Górze stanowi 26ha ogród botaniczny połączony z parkiem leśnym. Na powierzchni można spotkać większość typów siedliskowych lasu, które są charakterystyczne dla Puszczy Knyszyńskiej. Źródłem takiego bogactwa jest znaczne zróżnicowanie rzeźby terenu (od 132 do 154 m n.p.m.) oraz spora różnorodność gleb. Natomiast na nieleśnych fragmentach arboretum, a także pod okapem drzewostanu, można obejrzeć rośliny jakich nie spotkamy w polskich lasach. W naturalnym, puszczańskim otoczeniu prezentowane są drzewa i krzewy pochodzące z różnych stron świata oraz ich ogrodowe odmiany. W ciągu ponad dwóch dekad istnienia zgromadzono tu około 350 gatunków i odmian drzew i krzewów potrafiących wytrzymać w tutejszym, niezbyt sprzyjającym uprawie roślin, klimacie.

Pierwszym badanym obiektem był mały zbiornik o nazwie „Staw Wincentego”, znajdujący się na lewo od głównej alei Arboretum, tuż za kolekcjami cisów, jodeł, cyprysików, żywotników.

www.viacarpatia.pro

Drugim zbiornikiem wodnym jest tzw. „Staw Natalii”, który zlokalizowany jest w zachodniej części Arboretum. Obok niego jest plac zabaw oraz kolekcja jarzębów. Zalew Podsokołda, trzeci urokliwy zbiornik położony w województwie podlaskim, w powiecie białostockim, w gminie Supraśl, znajduje się niedaleko Leśniczówki Dworzysk. Jest zbiornikiem małej retencji na terenie Nadleśnictwa Supraśl. Powstał w 2021 r. Jest w stanie zatrzymać 17 600 m³ wody. Powstał przy pomocy dofinansowania z Programu „Kompleksowy projekt adaptacji lasów i leśnictwa do zmian klimatu – mała retencja oraz przeciwdziałanie erozji wodnej na terenach nizinnych w ramach POIiŚ 2014-2020”.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Badaniami objęto wody powierzchniowe z terenów Nadleśnictwa Supraśl w województwie podlaskim. Próbkę do analiz laboratoryjnych pobierano ze Stawu Natalii, Stawu Wincentego oraz Zalewu Podsokołda. Pobór próbek wód powierzchniowych wykonywano co dwa tygodnie w maju i czerwcu 2022 oraz 2023r. Podczas każdego poboru odnotowywano temperaturę powietrza [°C], rejestrowano wielkość opadów atmosferycznych na terenie zlewni [mm]. Materiał badawczy pobrano zgodnie z normą [33], z miejsca pełnego wymieszania wód.

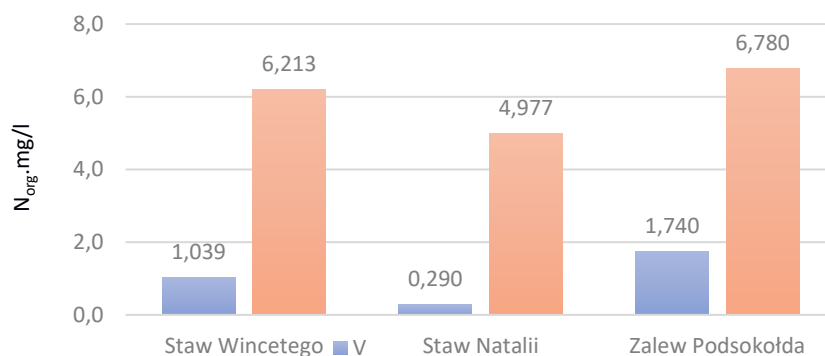
W badanych próbkach wód zgodnie z obowiązującą metodyką oznaczono (tab. 1,2) [16-26, 28-30]: pH, związki azotu [mg/l], związki węgla [mg/l] fosfor ogólny [mg/l], ChZT_{Mn} [mg/l] oraz wybrane metale ciężkie: miedź, kadm, chrom ogólny, cynk. Analizy i pomiary fizyczno-chemiczne wód wykonywano w Laboratoriach Politechniki Białostockiej Instytutu Nauk Leśnych. Analizy wykonano zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska dotyczącym „Jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi”, Rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. poz. 2294) i spełnienia wymagań normy [15,36] „Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących” oraz zgodnie z metodyką opisaną w Polskich Normach. W związku z tym, że obowiązujące Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021 r. w sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego oraz sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych, a także środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych [32], nie zawiera wartości granicznych parametrów dla zbiorników sztucznych, analizę uzyskanych próbek wód powierzchniowych dokonano na podstawie ustawy z dnia 20 lipca 2017 r. – Prawo wodne, art. 350 ust. 1 [27], które zawiera upoważnienie do wydania przepisów wykonawczych w sprawie form i sposobu prowadzenia monitoringu wód oraz zezwala na porównanie wyników badań własnych do rozporządzeń z lat wcześniejszych.

WYNIKI I DYSKUSJA

W tabeli 1 oraz na wykresach 1-4 przedstawiono wyniki badań wód powierzchniowych prowadzonych w trzech zbiornikach wodnych Nadleśnictwa Supraśl. Średnie wartości stężeń zanieczyszczeń analizowanych zbiorników porównano z wymogami dotyczącymi klasyfikacji dla prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód [34].

pH wody na badanym terenie mieściło się w zakresie od 7 do 8, co kwalifikuje je do I i II klasy jakości zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska, z dnia 11 lutego 2004 w sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu

oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód [34]. Najwyższą wartość pH wód powierzchniowych zaobserwowano w Zbiorniku Podsokołda w maju- 1 poboru (7,87). Najniższą natomiast Wartość zbliżoną do odczynu obojętnego w Zbiorniku Wincentego (7,02). Zdaniem Siwek i Lewandowskiej w wodach powierzchniowych pH wody waha się w zakresie pH: 6,5- 8,5 [6, 10, 38]. W wielu przypadkach, jednak można zauważyć kwaśny lub zasadowy odczyn wody. Powodem zakwaszenia wód powierzchniowych mogą być kwaśne deszcze, duże ilości kwasów humusowych, a także zanieczyszczenie ściekami. Wzrost pH wody może być wynikiem zanieczyszczenia wód lub intensywnego rozwoju glonów zużywających dwutlenek węgla.



Rys. 1. Porównanie średnich wartości stężenia azotu organicznego w okresie badawczym w maju i czerwcu 2022. 2023r. w Stawie Wincentego, Stawie Natalii oraz Zalewie Podsokołda
Źródło: Opracowanie własne.

Najwyższą średnią wartość azotu wykazał Zalew Podsokołda o wartości 6,78mg/l. Najniższą z kolei w maju w Stawie Natalii o wartości 4,97mg/l (rysunek 1). Na podwyższony poziom azotu organicznego w badanych próbkach wód, mógł mieć wpływ spływ powierzchniowy z okolicznych pól i łąk oraz wzrost temperatury powietrza w czerwcu. Zawartość azotu ogólnego została przekroczona niemalże we wszystkich badanych próbkach wód (graniczna wartość 1,5mg/l).

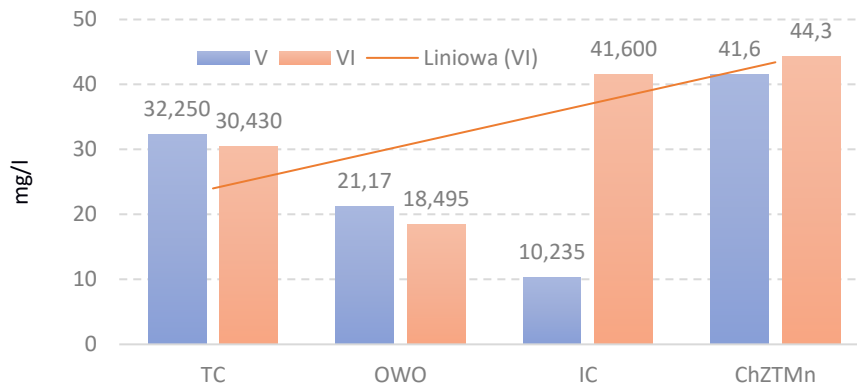
W przypadku fosforu ogólnego średnie wartości nie przekroczyły 0,1mg/l, a oscylowały w przedziale 0,01- 0,07mg/l. Zarówno w przypadku średnich wartości azotu jak i fosforu, wyższe wartości uzyskano w poborze 3 i 4 (czerwiec 2022 i 2023r.), co mogło być spowodowane wzrostem temperatury w okresie letnim oraz rozwojem roślinności wokół badanych zbiorników.

Zbyt duża ilość związków substancji biogenych w wodach, czyli związków azotu i fosforu doprowadzają do zjawiska eutrofizacji [2-3,12] Przerost tych związków powoduje zakwit glonów i sinic. Glony, które obumierają opadają na dno zbiornika i ulegają rozkładowi. Proces ten zużywa tlen, który zgromadzony jest w przydennych warstwach wody. Natomiast brak tlenu powoduje wzrost bakterii beztlenowych, które dalej rozkładają i produkują szkodliwy siarkowodor [35].

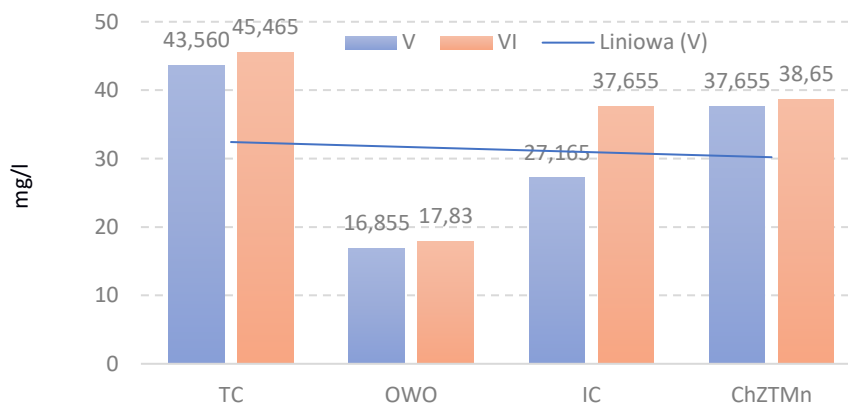
Analiza zawartości ogólnego węgla organicznego wykazała, że jego stężenie w badanych próbkach wód było zróżnicowane i wynosiło od 16,855mg/l do 47,245mg/l z całego okresu (rysunek 2,3,4). Chemiczne zapotrzebowanie na tlen wahało się od 37,655mg/l do 117,000mg/l. Najniższe średnie wartości związków węgla całkowitego, ogólnego węgla organicznego, węgla nieorganicznego wykazały próbki Zbiornika Wincentego. Z analizowanych próbek wody, najwyższe wartości związków węgla całkowitego, ogólnego węgla organicznego, węgla nieorganicznego uzyskano w przypadku próbek wody Zalewu Podsokołda. Wysoki poziom ChZT_{Mn} wiąże się z wyższym poziomem zanieczyszczeń. ChZT_{Mn} w wodzie może być wynikiem natury bądź działalności człowieka.

www.viacarpatia.pro

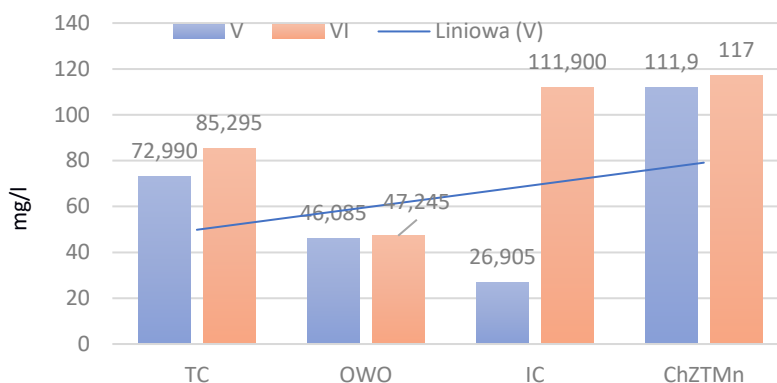
Do naturalnych zanieczyszczeń $ChZT_{Mn}$ należy m.in. rozkład glonów, opadłych liści, bądź martwych ryb. Zanieczyszczenia mogą być też spowodowane przez działalność człowieka m.in. przez przemysł czy gospodarstwa domowe, gdzie są stosowane środki czyszczące, pestycydy. Wysoki poziom $ChZT_{Mn}$ powoduje ubytki ilości tlenu z wody, niezależnie od pochodzenia $ChZT_{Mn}$. Konsekwencją tego może być liczne wymieranie organizmów wodnych.



Rys. 2. Porównanie średnich wartości stężeń związków węgla (OWO, TC, IC) oraz $ChZT_{Mn}$ w okresie badawczym w maju i czerwcu 2022 i 2023r. w Stawie Wincentego
Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 3. Porównanie średnich wartości stężeń związków węgla (OWO, TC, IC) oraz $ChZT_{Mn}$ w okresie badawczym w maju i czerwcu 2022 i 2023r. w Stawie Natalii
Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 4. Porównanie średnich wartości stężeń związków węgla (TC, OWO, IC) oraz ChZTMn w okresie badawczym w maju i czerwcu 2022 i 2023r. w Zalewie Podsołodka
Źródło: Opracowanie własne.

Wartości ChZT (chemiczne zapotrzebowanie wody na tlen) i OWO (ogólny węgiel organiczny) powstają w naturalnych źródłach, jak i poprzez działalność człowieka. Przykładem naturalnych źródeł jest rozkład opadłych liści, glonów czy martwych ryb [40-41]. W ekosystemach wodnych węgiel krąży między substancjami organicznymi i nieorganicznymi, co jest częścią obiegu węgla w przyrodzie. Chemiczne zapotrzebowanie na tlen (ChZT) powstałe w wyniku działalności człowieka wiąże się z przemysłem i gospodarstwami domowymi przez stosowanie m.in. rozpuszczalników, środków czyszczących, pestycydów, oraz przemieszczania odpadów lub recyklingu [5].

Ogólny węgiel organiczny zawiera związki węgla organicznego, które mogą być rozpuszczone w wodzie, a także występować jako zawiesina nierozpuszczona w wodzie materiału lub płynu [9,10]. Ta materia organiczna może dostawać się do wody w sposób naturalny, ale także ze źródeł i w wyniku procesów obsługiwanych przez człowieka. Przykładami substancji organicznych są substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego oraz syntetyczne, które zawierają węgiel i inne pierwiastki tworzące związki organiczne [31].

Wszystkie zbadane próbki wody nie przekroczyły wartości granicznych grupy wskaźników chemicznych, które są szczególnie szkodliwe dla środowiska. Analizowane zbiorniki klasyfikują badane próbki wód do I klasy jakości. Tereny leśne wspomagają oczyszczanie wód ze szkodliwych związków chemicznych. Metale ciężkie tj. Cu, Zn, Pb, Cr, Ni, As są najczęściej oznaczanymi w wodach powierzchniowych i gruntowych. Ulegają one w nieznacznym stopniu procesom degradacji. Źródłami pochodzenia metali ciężkich jest przedostanie się ich do środowiska wodnego m.in. z atmosfery przez intensywne opady deszczu bądź śniegu. Często także pierwiastki te są wymywane z podłoża skalnego bądź gleby. Jednak najczęściej przekroczenie dopuszczalnych stężeń spowodowane jest ich emisją z terenów przemysłowych [8,42]. Badania własne prowadzone były na obszarze niezurbanizowanym, zadrzewionym, stąd niska zawartość metali ciężkich w wodach powierzchniowych.

Tabela 1. Porównanie grupy wskaźników chemicznych charakteryzujących występowanie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego z uzyskanymi wynikami badań własnych (średnie wartości stężeń w maju i czerwcu 2022 i 2023r.)

Źródło: Opracowanie własne.

Wartości graniczne	Wskaźnik	Wartości uzyskane					
		Zbiornik Wincentego		Staw Natalii		Zalew Podsokołda	
		V	VI	V	VI	V	VI
≤0,05	Cr	0,0010	0,0007	0,0004	0,0001	0,0015	0,0002
≤1	Cu	0,0073	0,0066	0,0036	0,0030	0,0095	0,0268
≤0,05	Zn	0,0140	0,0038	0,0223	0,0001	0,0207	0,0074
0,08	Cd	0,0011	0,0000	0,0009	-	0,0002	0,0000

-brak pomiaru

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Eutrofizacja wód powierzchniowych jest jednym z zakłóceń działania ekosystemów wodnych. Proces ten zawiera nadmiar związków azotu i fosforu, co przyspiesza wzrost glonów oraz form życia roślin. Przeprowadzone badania pozwoliły ocenić jakość wód w dwóch wieloletnich, sztucznych zbiornikach na terenie Arboretum Kopna Góra oraz nowo powstałego zbiornika Zalew Podsokołda. Bliskość pól uprawnych może potęgować w przyszłości ilość fosforanów, które przedostają się do analizowanych zbiorników. Należy podkreślić, że wszystkie zbiorniki nie były dotychczas badane. Przeprowadzone badania pozwoliły ocenić możliwość wystąpienia zagrożenia eutrofizacją. Średnie wartości stężenia związków fosforu utrzymywały się na niskim poziomie (od 0,01 do 0,07mg/l). Podwyższenie ich średnich wartości zaobserwowano w czerwcu. Przyczyną ich wzrostu mogły być opady atmosferyczne, dzięki którym razem z zawieszoną glebową związki fosforu przedostały się do badanych wód. Azot ogólny niemalże we wszystkich badanych próbkach wód został przekroczony (zakres od 0,94 do 7,38mg/l). Jedynie w maju próbki wód dla Stawu Natalii nie przekroczyły wartości granicznej tj.: 1,5 mg/l. Najwyższą średnią wartość stężenia uzyskały próbki wód dla Zalewu Podsokołda. Zalew usytuowany jest przy drodze przejazdowej nieutwardzonej oraz graniczy z polami i łąkami. Zalew Podsokołda powstał w 2021 roku, co świadczy o niewykształceniu się wszystkich procesów zachodzących w wodach (niedostateczna ilość mikroorganizmów) odpowiedzialnych za samooczyszczanie się wód.

Ekosystemy leśne mają za zadanie łagodzenie i adaptację do zmian klimatu. Lasy są w stanie usunąć znaczne ilości dwutlenku węgla z atmosfery, działając jako jego pochłaniacze. Wychwytyją oraz magazynują dwutlenek węgla w biomasy leśnej. Związki węgla całkowitego we wszystkich analizowanych próbkach wód były w zakresie od 30,43 do 85,29 mg/l. Przyczyną gorszej jakości badanych parametrów wód w niespełna rocznym Zalewie Podsokołda od badanych, wieloletnich stawów Arboretum w Kopnej Górze, jest niewykształcenie się procesów odpowiedzialnych za samooczyszczanie się wód.

www.viacarpatia.pro

O tym jak ważne jest oddziaływanie między ekosystemem leśnym a gospodarką wodną świadczy niska zawartość metali ciężkich w analizowanych zbiornikach. Ich zawartość pozwoliła na klasyfikację wszystkich badanych zbiorników do I klasy czystości wód. Stan jakości wód Stawu Wincentego, Stawu Natalii oraz Zalewu Podsokołda według obowiązującego Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021 kwalifikuje je do I bądź II klasy potencjału ekologicznego.

LITERATURA

- [1]. Auclair A. N. D., Worrest R.C., Lachance D., Martin H.C. Climate perturbation as a general mechanism of forest dieback. In: Forest Decline Concept. (Eds) P.D. Manion, D. Lachance. St. Paul. Minnesota. 38-581,992, 2014.
- [2]. Adamczyk W., Jachimowski A. Wpływ składników biogenych na jakość i eutrofizację powierzchniowych wód płynących, stanowiących źródło wody pitnej Krakowa. Żywność Nauka Technologia Jakość. 20, 175-190, 2013.
- [3]. Dallas H. The effect of water temperature on aquatic organisms: A review of knowledge and methods for assessing biotic responses to temperature. 31-38, 2009.
- [4]. Ellison D. Forests and Water, Global forest Goal, 1-20, 2018.
- [5]. Gary W. VanLoon, Stephen J. Duffy. Chemia środowiska. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2007.
- [6]. Kiryłuk A. Funkcje gospodarcze i znaczenie przyrodnicze rzeki Supraśl i jej obszarów dolinowych. Przegląd Naukowy- Inżynieria i Kształtowanie Środowiska. 70.36-371, 2015.
- [7]. Kozłowski S. Zielewicz W. Obecność azotu azotanowego w roślinach i w wodzie – przeszłość i przyszłość. Wydawnictwo IMUZ, Falenty, 2009.
- [8]. Krawczyk W., Walczak J. Potencjał biogeny obornika jako źródło emisji amoniaku i zagrożenia środowiska. Roczn. Nauk. Zoot. 37.187-193, 2010.
- [9]. Mazur R., Monitoring wybranych zanieczyszczeń wód przy zastosowaniu nowych kryteriów ekotoksykologicznych, rozprawa doktorska, AGH, Kraków, 18-21, 2007.
- [10]. Melcer B. Olejnik M. Wpływ Wybranych Czynn timerów na zanieczyszczenie związkami biogenymi powierzchniowych wód płynących w zlewni baryczy. Akademia Rolnicza w Poznaniu. 59-71, 2006.
- [11]. Mioduszewski W. Mała retencja w lasach elementem kształtowania i ochrony zasobów wodnych. Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej R. 2, 2006.
- [12]. Mioduszewski W. Small water reservoirs – their function and construction. Journal of Water and Land Development. No. 17 p. 45–52. Warsaw, 2012;
- [13]. Neverova- Dziobak E., Kowalewski Z., Dynamika rozwoju procesów eutrofizacji w rzekach województwa podkarpackiego. Czasopismo inżynierii lądowej, środowiska i architektury, 47-58, 2013.
- [14]. Puchlik M., Janina Piekutin J., Dyczewska K. Analysis of the Impact of Climate Change on Surface Water Quality in North-Eastern Poland Energies, 15, 164, 2022.
- [15]. PN-EN ISO/IEC 17025, Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorujących, 2020.
- [16]. PN-EN ISO 1053:2012, Jakość wody. Oznaczanie pH, 2012.
- [17]. PN-EN ISO 6878: 2006 punkt 4 + Ap1: 2010 + Ap.2: 2010, Fosfor ogólny, 2010.
- [18]. PN-ISO 7150-1:2002, Azot amonowy, 2002.
- [19]. PN-EN 26777: 1999, Azot azotanowy, 1999.

www.viacarpatia.pro

- [20].PN-EN ISO 10304-1: 2009+ AC: 2012, Stężenie anionów, 2012.
- [21].PN-EN 26777: 1999, Stężenie azotu azotynowego, 1999.
- [22].PN-EN 25663:2001, Oznaczenie azotu Kjeldahla, 2001.
- [23].PN-EN ISO 15586: 2005, Stężenie metali. Zakres: Bar, Cynk, Glin, 2005.
- [24].PN-EN ISO 7980: 2002, Stężenie boru. Metoda spektrofotometryczna, 2002.
- [25].PN-EN ISO 8467: 2001, Indeks nadmanganianowy (utlenialność z KMnO_4), 2001.
- [26].PN-EN 1484: 1999, Stężenie ogólnego węgla organicznego (OWO), 1999.
- [27].Prawo wodne, Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. [Dz. U. 2017 poz. 1566]
- [28].PN-EN ISO 10304-1: 2009+ AC: 2012, Jakość wody -- Oznaczenie rozpuszczonych anionów za pomocą chromatografii jonowej, 2012.
- [29].PN-ISO 8288:2002, Jakość wody – Oznaczenie kobaltu, niklu, miedzi, cynku, kadmu i ołowiu – Metody atomowej spektrometrii absorpcyjnej z atomizacją w płomieniu, 2002.
- [30].PN-EN 1233: 2000 p.3, Jakość wody – Oznaczenie chromu – Metody absorpcyjnej spektrometrii atomowej. 2000.
- [31].Raczyk – Stanisławiak U., Świetlik J., Kasprzyk B., Nawrocki J.: The efficiency of different oxidation methods in total organic carbon analysis, *Chemia Analityczna*, 48 (2), s. 243 – 254, 2003.
- [32].Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021 r. w sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego oraz sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych, a także środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych.
- [33].Ramowa Dyrektywa Wodna 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 23.10.2000r.
- [34].Rozporządzenie Ministra Środowiska, z dnia 11 lutego 2004 r. w sprawie klasyfikacji do prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych i prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu wód. Dz.U. 2004 r. Nr 32, poz. 284; Nr 115, poz. 1229.
- [35].Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011 w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych.
- [36].Rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi.
- [37].Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2002 r. w sprawie kryteriów wyznaczania wód wrażliwych na zanieczyszczenie związkami azotu ze źródeł rolniczych.
- [38].Sender J., Jaruga C. Eutrofizacja wód zbiorników zaporowych oraz rola makrofitów w tym procesie. 18, 227—244, 2017.
- [39].Siemieniuk A., Szczykowska J., Wiater J., Trophic State of Small Retention Reservoirs In Podlasie Voivodeship. *Polskie Towarzystwo Inżynierii Ekologicznej* 160-167, 2017.
- [40].Skorbiłowicz E. Skorbiłowicz M., Quality of well waters in context of the content of nitrogen and phosphorus compounds in the upper Narew river valley, *Journal of Elementology*, 625–635, 2008.
- [41].Szwagrzyk J., Orczewska_A., Jaroszewicz_B. Rola lasów w bilansie węglowym oraz utrzymaniu bioróżnorodności i dobrostanu człowieka. *Polska Akademia Nauk*, 2021.
- [42].Żurek K., Samek A., Jakubas M. Oznaczenie zawartości pierwiastków Na, Mg, Fe, Cr, Mn, Zn w próbkach wody oraz mułu z jeziora metodą Atomowej Spektrometrii Absorpcyjnej (ASA), 46-57, 2021.

Od pudełka się zaczęło, czyli konstrukcje łazików marsjańskich Orion

SUMMARY

Through the Orion Project, students have gained extensive practical expertise, developing strong competencies in essential fields like mechanics, electronics, robotics, software development. Over the past decade, the Microchip Science Club has successfully navigated numerous technical challenges. Participation in the European Rover Challenge has provided invaluable experiential learning opportunities, contributing to the club's growth and expertise. The Orion Project is preparing students to address future scientific and technical challenges.

Key words – Orion, Mars, ERC, Rover, Microchip

1. WSTĘP

Eksploatacja kosmosu jest jednym z najtrudniejszych wyzwań współczesnej inżynierii. Szczególną rolę w badaniach planetarnych odgrywają łaziki marsjańskie. Projekty łazików takich jak Perseverance, Curiosity czy Spirit kosztują miliony dolarów, a koncepcje stojące za ich konstrukcją często mogą być wymyślone nawet przez studentów. Dlatego uczestnictwo w zawodach European Rover Challenge (ERC) ma na celu zwiększenie kwalifikacji studentów w wielu dziedzinach, takich jak elektronika, robotyka, mechanika i oprogramowanie.

W tej pracy zostanie omówiona historia eksploracji Marsa, zawody ERC oraz projekt Orion, który od 10 lat angażuje studentów do budowy łazików marsjańskich. Skupimy się na analizie wymagań technicznych oraz na praktycznych wyzwaniach. Przeanalizujemy również rozwiązania techniczne wykorzystywane w budowie pięciu wersji łazika Orion.

2. HISTORIA EKSPLOACJI MARSZA

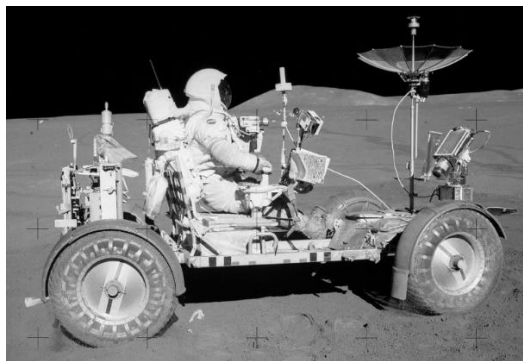
Pierwsze próby umieszczenia na powierzchni planety innej niż Ziemia maszyny, która mogłaby wykonać tam badania, zostały podjęte w latach 70 tych. Po wielu nieudanych próbach Radziecka sonda Łuna 9 wylądowała w 1966 roku na powierzchni naszego satelity. Sonda ta swoim kształtem przypominała kwiat, po wylądowaniu zamortyzowanym dzięki specjalnej poduszce powietrznej, rozchylała swoje 4 metalowe osłony, aby ustabilizować położenie. Po wylądowaniu maszyna wykonała pierwsze w historii zdjęcia powierzchni Księżyca, a także wykonała kilka sesji radiowych. Misja Łuna 17 umieściła na srebrnym globie pierwszy w historii łazik księżycowy. Łunochod, czyli „chodzący po księżycu”, który wylądował na w 1970 roku. W 1973 roku na Księżycu wylądował drugi Łunochod. Łazik ten był wyposażony w 8 kół z siatki drucianej ze sztywnymi obręczami i szprychami typu rowerowego, 4 kamery, anteny kierunkowe, spektrometry, detektor promieniowania i magnetometr. Pojazd zasilany ogniwami słonecznymi, które przymocowane były do otwieranej w dzień kłapy. Aby Łunochod nie zamarł w nocy, zastosowano system ogrzewania za pomocą izotopu

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Koło Naukowe Elektroników MICROCHIP.

² Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Koło Naukowe Elektroników MICROCHIP.
www.viacarpatia.pro

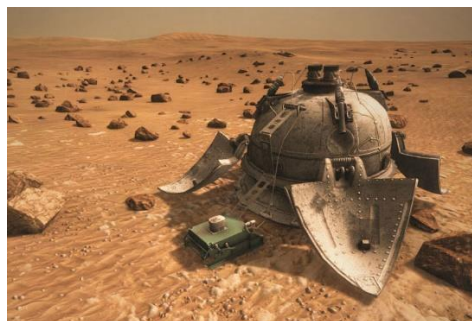
promieniotwórczego. Łunochody przesłały na Ziemię zdjęcia powierzchni Księżyca i przeprowadziły badania regolitu księżycowego. Masa pojazdów wynosiła ok. 800 kg. Poruszały się z maksymalną prędkością 2 km/h [1, 2]. Łunochod 1 przejechał dystans 10,5 km, a Łunochod 2 – 37 km.

Amerykański program kosmiczny również wysłał na Księżyc pojazdy (rys.1). Lunar Roving Vehicle (LRV) mógł przewozić dwóch astronautów z maksymalną prędkością ok. 16 km/h i miał masę całkowitą około 700 kg przy pełnym obciążeniu (masa bez ładunku wynosiła 210 kg). Ten pojazd o długości 3 metrów napędzany był za pomocą 4 silników elektrycznych (po jednym na każde koło), o łącznej mocy około 1 konia mechanicznego. LRV zasilaty znajdujące się na pokładzie baterie. Jego koła wykonane były z siatki ze sztywnymi wewnętrznymi ramami, co zapobiegało nadmiernemu ugięciu. LRV miały zdalnie sterowaną kamerę telewizyjną, co pozwalało na nagranie stanu modułu wznoszenia, gdy astronauta rozpoczynali swoją drogę powrotną na ziemię. Te pojazdy były wykorzystywane w czasie misji Apollo 15, 16 i 17 [2].



Rys. 1. LRV (misja apollo 15)
Źródło: <https://www.nasa.gov/history/alsj/>

Na Marsie jako pierwszy miękko wylądował bezzałogowy Lądownik Mars 3 w 1971 roku. Lądownik miał zbliżoną budowę do lądownika Łuny 9 i zawierał pierwszy w historii łazik marsjański - PrOP-M (rys. 2). Ten mały pojazd ważący 4.5 kg poruszał się na dwóch płaskich płozach, które podnosiły i popychały łazik do przodu. PrOP-M miał za zadanie poruszać się w polu widzenia kamer i zatrzymywać się co 1,5 metra. Łaziki te miały zamontowane penetrometry, przesyłające informacje o przeszkodach na drodze łazika, posiadające algorytm omijania obiektów. Niestety misja Mars-3 nie zakończyła się pełnym sukcesem — utracono łączność, lądownik zdołał przesłać jedynie jedno niekompletne zdjęcie powierzchni Marsa. Na podstawie obrazu udało się jedynie stwierdzić, że poziom oświetlenia terenu był niski [8, 10]. Nie wiadomo czy udało się uruchomić łazik PrOP-M.



Rys. 2. Wizualizacja PrOP-M i lądownika Mars-3
Źródło: <https://www.microsiervos.com/archivo/espacio/prop-m-rovers-sovieticos-pudieron-ser-primeros-marte.html>

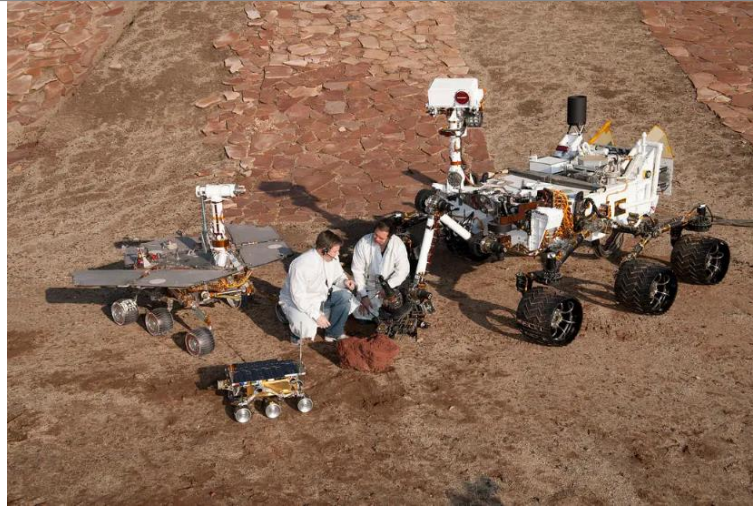
Kolejnymi lądownikami wysłanymi na Marsa były amerykańskie urządzenia Viking-1 i Viking-2, które pomyślnie wylądowały w 1976 roku. Viking-1 przesłał na Ziemię pierwsze dobrej jakości zdjęcie Marsa. Lądowniki te były stacjonarne. Ich celem była nie tyle eksploracja powierzchni Marsa, ile zebranie doświadczeń dotyczących przesyłania danych na Ziemię i metodach badania gleby Marsa [1, 2]. Badania prowadzone przez łazika Viking 1 trwały kilka lat. Celem badań było sprawdzenie możliwości zachodzenia zjawiska fotosyntezy, metabolizmu i wyzwalania gazów, badanie składu chemicznego marsjańskiej atmosfery i gruntu [3, 8, 10].

Następny lądownik wysłany w marsjańską misję to amerykański Pathfinder z łazikiem Sojourner, który wylądował w 1997 roku. Ten niewielki łazik miał sześć kół przystosowanych do jazdy po nierównym terenie. Wyposażony był w zawieszenie typu „rocker boogie”, a zasilany - za pomocą paneli słonecznych. Na pokładzie miał dwie kamery monochromatyczne z przodu służące do nawigacji oraz jedną kolorową z tyłu [10]. Łazik sterowany był z Ziemi, skąd wysyłane były do niego komendy za pośrednictwem drogi radiowej. Testował on twardość materiału, za pomocą sprężynującego ostrza. Badał również skład chemiczny skał za pomocą spektrometru. Łazik ten przesłał na ziemię 15 analiz chemicznych gruntu i 550 zdjęć, a całkowity przejechany przez niego dystans to około 100m.

Do najbardziej efektywnych misji marsjańskich zalicza się wysłanie bliźniaczych amerykańskich łazików Spirit i Opportunity. Planowano ich działanie na okres 90 dni, ale ich funkcjonowanie znacznie przekroczyło ten czas. Łazik Spirit (MER-A) wylądował 4 stycznia 2004 roku, przy pomocy spadochronu, rakiet hamujących i poduszek powietrznych. Łaziki wyposażono w trzy pary kół i zawieszenie „rocker boogie” podobne do Sojournera. Były zdecydowanie większymi i bardziej zaawansowanymi pojazdami z narzędziami: spektrometrami, urządzeniem do wiercenia i analizowania skał (Rock Abrasion Tool), magnetycznym kolektorem cząstek i wszelkiego rodzaju kamerami – od mikroskopowych po panoramiczne. Łaziki miały robotyczne ramiona, dzięki czemu mogły przykładać instrumenty badawcze bezpośrednio do skał czy gruntu. Zasilanie czerpały z paneli słonecznych, a także ładowanych baterii, dzięki czemu mogły się poruszać kiedy nie było pełnego słońca. Łazik Spirit do 2010 roku, kiedy został unieruchomiony pokonał dystans 7730,5 metra. Łazik Opportunity (MER-B) wylądował w innym kraterze 21 stycznia 2004 roku i funkcjonował do 2019 roku. Został uszkodzony w czasie burzy piaskowej [11]. Łazik Spirit wykonał setki eksperymentów naukowych. Przesłał na Ziemię wiele wysokiej jakości kolorowych zdjęć Marsa. Dokonał też pierwszego oczyszczenia skały w celu przygotowania jej do zbadania oraz wykonał badanie wnętrza skały. Spirit jako pierwszy znalazł w skale ślady obecności wody w przeszłości – wysoki poziom zawartości tlenu krzemu. Dane zebrane przez Opportunity pozwoliły potwierdzić słuszność hipotezy, że na Marsie kiedyś w przeszłości występowała woda w stanie ciekłym.

Kolejny amerykański łazik Curiosity, wylądował przy pomocy dźwigu kosmicznego w kraterze Gale’a 6 sierpnia 2012 roku. Jest on większy i bardziej zaawansowany od Spirit czy Opportunity (ma rozmiary sporego samochodu). Jest zasilany poprzez radioizotopowy generator termoelektryczny, dzięki czemu pojazd nie jest zależny od słońca. Łazik wyposażony jest w takie instrumenty badawcze jak: Mars Hand Lens Imager, spektrometr promieniowania alpha i X, dynamiczny detektor albedo neutronów. Celem łazika jest badanie przeszłości geologicznej Marsa, a przede wszystkim - roli wody w historii Marsa, aby na tej podstawie dowiedzieć się, czy planeta nadawała się kiedyś do zamieszkania przez mikroorganizmy. Od przybycia na Marsa Curiosity analizował próbki sproszkowanej gleby i skał za pomocą instrumentu CheMin, a następnie przysyłał pozyskane dane z powrotem na Ziemię. Wykrył metan w próbkach gleby oraz istnienie w przeszłości rzek na powierzchni Marsa. Niektóre znaleziska Curiosity określa się jako „dziwne” i nadal trudno określić czym dokładnie są [5]. Porównanie wielkości łazików marsjańskich Spirit, Sojourner i Curiosity zostało przedstawione na rys. 3.

www.viacarpatia.pro



Rys. 3. Porównanie wielkości 3 generacji amerykańskich łazików marsjańskich (Spirit, Sojourner i Curiosity)

Źródło <https://www.nasa.gov/image-article/three-generations-of-mars-rovers-with-engineers/>

W 2020 roku wystartował na Marsa amerykański łazik Perseverance (rys.4). Wylądował na Marsie 18 lutego 2021 roku. Bliźniaczy do Curiosity pojazd różni się od niego systemem przechowywania próbek i dronem Ingenuity, który był przystosowany jest do lotu w rzadkiej atmosferze Marsa (uległ awarii na początku 2024 roku). Zademonstrował on że lot śmigłowego pojazdu w atmosferze innej planety jest możliwy. Perseverance został też wyposażony w mikrofony do nagrywania marsjańskich dźwięków. Ostatnio Perseverance odkrył zagadkowe struktury pokrywające powierzchnię Marsa [12]. Te nietypowe skały odnalezione przez łazika mogą świadczyć o istnieniu w przeszłości wody w dużych ilościach w kraterze Jezero na Marsie. Był to kiedyś prawdopodobnie duży zbiornik wodny, do którego wpływały rzeki [4].

W 2021 roku na marsie wylądował chiński łazik Zhurong. Chiny wysłały wcześniej łaziki Yutu i Yutu 2 na księżyc. Te 6-kołowe pojazdy wykorzystujące panele słoneczne jako źródło zasilania (Yutu 2 i Zhurong) są jedynymi działającymi łazikami pochodzącymi z innego kraju niż USA. Chińskie łaziki mają na pokładzie radar do badania gruntu, analizatory cząstek, a także wiele różnych kamer.



Rys. 4. „Selfie” łazika Perseverance i drona Ingenuity

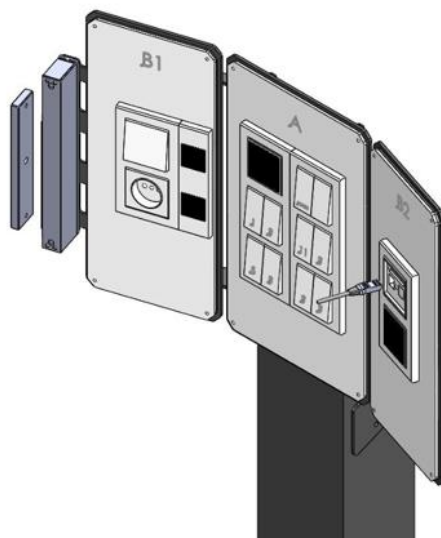
Źródło: NASA NASA/JPL-Caltech/MSSS / AFP

3. ZAWODY ERC

European Rover Challenge (ERC) to międzynarodowy konkurs technologiczny skupiający się na robotyce i eksploracji kosmosu. To coroczne wydarzenie przyciąga zespoły studenckie z różnych zakątków świata, które rywalizują, projektując i budując marsjańskie łaziki. Te zawody są nie tylko testem umiejętności inżynierskich i naukowych, ale także praktycznym laboratorium innowacji w dziedzinie technologii kosmicznych.

ERC obejmuje szereg skomplikowanych zadań, odzwierciedlających rzeczywiste wyzwania, przed którymi stoją marsjańskie łaziki. Jednym z najważniejszych zadań jest nawigacja autonomiczna, w której łaziki muszą poruszać się po różnorodnym terenie, identyfikować i omijać przeszkody bez bezpośredniego sterowania przez operatorów. Kolejnym kluczowym zadaniem jest „Science Task”, które polega na zbieraniu i analizie próbek gleby. To zadanie wymaga od zespołów głębokiej wiedzy geologicznej oraz umiejętności wykorzystania różnorodnych sensorów i narzędzi analitycznych zamontowanych na łaziku.

Kolejnym znaczącym wyzwaniem jest "Maintenance Task", które skupia się na wykonywaniu operacji serwisowych. Łaziki muszą precyzyjnie obsługiwać narzędzia, przeprowadzać naprawy oraz wymieniać komponenty, co wymaga od konstruktorów zaawansowanych umiejętności mechanicznych i programistycznych. To zadanie symuluje konieczność wykonywania precyzyjnych operacji w trudno dostępnych miejscach, co jest kluczowe dla przyszłych misji kosmicznych. Panel używany w czasie tej konkurencji jest przedstawiony na rys. 5 [6,7].



Rys. 5. Panel używany w „Maintenance Task”
Źródło: European Rover Challenge: <https://roverchallenge.eu/>

W ramach „Probing Task” zespoły mają na celu pokazanie zdolności łazików do szybkiego zbierania próbek do celów naukowych oraz dostarczania zebranych próbek do modułu, który ma je przetransportować z powrotem na Ziemię do badań. Jest oparte na takich misjach jak MSR – Mars Sample Return (misja NASA mająca na celu zbieranie próbek z łazika Perseverance) oraz SFR – Sample Fetch Rover (ESA). Teren marsjański, na którym przeprowadzane zawody ERC przedstawiony na rys. 6.



Rys. 6. Przykładowy „Mars Yard” (Teren Marsa) na zawodach ERC 2023
Źródło: European Rover Challenge: <https://roverchallenge.eu/>

Ostatnim, lecz równie ważnym zadaniem jest „Presentation Task”, w którym zespoły muszą zaprezentować swoje projekty przed panelem ekspertów. Ocena obejmuje zarówno aspekty techniczne, jak i innowacyjność oraz potencjał zastosowania rozwiązań w rzeczywistych misjach kosmicznych. Zadanie to sprawdza nie tylko umiejętności techniczne, ale również zdolność do komunikacji i prezentacji skomplikowanych zagadnień inżynierskich w sposób zrozumiały [6,7].

4. PROJEKT ORION

Orion to projekt łazika marsjańskiego prowadzony przez koło naukowe Microchip na Politechnice Lubelskiej. W ciągu 10 lat istnienia projektu autorzy uczestniczył w dwóch edycjach zawodów ERC w 2015 i 2016 roku. W obu tych edycjach zajęli 18 miejsce. Problemy i rozwiązania, przez które przeszli, zostaną przedstawione poniżej.

4.1. ORION 0 - ORION 4

Orion 0 to testowa wersja łazika marsjańskiego, która została zbudowana z pudełka po butach w 2014 roku, jest przedstawiona na rys.7. Łazik miał ramię o 5 stopniach swobody. Tylko przednie dwa koła były napędzane przez silniki elektryczne.

Pierwszym łazikiem, który uczestniczył w zawodach ERC, był Orion 1 (rys. 8). Łazik miał podwozie z 8 kołami o średnicy 24 cm, napędzane przez silniki szczotkowe 24V. Każde z czterech oddzielnych zawiesznień miało dwa koła. Całe podwozie było zbudowane z profili aluminiowych o wymiarach 1200x800x403mm.

Manipulator, wykonany z profili aluminiowych i elementów drukowanych, napędzany przez dwa siłowniki liniowe o maksymalnej sile ciągnięcia 1500N, miał 6 stopni swobody. Chwytnak był całkowicie wydrukowany z filamentu PLA i napędzany przez serwo o momencie obrotowym 15 kg/cm. Maszt umieszczony z tyłu łazika odpowiadał za komunikację łazika z bazą.



Rys. 7. Orion 0.

Źródło: Opracowanie własne

Maksymalna waga łożnika wynosiła 50 kg, a komunikacja odbywała się za pomocą Wi-Fi 2,4GHz, co będzie stosowane we wszystkich przyszłych wersjach łożnika. 18 miejsce na zawodach ERC 2015 było spowodowane nieprawidłowym zaprojektowaniem płytki odpowiadającej za poruszanie łożnika, dlatego udział jedynie w kategorii „Maintenance Task” przyniósł zespołowi punkty.

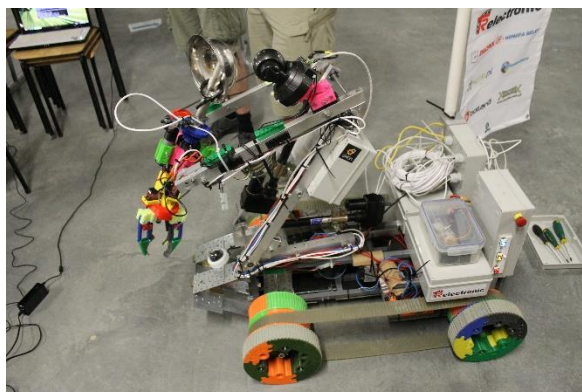


Rys. 8. Orion 1

Źródło: Opracowanie własne

Łazik marsjański Orion 2 został zbudowany na podwoziu gąsienicowym (rys.9). Wykorzystanie tego typu podwozia ma swoje zalety i wady w porównaniu do podwozia z kołami.

Zdolność przełajowa podwozia gąsienicowego jest większa na trudnym terenie, zwłaszcza na piasku. Cały łożnik jest bardziej stabilny, co zmniejsza ryzyko przewrócenia. Jednak wady tego podwozia okazały się kluczowym problemem, którego nie udało się rozwiązać przed zawodami ERC 2016, na które zakwalifikowano się z tym łożnikiem.



Rys. 9. Orion 2

Źródło: Opracowanie własne

Głównym problemem tego podwozia była możliwość wciągnięcia kamienia między łańcuch a koło napędowe lub rolkę jezdną. Ten problem wystąpił podczas wykonywania zadania na zawodach, w wyniku czego doszło do uszkodzenia napędu i braku możliwości udziału w kolejnych konkurencjach.

Kolejna wersja łożnika nie brała udziału w zawodach ERC (rys. 10), była jedynie testową wersją do sprawdzenia podwozia z czterema napędzanymi kołami. Po przeprowadzeniu testów stwierdziliśmy, że cztery koła napędowe bez odpowiedniego zawieszenia nie mogą być używane w trudnym terenie.



Rys. 10. Orion 3

Źródło: Opracowanie własne

Orion 4 to łożnik głównie wykorzystywany podczas wydarzeń okolicznościowych ze względu na jego mniejszą masę i rozmiary (rys. 11). Sterowanie odbywa się za pomocą modułu Bluetooth.



Rys. 11. Orion 4
Źródło: Opracowanie własne

4.2. ORION V

Orion V to piąta wersja łożnika Orion (rys. 12). Składa się z podwozia, ramienia i modułu do pobierania próbek z głębokości. Główną cechą piątej wersji łożnika Orion jest modułowa konstrukcja. Takie rozwiązanie pozwala na łatwiejszą konserwację oraz możliwość modyfikacji łożnika w przyszłości. Do budowy łożnika, aby zmniejszyć jego masę, wykorzystano głównie elementy drukowane i profile aluminiowe.

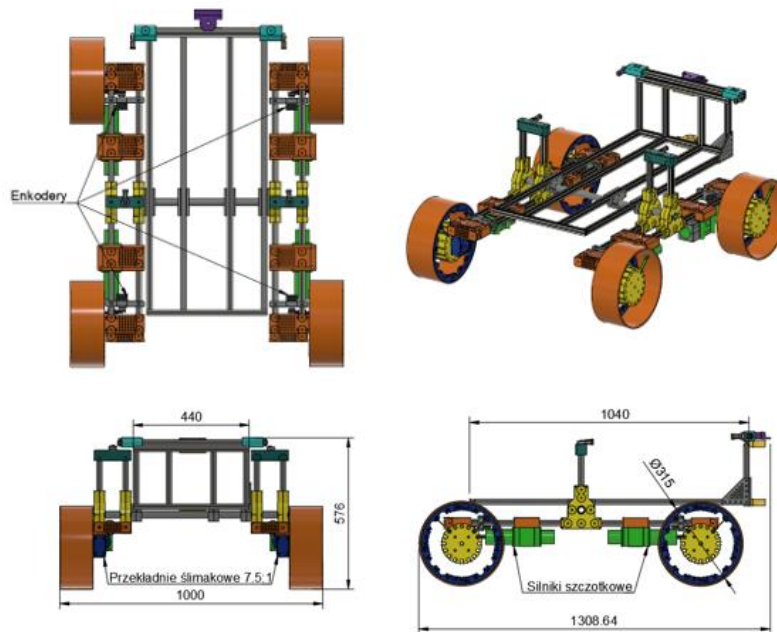


Rys. 12. Orion V i CAD model łożnika
Źródło: Opracowanie własne

4.2.1. PODWOZIE

Łażnik Orion V posiada zawieszenie typu Rocker (rys. 13). Dwa ramiona wahaczy są przymocowane do centralnego punktu podwozia i mogą obracać się wokół tego połączenia. Centralna dźwignia, również połączona z podwoziem, może obracać się wokół swojego środka. Oba ramiona wahaczy zespolono z dźwignią za pomocą cięgieł. Taka konfiguracja tworzy pasywny układ zawieszenia kinematycznego, który umożliwia obrót ramion wahaczy względem podwozia. To uproszczone rozwiązanie zwiększa mobilność, pozwalając łożnikowi na pokonywanie przeszkód większych niż

średnica jego kół. Dodatkowo zapewnia zgodność z podłożem, gwarantując, że wszystkie cztery koła utrzymują kontakt z gruntem, co jest kluczowe przy przemieszczaniu się po nierównym terenie.

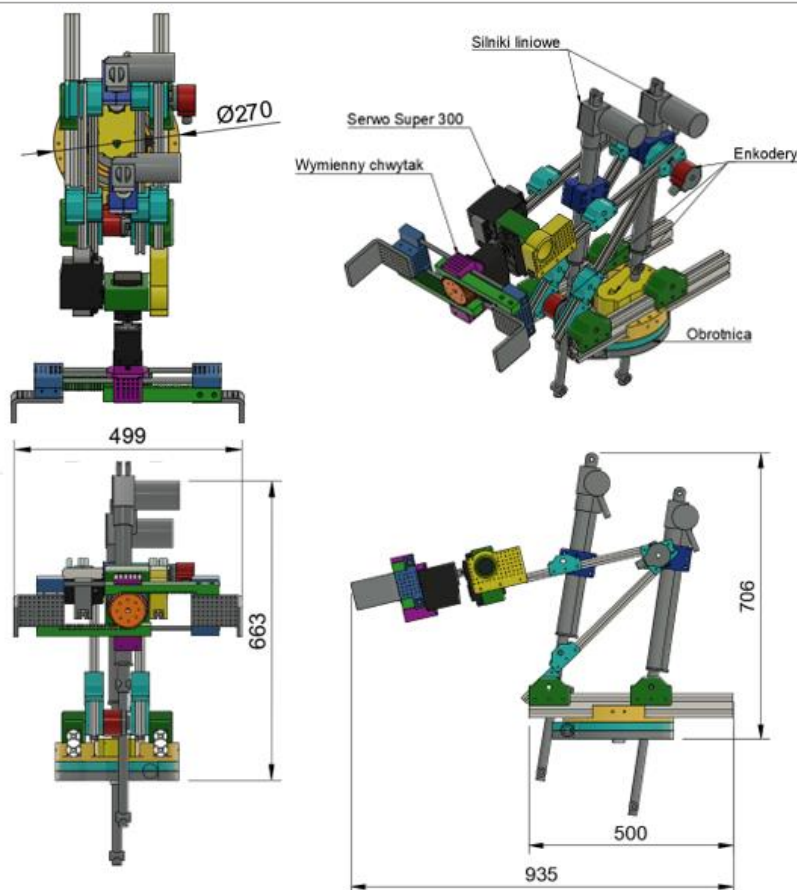


Rys. 13. CAD model podwozia z zawieszeniem typu rocker Orion V
Źródło: Opracowanie własne

System zawieszenia jest zbudowany z profili aluminiowych i części drukowanych w technologii 3D, co zapewnia solidną, a jednocześnie stosunkowo lekką konstrukcję łożyska. Każde koło jest napędzane własnym silnikiem szczotkowym zintegrowanym z przekładniami planetarnymi i przekładnią ślimakową 7,5:1. Maksymalna prędkość łożyska jest regulowana za pomocą oprogramowania.

4.2.2. MANIPULATOR

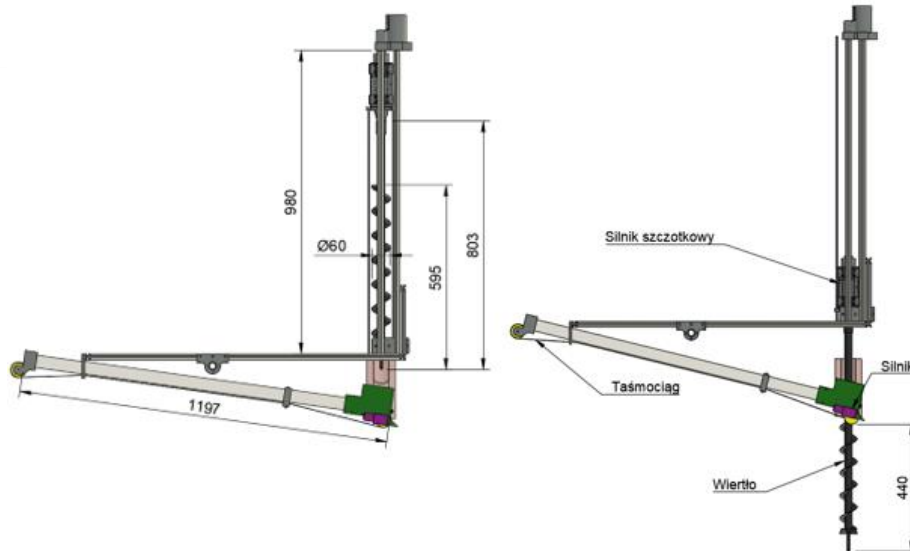
Manipulator z trzema stopniami swobody został zbudowany z połączenia profili aluminiowych i komponentów drukowanych w technologii 3D, co gwarantuje trwałość i lekkość konstrukcji (rys. 14). Manipulator ma możliwość wymiany chwytaków, co zwiększa liczbę stopni swobody do sześciu. Obracająca się baza, wykonana z drukowanych części, umożliwia szybką wymianę uszkodzonych elementów oraz posiada własnoręcznie wykonane obrotowe złącze pierścieniowe. Dwa główne przeguby są sterowane przez elektryczne siłowniki liniowe o udźwigu 1500 N, co pozwala na podnoszenie ciężkich próbek z ziemi. Trzy enkodery na głównej ramie i trzy na chwytaku umożliwiają precyzyjne operacje manipulatorem.



Rys. 14. CAD model manipulatora Orion V
Źródło: Opracowanie własne

4.2.3. MODUŁ BADANIA I POBIERANIA PRÓBEK

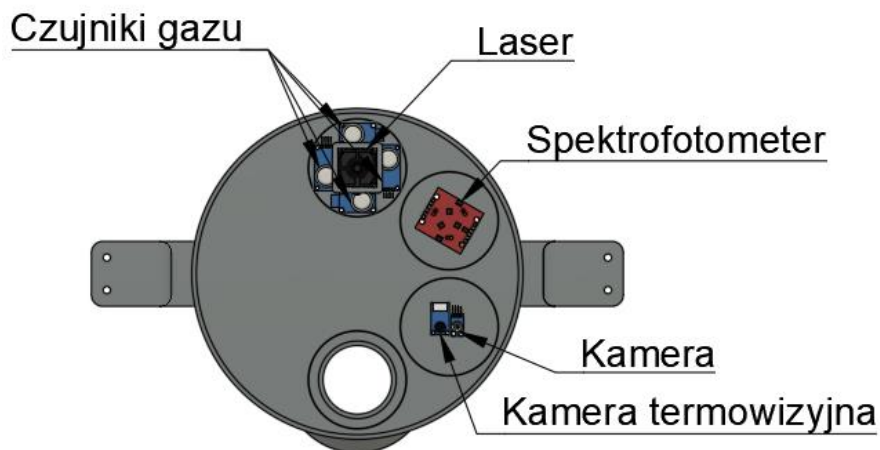
System składa się z modułu głębokiego pobierania próbek i modułu pojemników na próbki. Moduł głębokiego pobierania próbek zawiera wiertło o długości 50 cm oraz taśmociąg do przenoszenia próbek na przód łożyska (rys.15). Takie rozwiązanie pozwala na sprawdzanie, podczas ruchu taśmociągu, zgromadzonych próbek oraz na zmianę kierunku jego ruchu, umożliwiając zebranie tylko niezbędnych próbek. Moduł pojemników na próbki jest skonstruowany na wzór bębna rewolwerowego i może pomieścić 6 próbek w plastikowych pojemnikach, przy czym w każdym miejscu przeprowadzane są różne testy. System ten umożliwi przeprowadzanie pomiarów próbek za pomocą sensorów do analizy gazu, temperatury, spektroskopii i licznika Geigera. Do pomiaru wagi z dokładnością do 0,25g zostanie wykorzystany tensometr. Aby uzyskać lepsze wyniki w testach gazowych, będzie używany laser do spalania części próbki. Moc lasera będzie ściśle ograniczona, a sam laser zostanie umieszczony w zamkniętej metalowej komorze, aby zminimalizować ryzyko pożaru.



Rys. 15. Moduł głębokiego pobierania próbek w stanie początkowym i końcowym
Źródło: Opracowanie własne



Rys. 16. Moduł badania próbek bez pokrywy i z pokrywą
Źródło: Opracowanie własne



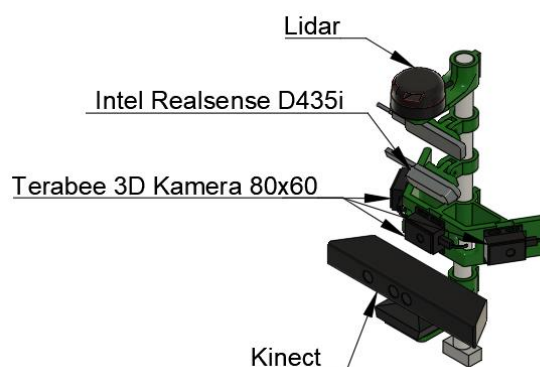
Rys. 17. Widok od dołu modułu badania próbek
Źródło: Opracowanie własne

4.2.4. SYSTEM NAWIGACJI

Moduł nawigacyjny łożnika został zaprojektowany, aby zapewnić precyzyjne i efektywne poruszanie się oraz wizję w terenie podczas zadań nawigacyjnych i naukowych. Moduł ten integruje trzy typy kamer: kamery wyposażone w funkcje śledzenia ruchu i modelowania 3D, sensory LIDAR oraz sensor Kinect, przeznaczony specjalnie do nawigacji nocnej. Wysoka pozycja modułu zapewnia doskonały widok na otoczenie łożnika.

Zwykłe kamery służą jako główne sensory wizualne, rejestrując obrazy w czasie rzeczywistym do wspomnianych zadań. Kamery z funkcjami śledzenia ruchu i modelowania 3D dokładnie mapują teren w trzech wymiarach, co ułatwia precyzyjną nawigację, wykrywanie przeszkód i obiektów.

Aby zapewnić płynne wsparcie wizualne w warunkach słabego oświetlenia, moduł wyposażony jest w sensor Kinect, który wykorzystuje fale podczerwone do wykrywania przeszkód i cech terenu, umożliwiając łożnikowi bezpieczną i autonomiczną nawigację oraz operacje w ciemności. Moduł nawigacyjny będzie umieszczony na szczycie masztu/platformy wiertniczej.



Rys. 18. System nawigacji
Źródło: Opracowanie własne

5. PODSUMOWANIE

Projekt łożnika marsjańskiego Orion, realizowany przez Koło Naukowe Elektroników MICROCHIP na Politechnice Lubelskiej, stanowi doskonały przykład interdyscyplinarnej pracy studentów nad zaawansowanymi technologiami kosmicznymi. W ciągu ostatnich 10 lat studenci stworzyli pięć wersji łożnika. Każda z nich wносиła nowe rozwiązania techniczne i ulepszenia.

Praca nad projektem Orion pozwoliła studentom na zdobycie praktycznych umiejętności w dziedzinie mechaniki, elektroniki, robotyki, technologiach programowania i analizy danych. W trakcie 10 lat projektowania i budowy łożników marsjańskich, członkowie Koła Naukowego Elektroników MICROCHIP zmierzali się z wieloma wyzwaniami, co umożliwiło im opracowanie innowacyjnych rozwiązań technicznych.

Udział w zawodach European Rover Challenge (ERC) był cennym doświadczeniem, które pozwoliło studentom na porównanie swoich umiejętności i wiedzy z zespołami z całego świata. Pomimo różnych problemów technicznych, każda kolejna wersja łożnika Orion wprowadzała nowe rozwiązania i usprawnienia, co przyczyniało się do rozwoju projektu.

Projekt Orion podkreśla znaczenie angażowania studentów w praktyczne projekty inżynierskie, które mogą przyczynić się do postępu w technologii kosmicznej. Dzięki temu studenci są lepiej przygotowani

www.viacarpatia.pro

na przyszłe wyzwania zawodowe i mogą wносить innowacyjne rozwiązania do rzeczywistych misji kosmicznych.

Autorzy mają nadzieję, że przyszłe wersje łazika Orion będą kontynuować tradycję stosowania innowacyjności i doskonałości, inspirując kolejne pokolenia inżynierów.

LITERATURA

- [1] Aliberti M., Lisitsyna K., *Russia's Posture in Space*, Springer, 2019
- [2] Asnani V., Delap D., Creager C., *The development of wheels for the Lunar Roving Vehicle*, Journal of Terramechanics 46.3, 2009
- [3] Bogusz P., *Z efektem Mössbauera na Marsie*, Acta Societatis Meteoriticae Polonorum 11, 2020
- [4] Chip, *Dziwne obiekty na powierzchni Marsa. Naukowcy próbują wyjaśnić, skąd się tam wzięły*, <https://www.chip.pl/2024/06/lazik-perseverance-mars-zagadkowe-objekty>, dostęp dnia 26.06.2024 roku
- [5] Döbelin N., Archer R., Tu V., *A free and open-source solution for Rietveld refinement of XRD data from the CheMin instrument onboard the Mars rover Curiosity*, Planetary and Space Science, 2022
- [6] European Rover Challenge. <https://roverchallenge.eu/>, dostęp dnia 26.06.2024 roku
- [7] European Rover Challenge: *ERC 2024. Rules*, rev. 2.1, 2024
- [8] Hurnik H., *45 lat badań Marsa. Przegląd misji marsjańskich (Streszczenie)*, Acta Societatis Meteoriticae Polonorum 1, 2009
- [9] Kosmosnews. *Phoenix - marsjański lądownik* <https://www.kosmosnews.pl/3/5/phoenix-marjanski-ladownik/>, dostęp dnia 26.06.2024 roku
- [10] Kotlarz J., Zalewska N., *Algorytmika wyznaczania względnej pozycji łazików marsjańskich*, Pomiary Automatyka Robotyka, R. 19, 2015
- [11] National Aeronautics and Space Administration, *Mars Exploration Rovers: Spirit and Opportunity*, science.nasa.gov/mission/mars-exploration-rovers-spirit-and-opportunity/. 2024 r., dostęp dnia 26.06.2024 roku
- [12] Patel P. i inne, *Geometric Properties of Water-ice Clouds as Observed from Jezero Crater in the First 600 sols with the NavCam Instrument On Board the Mars2020 Rover, Perseverance*, The Planetary Science Journal 4.12, 2023

Kolej na społeczność: Adaptacja pokolejowych obszarów do nowych funkcji publicznych – studium przypadków

SUMMARY

The article examines the potential for repurposing abandoned railway infrastructure in a way that benefits local communities. It considers the architectural challenges and opportunities for socio-cultural revitalisation. Case studies illustrate how historical railway heritage can be integrated with contemporary public requirements in a way that is sensitive to the surrounding environment. The article emphasises the importance of social engagement and sustainable practices for reducing environmental impact and fostering urban biodiversity. The findings offer valuable guidance for urban planners and policymakers involved in the revitalisation of post-industrial sites.

Key words – adaptation, revalorisation, revitalisation, accessibility, space, post-railway areas

WSTĘP

Problematyka ochrony materialnych świadectw minionej epoki, do których można przyporządkować infrastrukturę kolejową, skłania do dyskusji zwłaszcza w kontekście ochrony widokowej i krajobrazowej. W artykule przedstawiono kompleksowe podejście do przekształcania terenów pokolejowych na potrzeby lokalnych społeczności. Proces rewitalizacji takich obszarów jest nie tylko wyzwaniem architektonicznym, ale także szansą na ożywienie społeczno-kulturalne miast. Na przykładzie wybranych projektów z różnych regionów omówiono strategie adaptacyjne, które integrują historyczne dziedzictwo kolejowe z nowoczesnymi funkcjami publicznymi. Autorzy artykułu analizują różnorodne aspekty tego procesu, w tym zachowanie istniejących struktur architektonicznych, adaptację do nowych funkcji oraz tworzenie przestrzeni sprzyjających interakcjom społecznym. Wskazują również na znaczenie partycypacji społecznej w planowaniu i realizacji projektów rewitalizacyjnych.

Szczególną uwagę poświęcono zrównoważonym rozwiązaniom, które minimalizują wpływ na środowisko naturalne, a jednocześnie maksymalizują korzyści dla mieszkańców. Wyniki badań pokazują, że odpowiednio zaprojektowana i przeprowadzona rewitalizacja terenów pokolejowych może prowadzić do stworzenia dynamicznych, wielofunkcyjnych przestrzeni, które stają się centrami życia społecznego. Przedstawione wnioski mogą stanowić cenne wskazówki dla architektów, urbanistów i decydentów zaangażowanych w procesy rewitalizacji obszarów postindustrialnych.

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury, Koło Naukowe Architektury Współczesnej

² Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury, Koło Naukowe Architektury Współczesnej

³ Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury, Koło Naukowe Architektury Współczesnej

⁴ Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury, Katedra Architektury Współczesnej

TEORIE PRZEKSZTAŁCENŃ PRZESTRZENI ZDEGRADOWANYCH

Terenami zdegradowanymi określić można przestrzenie, które zostały opuszczone, są słabo wykorzystywane, bądź uległy względnemu pogorszeniu zagospodarowania. Obszary te mają rzeczywisty bądź subiektywny problem z zanieczyszczeniami i zlokalizowane są głównie w ośrodkach miejskich. Dalsza ich eksploatacja, dająca wyraźne korzyści, możliwa jest tylko dzięki uprzedniej interwencji przystosowującej te tereny do ponownego wykorzystania [1]. Degradacja ta jest wynikiem wielu czynników które przez długi okres wpływają na pogorszenie stanu przestrzeni. Do podstawowych przyczyn zaliczyć możemy zaniedbanie, niewłaściwe użytkowanie, zmiany gospodarcze i społeczne oraz brak odpowiedniej infrastruktury. Przyczyn możemy dopatrywać się także w niskiej świadomości społecznej, która przejawia się w niedocenieniu ich wartości zabytkowej.

Redegradacja terenów zdeprecjonowanych obejmuje trzy główne kierunki, które są nieodzowne w procesie postępowania odnowy i przystosowania do nowych funkcji: rewitalizację, rewaloryzację i adaptację. Rewitalizacja jest procesem odwrotnym do degradacji - oznacza ożywienie, przywrócenie do świetności obszarów zdekapitalizowanych [1]. Pojęcie to wymaga interdyscyplinarnego podejścia i kompleksowego uwzględnienia dziedzin, które składają się na poprawne funkcjonowanie terenów [2]. Rewitalizacja jest więc kompleksowym, skoordynowanym i wieloletnim procesem przemian przestrzennych, technicznych, społecznych i ekonomicznych, prowadzonych na określonym obszarze przez samorząd terytorialny, głównie lokalny, w celu wyprowadzenia tego obszaru ze stanu kryzysowego. Rewitalizacją obejmuje się zdegradowane obszary, nie pojedyncze budynki, nie ogranicza się jedynie do remontu budynków czy infrastruktury, musi uwzględniać aspekty ekonomiczne i społeczne danego obszaru [3, 4]. Rewaloryzacja jest jednym z zabiegów rewitalizacji, wiąże się z wyeksponowaniem walorów historycznych obiektów lub ich zespołu. Jednocześnie rewaloryzacja wiąże się z modernizacją i adaptacją przestrzeni do potrzeb i wymagań współczesnych użytkowników. Rewaloryzacja to działanie na formę, czyli jej urbanistyczną i materialną bazę, strukturę, obejmującą urbanistyczne, prawne, wychowawcze, socjalne i ekonomiczne elementy, oraz naturalne środowisko, w tym krajobraz, zanieczyszczenie i regionalne planowanie. Wszystkie te działania mają na celu ochronę i poprawę obrazu miasta, aby mogło ono służyć obecnym i przyszłym pokoleniom jako miejsce pełne życia, wartości historycznych i społecznych [5].

Adaptacja zabytków to proces przystosowania historycznych budowli do nowych funkcji, które są zgodne z obecnymi potrzebami użytkowymi i normami cywilizacyjnymi. Staje się to koniecznością, ponieważ wiele zabytkowych obiektów utraciło swoje pierwotne funkcje z różnych powodów, takich jak zmiany w sposobie życia, rozwój technologii czy zmieniające się potrzeby społeczeństwa. Proces adaptacji obejmuje modernizację techniczną jak i przekształcenia funkcjonalne, polegające na zmianie układów przestrzennych i funkcjonalnych wewnątrz, aby dostosować je do nowych użytkowników i spełniały aktualne standardy i potrzeby. W ramach adaptacji zabytków często wprowadza się uzupełnienia kubaturowe, czyli dodawanie nowych elementów budowlanych do istniejących struktur. Adaptacja zabytków jest nie tylko koniecznością z punktu widzenia użytkowego, ale także szansą na zachowanie i ożywienie historycznych budowli. Dzięki starannie przeprowadzonym procesom adaptacyjnym, zabytki mogą nadal pełnić ważne funkcje w życiu społecznym i kulturalnym, jednocześnie zachowując swoje historyczne i kulturowe znaczenie [6].

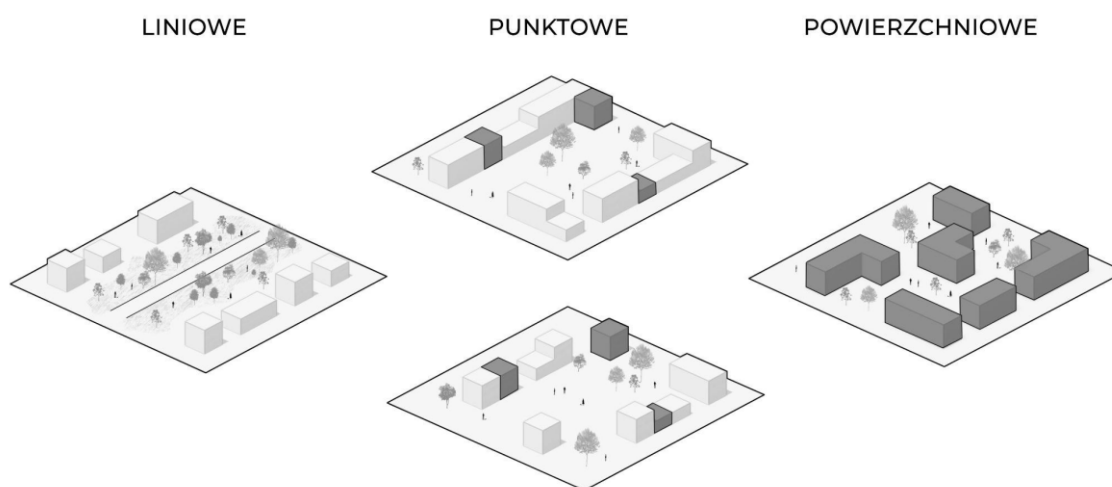
ZNACZENIE PRZESTRZENI PUBLICZNYCH W TKANCE MIEJSKIEJ

Miasta to dynamicznie rozwijające się organizmy, w których przestrzenie publiczne pełnią kluczową rolę jako katalizatory relacji społecznych i integracji. Proces przekształcania obszarów przemysłowych w przestrzenie publiczne nie tylko nadaje tym terenom nową funkcję, ale także przyczynia się do tworzenia nowych więzi w tkance miejskiej.

Obszary pokolejowe, będące ważnym elementem dziedzictwa kulturowego i przemysłowego miast, często zajmują atrakcyjne lokalizacje w centrach miast i charakteryzują się znacznym potencjałem. Te zapomniane tereny kolejowe, zazwyczaj położone w centralnych częściach miast, mogą być adaptowane do funkcji kulturalnych i administracyjnych, co zwiększa ich wartość i przydatność [7].

WSPÓŁCZESNE TENDENCJE W KSZTAŁTOWANIU PRZESTRZENI MIEJSKICH

Rewitalizowane tereny pokolejowe powinny być projektowane w sposób zapewniający dostępność dla wszystkich grup społecznych, w tym osób starszych, niepełnosprawnych czy rodzin z dziećmi. Opracowana koncepcja powinna powstawać we współpracy z odbiorcami danej przestrzeni w celu zapewnienia jak najbardziej optymalnych warunków [8]. Odpowiednie zagospodarowanie, mała architektura i zieleń sprzyjają integracji i inkluzji społecznej [9]. Istotne w projektowaniu przestrzeni miejskich jest zapewnienie miejsc sprzyjających wypoczynkowi. W strukturze miast niewiele jest obszarów, które mogłyby zostać przeobrażone na tereny rekreacyjne. Obszarem, który stwarza szanse na wprowadzenie zieleni w strukturę miasta są przestrzenie przemysłowe w szczególności pokolejowe. Mogą stać się one zielonym kręgosłupem miasta poprawiając jego mikroklimat i zwiększając bioróżnorodność [10].



Rys. 1. Schemat form przestrzennych w procesie regradacji terenów pokolejowych
Źródło: Opracowanie własne

Obszary kolejowe powstawały głównie w odpowiedzi na rozwój sieci transportowych i potrzeby efektywnego przemieszczania ludzi oraz towarów w XIX i XX wieku. Wraz z intensywną ekspansją miast, węzły kolejowe pełniły kluczową rolę jako punkty przelotowe i centra gospodarcze, jednakże, w miarę upływu czasu i zmieniających się trendów urbanistycznych oraz technologicznych, wiele z tych obszarów straciło na znaczeniu. Przyczyną ich opuszczenia były zmiany w infrastrukturze

transportowej, jak również rozwój alternatywnych form transportu oraz relokacja funkcji przemysłowych poza miejskie centra [8]. W rezultacie przestrzenie te dziś mimo wielkiego potencjału tożsamości miejsca miast są obszarami nieużytkowanymi.

Istnieje jednak wiele przykładów udanych rewitalizacji obszarów kolejowych, które skutecznie rozwiązały problem ich nieużytkowania, poprzez zastosowanie odpowiednich strategii planistycznych i interwencji urbanistycznych. W opracowywanym studium przypadków z licznych analizowanych przykładów wyselekcjonowano realizacje, które skupiają się na różnych skalach interwencji projektowych. Badania te skupiają się na procesach rewaloryzacji infrastruktury pokolejowej, adaptacji istniejących budynków oraz kompleksowych projektach urbanistycznych. Analiza wyników podzielona została na trzy główne obszary: pierwszy dotyczy interwencji na poziomie mikroskali, są to punktowe zabiegi kreujące przestrzenie miejskie np. w miejscu nieużytkowanych torów kolejowych. Kolejny obszar koncentruje się na interwencjach na poziomie mezoskali, gdzie adaptowane są kompleksy obiektów pokolejowych. Ostatni obszar analizy stanowią interwencje na poziomie makroskali, czyli rewitalizacje całych kwartałów urbanistycznych, uwzględniające tło infrastruktury kolejowej (Rys. 1).

Celem niniejszego artykułu jest zbadanie znaczenia przestrzeni publicznych w tkance miejskiej oraz ocena skuteczności przekształceń obszarów pokolejowych na potrzeby współczesnych społeczności. Metodologia obejmuje analizę studiów przypadków, które ilustrują różnorodne podejścia do rewitalizacji terenów pokolejowych. Dodatkowo, w artykule omówiono studium przypadku warsztatów „PRZESTRZEN” we Wrocławiu.

HIGH LINE, NOWY JORK

High Line jest przykładem rewaloryzacji na poziomie mikroskali, dawnej linii kolejowej na podwyższeniu, która przebiega przez zachodnią stronę Manhattanu w Nowym Jorku. Projekt adaptacji tego obszaru przestrzeni miejskiej obejmował nie tylko przemianę infrastruktury kolejowej na park linearny, ale także kompleksowe zagospodarowanie terenu zgodnie z zasadami nowoczesnej architektury miejskiej.



Rys. 2. High Line, Nowy Jork, USA

Źródło: Shutterstock, <https://www.timeout.com/newyork/parks/highline>, 2023

Projekt jest swoistego rodzaju palimpsestem nowej formy przestrzeni publicznej, na *świadku historii* którym jest nieużytkowana linia kolejowa. Twórcy w harmonijny sposób uzupełniają istniejącą infrastrukturę o ciąg pieszo-jezdny i małą architekturę (Rys. 2). Przestrzeń nabiera formę parku liniowego, osadzonego na dawnej estakadzie kolejowej [12].

LOCOMOTIVE WORKSHOP, SOUTH EVELEIGH, SYDNEY

Locomotive Workshop (Rys. 3), położone w South Eveleigh w Sydney, to historyczne miejsce o bogatej przeszłości związanej z przemysłem kolejowym. Zbudowane w latach 1880-1907 jako kompleks warsztatów i lokomotywni, pełniło rolę centrum obsługi i napraw dla lokalnej linii kolejowej. Wraz z postępem technologicznym i zmianami w sektorze transportu, znaczenie tych warsztatów zaczęło maleć. W 1988 roku Locomotive Workshop zostało zamknięte, a tereny pozostały opuszczone.

W późniejszych latach kompleks został poddany rewitalizacji na poziomie mezoskali, przekształcając się w nowoczesne centrum biurowe i przestrzeń kulturalną. Rewitalizacja obejmowała zarówno renowację istniejących struktur, jak i wprowadzenie nowych kubatur, które harmonijnie współgrają z zabytkowymi budynkami. Proces ten nie tylko przywrócił życie temu obszarowi, ale także zachował jego historyczne dziedzictwo, wpływając na kontekst miejsca i nadając mu unikalny charakter [13].



Rys. 3. Locomotive Workshop, South Eveleigh, Sydney
Źródło: Sissons Architects, www.architectureau.com, 2019

WOLNE TORY, POZNAŃ

Projekt zagospodarowania terenu Wolnych Torów w Poznaniu to przedsięwzięcie, które ma na celu przekształcenie opuszczonych terenów kolejowych i poprzemysłowych w nową, wielofunkcyjną dzielnicę miasta (Rys. 4). Tereny te zostały częściowo rozebrane i nieeksploatowane, pozostawiając po sobie pustki w krajobrazie miasta. Wizja przestrzeni Wolnych Torów obejmuje nie tylko ożywienie tego obszaru poprzez nowe funkcje mieszkalne, usługowe i rekreacyjne, ale również odwołanie się do dziedzictwa przemysłowego, które definiowało to miejsce przez lata. Przekształcenie terenów kolejowych w nowoczesną dzielnicę miasta stanowi nie tylko krok w kierunku poprawy jakości życia

www.viacarpatia.pro

mieszkańców, ale także kontynuację historii i kultury miejsca, które kiedyś było sercem przemysłowej działalności w Poznaniu.

Jest to przykład urbanistycznego podejścia do rewitalizacji obszarów pokolejowych w makroskali, który obejmuje cały kwartał zabudowy. Taki kompleksowy projekt ilustruje, jak rewitalizacja na dużą skalę może tchnąć nowe życie w zapomniane tereny, jednocześnie zachowując ich unikalny charakter i dziedzictwo [14].



Rys. 4. Wizualizacja przyszłej zabudowy Wolnych Torów
Źródło: Poznań.pl, www.gloswielkopolski.pl, 2019

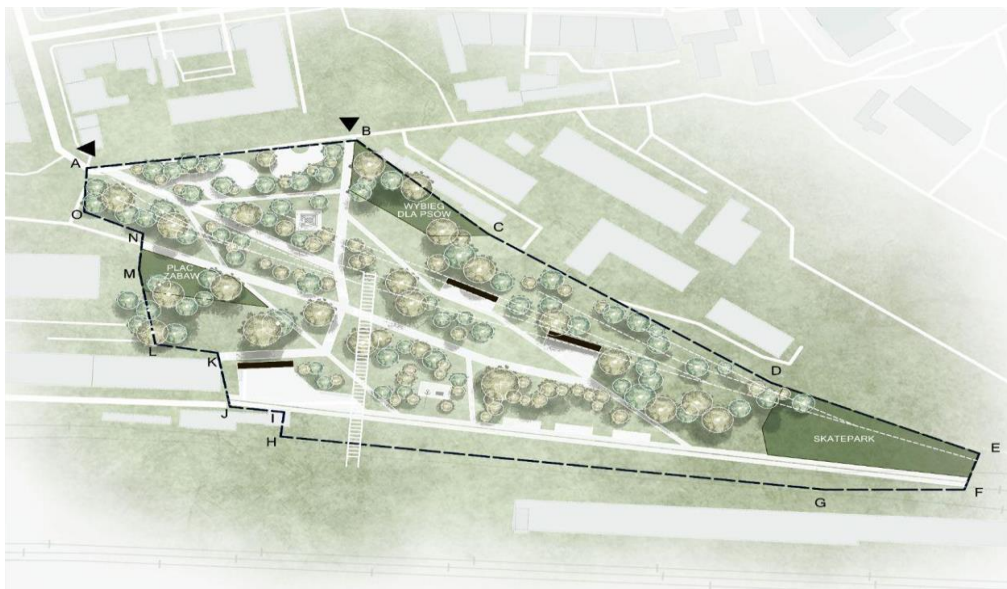
STUDIUM PRZYPADKU – WARSZTATY PRZESTRZEŃ

Warsztaty „PRZESTRZEŃ”, zorganizowane przez Koło Naukowe Architektury Współczesnej przy Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej, stanowią modelowy przykład współpracy akademickiej i lokalnej w zakresie adaptacji terenów pokolejowych do nowych funkcji publicznych. Odbyły się one we Wrocławiu, z udziałem członków Koła Naukowo-Badawczego GIS im. dr inż. Józefa Woźniaka, funkcjonującego przy Wydziale Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej, oraz przedstawicieli innych kół naukowych z Uniwersytetu Wrocławskiego, takich jak Koło Naukowe Gospodarki Przestrzennej i Koło Naukowe Studentów Geografii, a także Centrum Aktywności Lokalnej.

Celem warsztatów było zdobycie nowej wiedzy oraz wymiana doświadczeń i umiejętności na poziomie ogólnokrajowym, ze szczególnym naciskiem na rozwiązywanie problemów przestrzennych na terenach pokolejowych we Wrocławiu oraz adaptację tych przestrzeni do zmian klimatycznych. W szczególności zwrócono uwagę na dostępność przestrzeni publicznych dla wszystkich grup społecznych, w tym osób starszych, niepełnosprawnych oraz rodzin z dziećmi.

Interdyscyplinarna współpraca pomiędzy uczelniami i wsparcie finansowe uczelni i zewnętrznych podmiotów umożliwiły realizację założonych celów oraz przyczyniły się do rozwoju miejskiej przestrzeni we Wrocławiu. Zaangażowanie członków różnych kół naukowych i instytucji społecznych uwypukliło konieczność interdyscyplinarnego podejścia do adaptacji przestrzeni miejskich. Efektem warsztatów było opracowanie koncepcji zagospodarowania przestrzennego Parku Oławskiego, co stanowi praktyczne zastosowanie zdobytej wiedzy w rzeczywistym środowisku. Główne założenia projektu opierały się na partycypacji społecznej, dostępności oraz zrównoważonym rozwoju.

Holistyczne podejście umożliwiło zaprojektowanie inkluzywnej i przyjaznej użytkownikom przestrzeni miejskiej (Rys. 5). Podczas warsztatów przeprowadzono liczne konsultacje i rozmowy z mieszkańcami oraz ekspertami z różnych dziedzin, co pozwoliło na lepsze zrozumienie potrzeb i oczekiwań społeczności. Dyskusje te były niezbędne do opracowania koncepcji, która nie tylko odpowiada na aktualne wyzwania, ale także uwzględnia przyszłe potrzeby użytkowników. Dzięki temu projekt odzwierciedla realne potrzeby społeczności, co zwiększa szanse na jego sukces i akceptację przez mieszkańców.



Rys. 5. Schemat zagospodarowania terenu dla terenów pokolejowych we Wrocławiu powstały podczas warsztatów
Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 6. Wizualizacje dla terenów pokolejowych we Wrocławiu
Źródło: Opracowanie własne.

Projekt obejmował przekształcenie dużego nieużytku w centralnej części miasta w park, który wzbogaci istniejącą sieć zielonych przestrzeni miejskich. Teren, dotychczas niewykorzystywany, został przeprojektowany na bezpieczną strefę spaceru, relaksu i spotkań.

Projekt ten jest przykładem innowacyjnych rozwiązań urbanistycznych, które mogą znacząco poprawić jakość życia mieszkańców oraz wspierać zrównoważony rozwój miast. Wizualizacje opracowane podczas warsztatów ukazują, jak efektywnie i kreatywnie można zagospodarować przestrzenie pokolejowe, aby służyły współczesnym potrzebom społeczeństwa (Rys. 6). Projekt podkreśla znaczenie współpracy między różnymi podmiotami oraz integracji wiedzy teoretycznej z praktycznym zastosowaniem, co jest kluczowym elementem sukcesu w realizacji podobnych inicjatyw urbanistycznych.

PODSUMOWANIE

Artykuł przedstawia, w jaki sposób przestrzenie, które kiedyś stanowiły kluczowe elementy infrastruktury transportowej, mogą być przekształcone w funkcjonalne i integracyjne przestrzenie publiczne. Takie przekształcenie wspiera rozwój społeczny, kulturalny oraz ekologiczny miast. Rewitalizacja obszarów pokolejowych, zazwyczaj zlokalizowanych w strategicznych punktach miast, jest istotnym aspektem współczesnej urbanistyki. Właściwe zagospodarowanie tych terenów może znacząco przyczynić się do integracji społecznej i poprawy jakości życia mieszkańców. Przykłady takie jak High Line w Nowym Jorku, Locomotive Workshop w Sydney czy Wolne Tory w Poznaniu pokazują skuteczność rewitalizacji na różnych poziomach interwencji – od mikroskali do makroskali.

Studium przypadku warsztatów „PRZESTRZEŃ” we Wrocławiu ilustruje interdyscyplinarne podejście do adaptacji przestrzeni miejskich. Dzięki współpracy między różnymi instytucjami akademickimi i społecznymi oraz wsparciu finansowemu zewnętrznych podmiotów, udało się stworzyć koncepcję zagospodarowania przestrzennego, uwzględniającą potrzeby różnych grup społecznych, w tym osób z niepełnosprawnościami. Projekt ten podkreśla znaczenie partycypacji społecznej i zrównoważonego rozwoju w procesach urbanistycznych.

Artykuł wskazuje, że skuteczna rewitalizacja terenów pokolejowych wymaga nie tylko odpowiednich strategii planistycznych, ale także aktywnego zaangażowania społeczności lokalnych. Dzięki swojej historycznej wartości i przestrzennemu potencjałowi, tereny te mogą stać się katalizatorami pozytywnych zmian w tkance miejskiej. Ważne jest, aby procesy te były realizowane w sposób inkluzywny i zrównoważony, co zapewni ich trwałość i funkcjonalność dla przyszłych pokoleń a także chroni dziedzictwo kulturowe i przemysłowe miast, przyczyniając się do tworzenia harmonijnej i funkcjonalnej tkanki miejskiej.

LITERATURA

- [1] Prusik M., Żróbek R., *Wielowymiarowość procesu rewitalizacji w ujęciu metodycznym*, Acta Sci. Pol., Administratio Locorum 13 (3), 2014
- [2] Boryczka E., Przygodzki Z., (red.), *EkoMiasto #Zarządzanie Zrównoważony, inteligentny i partycypacyjny rozwój miasta; Rewitalizacja miasta*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, 2016
- [3] Stowarzyszenie Forum Rewitalizacji, <http://www.forumrewitalizacji.pl/artykuly/15/38/Rewitalizacja-podstawowe-pojecia>, dostęp dnia 20.06.2024
- [4] Bazuń D., *Rewitalizacja jako obszar współpracy międzysektorowej*, Rocznik Lubuski, Lubuskie Towarzystwo Naukowe, 2017

-
- [5] Michałowski A., *Strategie rewaloryzacji miast w Polsce i innych krajach*, Ośrodek Ochrony Zabytkowego Krajobrazu Narodowa Instytucja Kultury, Warszawa, 2000
- [6] Molski P., Szmygin B.(red.), *Adaptacja obiektów zabytkowych do współczesnych funkcji użytkowych. Adaptacja- formy i uwarunkowania*, Lubelskie Towarzystwo Naukowe Międzynarodowa Rada Ochrony ICOMOS Politechnika Lubelska, Warszawa- Lublin, 2009
- [7] Cegłowska A., Matykowski R., *Przestrzenie publicznej ich znaczenie w dużym mieście: przypadek Poznania*, Studia Miejskie, Tom 2, 2010
- [8] Rajek- Kwiatek M., *Partycypacja i inkluzja społeczna jako wymiana polityki rewitalizacji miejskiej*, Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, sectio K – Politologia, no. 1, 2020
- [9] Makowska B., *Nowe tendencje w projektowaniu przestrzeni publicznych*, Architektura czasopismo techniczne, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 2010
- [10] Pluta K., *Projektowanie urbanistyczne jako narzędzie kształtowania przestrzeni publicznych w procesie rewitalizacji terenów przemysłowych i kolejowych*, Czasopismo techniczne, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2012
- [11] Sutkowska E., *Współczesny kształt i znaczenie zieleni miejskiej jako zielonej przestrzeni publicznej w strukturze miasta- przestrzeń dla kreacji*, Teka Komisji Architektury, Urbanistyki i Studiów Krajobrazowych, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej Polska Akademia Nauk, Oddział w Lublinie, Lublin 2006
- [12] High Line, <https://www.thehighline.org/>, dostęp dnia 20.06.2024
- [13] South Eveleigh Locomotive Workshop, <https://www.southeveleigh.com/explore/heritage/places-of-south-eveleigh/locomotive-workshops>, dostęp dnia 20.06.2024
- [14] Wolne tory Poznań, <https://www.poznan.pl/wolnetory/>, dostęp dnia 20.06.2024

Model zerowymiarowy jako podstawa optymalizacji wysokosprawnego pojazdu

SUMMARY

This paper presents a model of a high performance vehicle hydro designed for the shell eco marathon competition. The model is based on physical zero-dimensional modules, taking into account mechanical, electrical and control aspects. The aim of the developed model is to optimise the vehicle design. The model has been used to determine the average and peak power required to complete a run and to determine the energy efficiency of the current design.

Key words – Vehicle, Hybrid, Optimization, Model, Simulation

WSTĘP

W obliczu globalnych wyzwań związanych ze zmianami klimatycznymi oraz rosnącą świadomością ekologiczną, konieczność obniżenia emisji gazów cieplarnianych i toksycznych przez pojazdy samochodowe staje się priorytetem dla przemysłu motoryzacyjnego. Tradycyjne pojazdy napędzane silnikami spalinowymi są głównym źródłem emisji dwutlenku węgla (CO₂) oraz innych szkodliwych substancji, takich jak tlenki azotu (NO_x) i cząstki stałe. Według danych Międzynarodowej Agencji Energetycznej (IEA), sektor transportu odpowiada za około 24% globalnych emisji CO₂ związanych z energią. Wprowadzenie surowszych regulacji emisji oraz polityk zachęcających do rozwoju pojazdów niskoemisyjnych ma na celu zmniejszenie negatywnego wpływu transportu na środowisko [9].

W odpowiedzi na te wyzwania, inżynierowie oraz naukowcy intensywnie pracują nad różnorodnymi strategiami mającymi na celu redukcję emisji przez optymalizację konstrukcji pojazdów. Prowadzone jest to zarówno przez zmniejszenie masy oraz oporów ruchu pojazdów, a także wprowadzenie nowych układów napędowych, takich jak hybrydowe i wodorowe.

Zastosowanie narzędzi do optymalizacji opartych na symulacjach jest szeroko stosowaną praktyką. Skuteczne projektowanie aerodynamiczne może znacznie zredukować opory powietrza, co w konsekwencji obniża zużycie paliwa i emisje. Przykładem jest zastosowanie zaawansowanych technik CFD (Computational Fluid Dynamics), które pozwalają na precyzyjną analizę przepływów powietrza wokół pojazdu i identyfikację obszarów wymagających ulepszeń [8]. Pozwala to na zidentyfikowanie obszarów generujących największe opory oraz przeprojektowanie tych miejsc w celu poprawy przepływu.

Redukcja masy pojazdu jest kolejnym kluczowym czynnikiem wpływającym na efektywność energetyczną. Wykorzystanie lekkich materiałów kompozytowych, takich jak włókna węglowe i aluminium, pozwala na znaczne zmniejszenie masy konstrukcji pojazdu bez kompromisu dla jego wytrzymałości i bezpieczeństwa [3]. Dodatkowo, minimalizacja oporów toczenia poprzez zastosowanie

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Termodynamiki, Mechaniki Płynów i Napędów Lotniczych

² Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Studenckie Koło Naukowe Napędów Lotniczych

³ Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Studenckie Koło Naukowe Napędów Lotniczych

⁴ Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Studenckie Koło Naukowe Napędów Lotniczych

opon o niskim oporze toczenia oraz optymalizacja układu zawieszenia również przyczynia się do obniżenia zużycia paliwa [5].

Wprowadzenie hybrydowych i wodorowych układów napędowych stanowi także ważny krok w kierunku redukcji emisji. Pojazdy hybrydowe, które łączą silniki spalinowe z elektrycznymi, oferują znaczące korzyści w zakresie efektywności paliwowej oraz emisji, pozwalając na prace zespołu spalinowego w optymalnym dla niego punkcie oraz na odzyskiwanie energii z hamowania pojazdem, normalnie traconej na ciepło w układzie hamulcowym [2]. Wymaga to jednak odpowiedniego sterowania całym zespołem napędowym dodatkowo z uwzględnieniem warunków jazdy i stylu jazdy kierowcy.

Bardzo ciekawym kierunkiem jest zastosowanie paliw zeroemisyjnych lub paliw syntetycznych. Najbardziej rozpowszechnionym podejściem, i jednocześnie najbardziej zaawansowanym technicznie jest zasilanie pojazdów paliwem wodorowym. Pojazdy zasilane wodorem, wykorzystujące ogniwa paliwowe do produkcji energii elektrycznej, są już w ofercie kilku koncernów samochodowych i oferują zerową emisję zanieczyszczeń podczas eksploatacji. Jednak optymalizacja pracy ogniw paliwowych oraz efektywne zarządzanie zasobami wodoru są kluczowe dla zwiększenia ich wydajności i niezawodności. Wynika to z dwóch istotnych faktów. Po pierwsze gęstość energetyczna wodoru jest bardzo mała z jednostki objętości, gdyż powoduje konieczność przechowywania albo pod wysokimi ciśnieniami albo w formie skroplonej. Prowadzi to do dużej masy i objętości układu zbiorników, a co za tym idzie ograniczenia ilości paliwa przewożonego w pojeździe. Po drugie ogniwa paliwowe pracują najbardziej wydajnie przy stałym obciążeniu, a tracą na swej wydajności przy obciążeniu zmiennym [1]. Ze względu na dużą zmienność zapotrzebowania na energię w czasie ruchu pojazdu, szczególnie przy ruchu miejskim, konieczne jest wprowadzenie magazynu energii, który pozwoli na złagodzenie tych zmian [10]. Dlatego też pojazdy napędzane wodorem są pojazdami hybrydowymi, gdzie oprócz ogniwa wodorowego zabudowany jest zestaw baterii lub superkondensatorów.

W pojazdach hybrydowych i wodorowych, optymalizacja zarządzania energią obejmuje skomplikowane algorytmy sterujące, które uwzględniają różne tryby pracy pojazdu, poziom naładowania baterii, warunki jazdy oraz styl jazdy kierowcy. Zaawansowane systemy zarządzania energią (EMS – Energy Management Systems) wykorzystują dane w czasie rzeczywistym, aby dynamicznie dostosowywać strategię zarządzania energią w celu maksymalizacji efektywności energetycznej [6]. Rozwój tych algorytmów wymaga jednak prowadzenia prac badawczych, bardzo często opartych na symulacjach. W tym celu jest wykorzystywane modelowanie zerowymiarowe [3]. Zerowymiarowe modele pozwalają na uproszczoną, ale jednocześnie wystarczająco dokładną symulację procesów zachodzących w obiekcie. Dzięki temu możliwe jest szybkie przeprowadzanie licznych symulacji, które pomagają w identyfikacji optymalnych parametrów operacyjnych oraz strategii zarządzania energią [7].

Niniejszy artykuł opisuje model zerowymiarowy pojazdu hybrydowego napędzanego ogniwem wodorowym. Obejmuje on jednak model fizyczny samego pojazdu bez modelowania układu zasilania w energię elektryczną.

OBIEKT BADAŃ

Hydros (rys. 1) jest prototypowym pojazdem rozwijanym przez studentów SKN Napędów Lotniczych działającego na Politechnice Lubelskiej, w celu osiągnięcia jak najlepszych wyników zużycia energii na międzynarodowych zawodach Shell Eco Marathon w klasie prototypów wodorowych. Pojazd ma hybrydowy układ napędowy: źródłem zasilania jest wodorowe ogniwo paliwowe PEM zasilające

www.viacarpatia.pro

zestaw superkondensatorów. Napęd stanowi silnik elektryczny prądu stałego. Podstawowe dane techniczne zawarto w tabeli 1.



Rys. 1. Prototypowy pojazd Hydros napędzany hybrydowym układem napędowym
Źródło: Opracowanie własne.

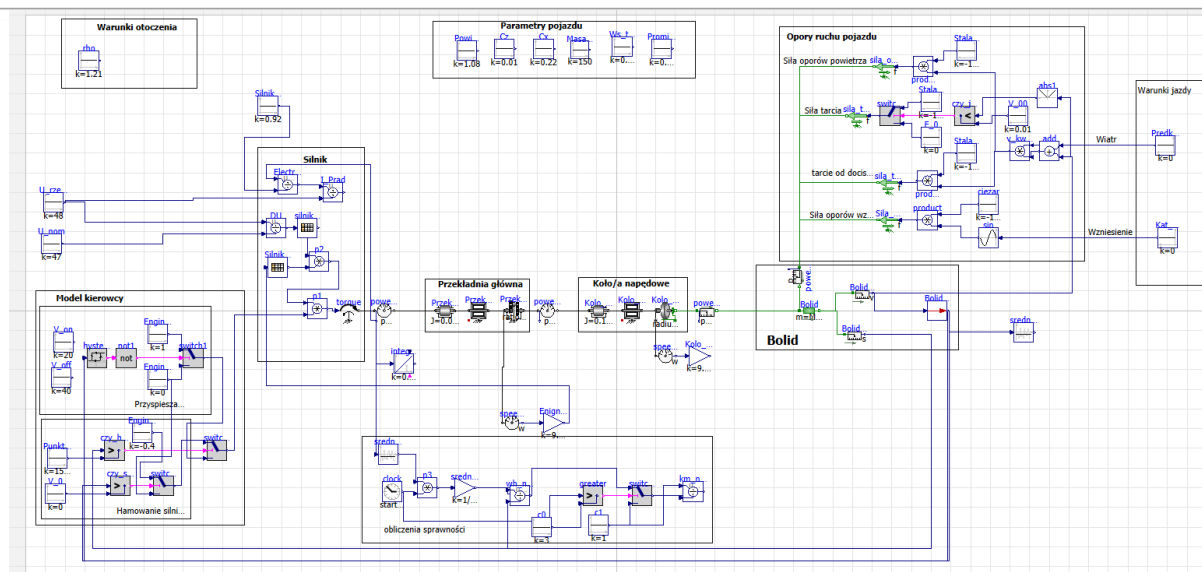
Tabela 1. Parametry techniczne pojazdu Hydros

Lp.	Parametr	Wartość
1	Masa własna pojazdu	35 kg
2	Masa pojazdu z kierowcą	85 kg
3	Wymiary: Długość Szerokość Wysokość	2920 mm 680 mm 625 mm
4	Współczynnik oporów powietrza	0,106
5	Moc silnika	600W
6	Ogniwo paliwowe	Horizon 300 o mocy 300 W

Źródło: Opracowanie własne.

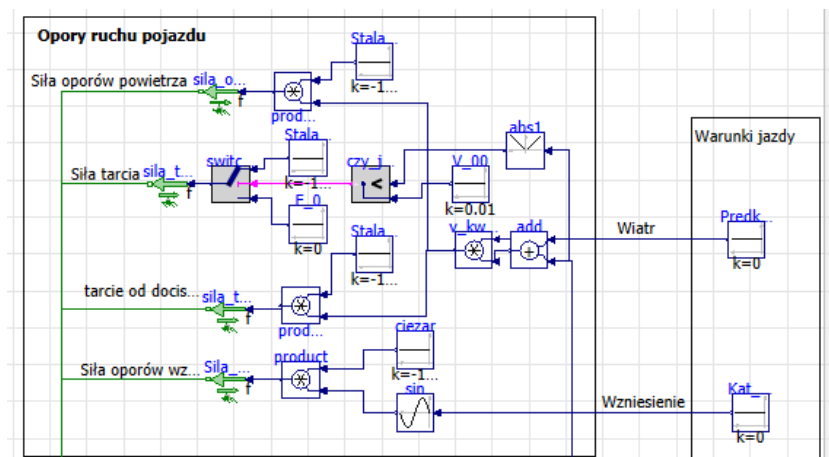
OPIS MODELU

Model opracowano w oprogramowaniu OpenModelica wykorzystując jego standardowe biblioteki modeli fizycznych oraz funkcji matematycznych. Schemat modelu przedstawiono na rysunku 2 **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.** Do opracowania modelu użyto standardowych bibliotek sekcji komponentów mechanicznych oraz bloków matematycznych i logicznych. Model opracowano jako uproszczenie pojazdu do skupionej masy na którą działają siły napędowe (pochodzącego z modelu koła napędowego) oraz siły wynikające z oporów ruchu. Siła napędowa na kołach jest wyznaczana na podstawie momentu napędowego od silnika działającego przez przekładnię główną. Model uzupełniono o model logiczny działania kierowcy mający na celu realizację założonego profilu jazdy.



Rys. 2. Model zerowymiarowy platformy
Źródło: Opracowanie własne.

Siły oporu działające na pojazd opisano jako zestaw 4 sił wynikających z tarcia kół o podłoże, oporów powietrza oraz oporów wynikających ze zmiany wysokości (zmiany energii potencjalnej pojazdu). W modelu (rys. 3) uwzględniono także zwiększenie docisku pojazdu na skutek działania aerodynamicznej siły dociskowej, mającej skutek w zwiększeniu oporów toczenia.



Rys. 3. Moduł Oporów ruchu pojazdu
Źródło: Opracowanie własne.

Przyjęto następujący model:

$$F_o = F_a + F_t + F_w + F_d$$

Gdzie:

F_o – siła oporów ruchu pojazdu [N]

F_a – siła oporów aerodynamicznych ruchu pojazdu [N]

F_t – siła oporów tarcia ruchu pojazdu [N]

F_w – siła oporów wznoszenia [N]

F_d – siła oporów tarcia powstała z docisku aerodynamicznego podczas ruchu pojazdu [N]

www.viacarpatia.pro

Poszczególne siły wyznaczane są jako:

F_a – siła oporów aerodynamicznych ruchu pojazdu [N]

$$F_a = \frac{1}{2} \cdot A \cdot c_x \cdot \rho \cdot (V_p + V_w)^2 \quad (1)$$

Gdzie:

A – powierzchnia czołowa pojazdu [m^2]

c_x – współczynnik oporów powietrza [-]

ρ – gęstość powietrza [kg/m^3]

V_p – prędkość pojazdu [m/s]

V_w – prędkość wiatru oddziałującego na pojazd [m/s]

F_t – siła oporów tarcia ruchu pojazdu [N]

$$F_t = m \cdot g \cdot \mu \quad (2)$$

Gdzie:

m – masa pojazdu [kg]

g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2]

μ – współczynnik tarcia [-]

F_w – siła oporów wznoszenia [N]

$$F_w = m \cdot g \cdot \sin \alpha \quad (3)$$

m – masa pojazdu [kg]

g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2]

α – kąt pochylenia drogi po osi ruchu [rad]

F_d – siła oporów tarcia powstała z docisku aerodynamicznego podczas ruchu pojazdu [N]

$$F_d = \frac{1}{2} A \cdot c_z \cdot \rho \cdot \mu \cdot (V_p + V_w)^2 \quad (4)$$

Gdzie:

A – powierzchnia czołowa pojazdu [m^2]

c_z – współczynnik siły docisku [-]

ρ – gęstość powietrza [kg/m^3]

V_p – prędkość pojazdu [m/s]

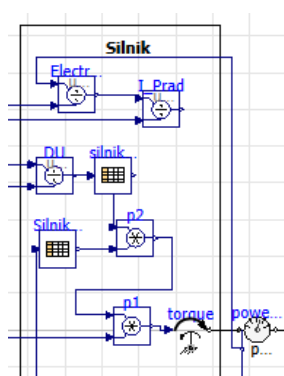
V_w – prędkość wiatru oddziałującego na pojazd [m/s]

μ – współczynnik tarcia [-]

Za siłę napędową odpowiada model złożony z trzech elementów: modułu momentu bezwładności, modułu oporów w układzie łożysk oraz modułu koła jezdnego. Przyjęto moduł idealnego koła jezdnego o zadanym promieniu r wynikającym z parametrów, przekładającego moment napędowy na siłę www.viacarpatia.pro

napędową pojazdu. Ponieważ moduł ten nie uwzględnia strat mechanicznych oraz bezwładności elementów ruchomych uzupełniono go o dodatkowe dwa komponenty. Pierwszy z nich to moduł tarcia w łożyskach przyjęty jako moduł uwzględniający nie tylko tarcie w łożyskach koła ale także w łożyskach półosi oraz w mechanizmie różnicowym. Drugi moduł to momentu bezwładności obejmujący masowe momenty bezwładności wszystkich elementów zespołu koła (mechanizm różnicowy, półosie, koła).

Za dostarczenie momentu napędowego odpowiada model silnika elektrycznego z przekładnią łańcuchową. Także i w tym przypadku zamodelowano to w postaci grupy elementów składającej się z przekładni idealnej o założonym przełożeniu oraz modułu tarcia w łożyskach. Dodano także moduł momentu bezwładności obejmujący masowe momenty bezwładności wszystkich elementów zespołu przekładni. Na obecnym etapie budowy modelu silnik elektryczny zastąpiono modelem empirycznym składającym się z zadajnika momentu obrotowego podającego moment napędowy do przekładni głównej w wielkości wyznaczonej z przyjętej uproszczonej charakterystyki silnika jako funkcji momentu od prędkości obrotowej silnika (rys. 4).

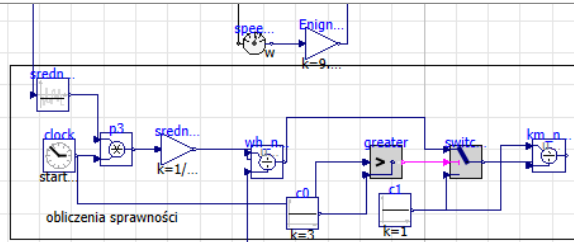


Rys. 4. Moduł silnika
Źródło: Opracowanie własne.

Dodatkowo wartość momentu jest uzależniona od sterowania przez kierowcę. Jest to zrealizowane przez moduł mnożący wartość wyznaczonego momentu przez współczynnik sterowania wyznaczany z modułu symulatora kierowcy. Pozwala to zarówno na włączanie i wyłączanie napędu bez stosowania modelu sprzęgła oraz przełączanie z napędu na rekuperację energii.

Aby możliwa była realizacja scenariusza badawczego model pojazdu uzupełniono o model kierowcy. Moduł ten opracowano jako moduł logiczny mający za zadanie wykonania zakładanego scenariusza jazdy na podstawie działania modelu całego pojazdu. Moduł ten przyspiesza do zadanej prędkości maksymalnej a po jej uzyskaniu odłącza napęd pozwalając pojazdowi na swobodne zwalnianie do założonej prędkości minimalnej, przy której ponownie zostaje włączony napęd.

Ze względu na cel symulacji, jakim jest określenie efektywności energetycznej pojazdu model uzupełniono o moduł obliczania sprawności. Zadaniem tego modułu jest wyznaczanie parametrów jakościowych działania pojazdu (rys. 5). Ponieważ głównym zadaniem opracowanego modelu jest optymalizacja energetyczna pojazdu konieczne jest wyznaczenie łącznego zużycia energii [Wh] na wykonanie zadanej trajektorii ruchu oraz jego średniej wartości [W]. Dodatkowo obliczany jest wskaźnik porównawczy zgodny z wymogami zawodów w postaci dystansu pokonanego na jednostce energii wyrażony w [km/kWh].



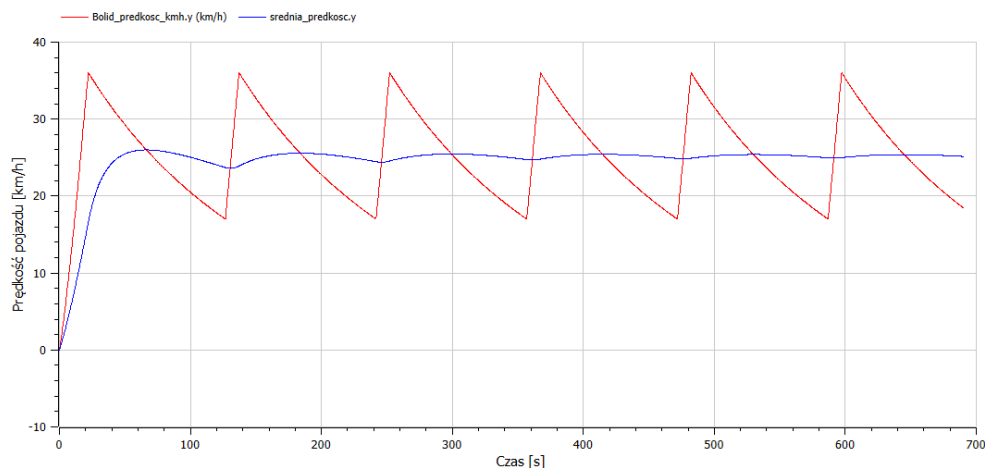
Rys. 5. Moduł silnika
Źródło: Opracowanie własne.

BADANIA SYMULACYJNE

Tak opracowany model pozwolił na przeprowadzenie wstępnych badań. Celem tych badań była weryfikacja modelu oraz sprawdzenie poprawności przyjętych założeń i parametrów modelu. Przyjęto także założenia dotyczące wzorcowego przebiegu warunków symulacji. Przyjęto że:

- Trasa pokonana przez pojazd musi wynosić minimum 3 okrążenia liczące po 1600 metrów,
- Czas przejazdu (symulacji) wynosi 690 sekund z krokiem czasowym 0,2 sekundy,
- Przejazd rozpoczyna się od pojazdu stojącego,
- Model kierowcy: po ruszeniu ma przyspieszyć do 40 km/h a następnie wybiegiem (bez napędu) prędkość może zmaleć do 20 km/h, jeżeli prędkość wynosi poniżej 18 km/h to ponowne przyspieszanie do 40 km/h,
- Prędkość i kierunek wiatru: 0 km/h,
- Wzniesienie: 0°,
- Warunki otoczenia: warunki normalne, gęstość powietrza 1,21 kg/m³.

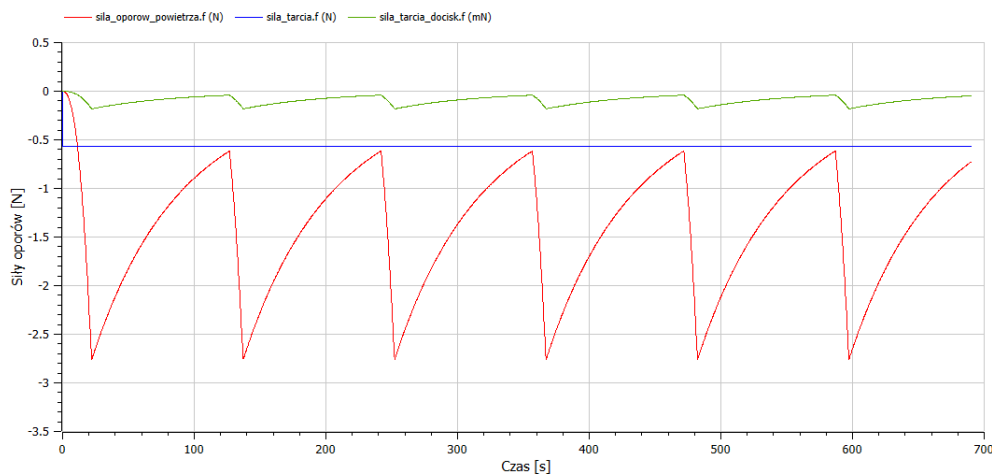
Na rysunku 6 przedstawiono przebieg prędkości pojazdu w czasie symulacji. Widoczne jest, że prędkość chwilowa (linia czerwona) po przyspieszeniu do 40 km/h spada do założonych 18 km/h a następnie ponownie rośnie do 40 km/h. Cykl ten powtarza się 6 krotnie. Wartość prędkości średniej stabilizuje się na poziomie 25,3 km/h (linia niebieska).



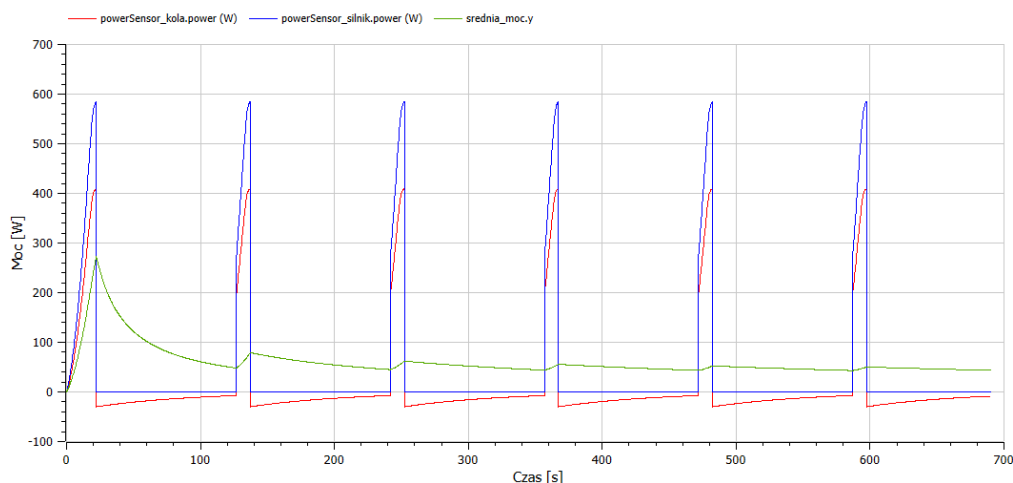
Rys. 6. Przebieg prędkości pojazdu w czasie symulacji
Źródło: Opracowanie własne.

Na rysunku 7 przedstawiono wartości sił oporów działających na pojazd. Największą siłą jest tu siła oporów aerodynamicznych (linia czerwona) dochodząca do 2,7 N. Na rysunku 8 przedstawiono natomiast wartości mocy silnika (linia niebieska), mocy przekazywanej na koła (linia czerwona) oraz

uśrednionej mocy potrzebnej do pokonania ruchu (linia zielona). Można zauważyć, że moc silnika osiąga 570 W ale ze względu na opory przekładni na koła trafia tylko 405 W. Wartość średnia osiąga 43,5 W.

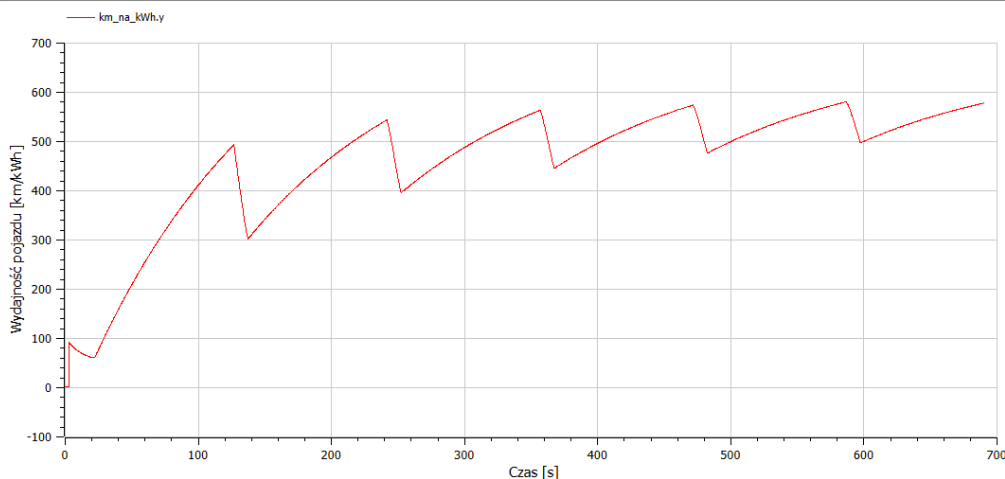


Rys. 7. Siły oporów działające na pojazd
Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 8. Moc silnika, moc działające na koła oraz średnia moc układu
Źródło: Opracowanie własne.

Rysunek 9 przedstawia wydajność pojazdu wyliczoną jako ilość kilometrów jaki można pokonać na jednostce energii elektrycznej (kWh). W obliczeniach symulacyjnych wartość ta osiągnęła poziom 580 km/kWh. Wartość ta jest zbliżona do wartości szacowanej dla pojazdu Hydros.



Rys. 9. Wydajność energetyczna pojazdu w czasie symulacji
Źródło: Opracowanie własne.

PODSUMOWANIE

Optymalizacja konstrukcji pojazdów, szczególnie pod kątem zużycia energii wymaga zastosowania metod symulacyjnych. Pozwalają one w warunkach powtarzalnego eksperymentu sprawdzić wpływ zmiany poszczególnych parametrów pojazdu oraz jego sterowania na ostateczny wynik jakim jest zużycie energii. Zaproponowany model zerowymiarowy oparty na modułach fizykalnych jest prosty do opracowania i zrozumiały dla każdego inżyniera. Pozwala także na łatwą identyfikację parametrów i dokładne odwzorowanie zachowania obiektu rzeczywistego. Opracowany model stanowić będzie podstawę do prac nad optymalizacją konstrukcji pojazdu. Kolejnym krokiem jego rozbudowy będzie opracowanie podmodeli hybrydowego układu napędowego, pozwalającego na badanie algorytmów sterowania oraz strategii jazdy. Powinien pozwolić na podniesienie sprawności pojazdu, a przez to na uzyskanie lepszych wyników w czasie zawodów.

LITERATURA

- [1] Armenta-Déu, C.; Arenas, A. *Performance Analysis of Electric Vehicles with a Fuel Cell–Supercapacitor Hybrid System*. Eng—Advances in Engineering, vol. 4, p. 2274-2292, 2023 <https://doi.org/10.3390/eng4030130>
- [2] Chan, C. C., *The State of the Art of Electric and Hybrid Vehicles*. Proceedings of the IEEE, 95(4), p. 704-718. 2007, DOI: 10.1109/JPROC.2007.892489
- [3] Davies, G., *Materials for Automobile Bodies*. Elsevier. 2012, ISBN: 978-0-7506-5691-6
- [4] Dicks, A., Rand, D. A. J., *Fuel Cell Systems Explained*. Wiley. 2018, ISBN: 978-1-119-97456-6
- [5] Gillespie, T. D., *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. SAE International. 1992, ISBN: 978-1-56091-199-9
- [6] Guzzella, L., Sciarretta, A. *Vehicle Propulsion Systems: Introduction to Modeling and Optimization*. Springer. 2013, ISBN: 978-3-642-35912-5 DOI: 10.1007/978-3-642-35913-2
- [7] Heywood, J. B., *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw-Hill. 1988, ISBN: 978-0-07-028637-5
- [8] Hucho, W. H., *Aerodynamics of Road Vehicles*. Elsevier. 2013, ISBN: 978-0-444-89456-0
- [9] International Energy Agency (IEA), *Global Energy Review 2021*. Retrieved from IEA, 2021

-
- [10] Min-Joong Kim, Hwei Peng, *Power management and design optimization of fuel cell/battery hybrid vehicles*, *Journal of Power Sources*, vol. 165, issue 2, p. 819-832, ISSN 0378-7753, 2007
<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2006.12.038>.

Zautomatyzowana linia montażu – stanowisko laboratoryjne

SUMMARY

This paper presents a method of integrating individual teaching modules into a single assembly line. The line concept assumes the use of a Siemens S7-1200 PLC for control, which will be retrofitted with a DI/DQ expansion card and power supply system. It is assumed that it must still be possible to use the modules independently using EasyPort and program them both in area of the virtual electro-pneumatic system and using the FBD language. The paper presents a circuit connection diagram and an example (starter) control program, which can be developed depending on the tasks performed on the line.

Key words – automation, assembly line, programming

WSTĘP

Automatyzacja procesów powoduje trwałe zmiany w warunkach pracy i życia ludzi, zapewniając wysoką produktywność i stałą jakość produktów, a jednocześnie zaspokajając stale rosnące zapotrzebowanie ludzi na technologiczne know-how [1]. Dotyczy to zarówno życia zawodowego, jak i prywatnego. Automatyzacja łączy w sobie wiedzę z praktycznie wszystkich innych nauk technicznych. Wymaga bowiem umiejętności łączenia różnego typu systemów i komponentów [2]. Realizację procesu zapewniają układy złożone z elementów mechanicznych, elektrycznych, informatycznych, hydraulicznych i pneumatycznych [3, 4, 5]. Nabycie umiejętności z zakresu tych wszystkich dziedzin jest możliwe poprzez wykorzystanie w procesie nauki odpowiednio skonfigurowanych stanowisk laboratoryjnych. Zestaw dydaktyczny MecLab to narzędzie edukacyjne produkowane przez firmę FESTO opracowane do nauki automatyki, mechatroniki i technik sterowania. Składa się z modułowych stacji produkcyjnych, które umożliwiają praktyczne poznawanie zasad działania systemów przemysłowych, w tym obsługi czujników i sterowników PLC. Do zbudowania zautomatyzowanej linii montażu planuje się wykorzystać ten zestaw, w skład którego wchodzi trzy stacje służące do realizacji następujących funkcji:

- magazynowania, wydawania i montażu,
- transportu i segregowania,
- obsługi (przenoszenia).

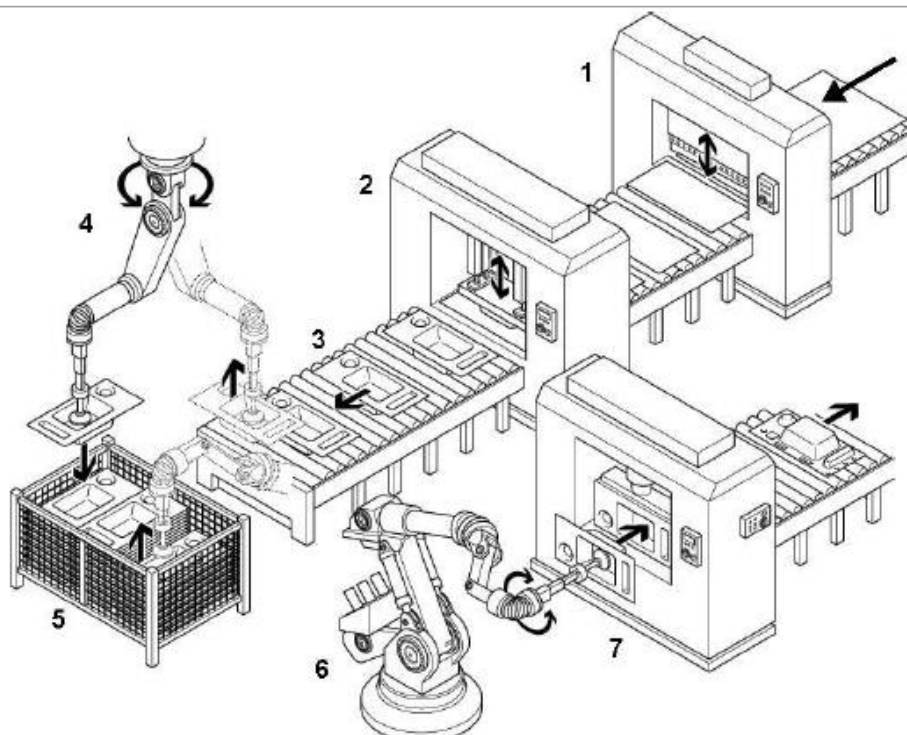
Te trzy funkcje są typowe i podstawowe dla zautomatyzowanej produkcji [6].

Na rys.1. przedstawiono szkic linii produkcyjnej do wytwarzania części z blachy. Arkusze materiału transportowane są za pomocą przenośnika rolkowego (3) do stanowisk obróbczych (1, 2, 7), gdzie następuje formowanie produktu. Pierwszy robot (4) umieszcza półprodukty dostarczone podajnikiem w magazynie (5), drugi robot (6) pobiera arkusze z magazynu i podaje je na trzecie stanowisko obróbcze (7) realizując w ten sposób separację części.

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Studenckie Koło Naukowe Robotyzacji i Zastosowań Informatyki

² Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Studenckie Koło Naukowe Robotyzacji i Zastosowań Informatyki

³ Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Informatyzacji i Robotyzacji Produkcji



Rys. 1. Schemat zrobotyzowanej linii do produkcji części z blachy
Źródło: <https://www.festo.com/>

Stacje MecLab realizują podobne funkcje [7]:

- Stacja magazynowania umożliwia pojedyncze wydawanie części z zasobnika. Zaopatrzona jest również w układ pozwalający na montaż zespołów.
- Stacja transportowa służy do transportu detali na podajniku. Umożliwia sortowanie detali poprzez wykorzystanie zrzutni.
- Stanowisko manipulacyjne służy do przenoszenia detali z jednego stanowiska na drugie.

Funkcje stacji można rozszerzać lub modyfikować poprzez dodawanie lub usuwanie elementów takich jak czujniki czy napędy. Projekt zakłada realizację pracy zautomatyzowanej linii montażowej przy wykorzystaniu stacji dydaktycznych MecLab firmy FESTO oraz oprogramowania FluidSIM. Gotowe elementy to trzy stacje, które odpowiadają za: magazynowanie, transport oraz przenoszenie elementów. Ich funkcjonalność pozwala na symulację procesów przemysłowych w środowisku laboratoryjnym. Do opracowania pozostaje uruchomienie stanowisk oraz przygotowanie programu sterującego procesem. Program ten będzie zintegrowany z systemami sterowania, zapewniając automatyzację operacji oraz możliwość rozszerzania funkcji w przyszłości.



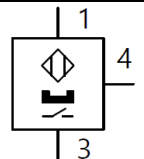

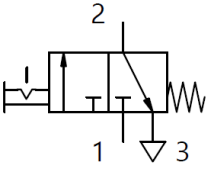



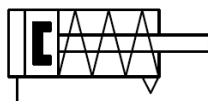
STANOWISKO MAGAZYNOWANIA, WYDAWANIA I MONTAŻU


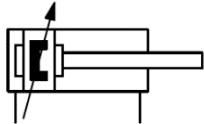

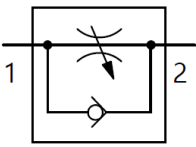

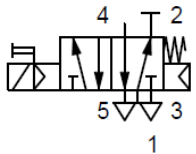

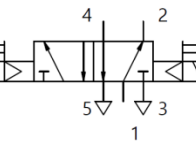

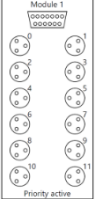
Stanowisko magazynowania, wydawania i montażu jest kluczowym elementem w zautomatyzowanych procesach produkcyjnych, odgrywającym istotną rolę w zapewnieniu płynności i efektywności całego systemu. W większości procesów produkcyjnych konieczne jest tymczasowe składowanie surowców, półproduktów lub wyrobów gotowych. Do tego celu często wykorzystuje się palety lub pojemniki, które pozwalają na przechowywanie półfabrykatów w taki sposób, aby można je

było jak najskuteczniej wprowadzić do rzeczywistego procesu produkcyjnego. Odpowiednia organizacja i zarządzanie stanowiskami magazynowania są kluczowe dla minimalizacji przestoju i optymalizacji przepływu materiałów w linii produkcyjnej. Współczesne stanowiska magazynowania i montażu są wyposażone w różnorodne urządzenia i systemy automatyki, które wspomagają procesy magazynowania i wydawania komponentów. Przykładem mogą być podajniki wibracyjne, które dzięki odpowiednio dobranym częstotliwościom wibracji umożliwiają przesuwanie się części wzdłuż rynienek z pałkami, przepuszczającymi jedynie prawidłowo zorientowane elementy. Dzięki temu procesowi, mimo przypadkowego wymieszania materiału bazowego, do produkcji trafiają tylko prawidłowo zorientowane części. Takie rozwiązania technologiczne znacząco zwiększają efektywność i precyzję w dostarczaniu materiałów do dalszych etapów produkcji.

Stanowisko magazynowania składa się z kilku pojedynczych elementów, które można stosować samodzielnie lub łączyć w zależności od realizowanego zadania. W Tabeli 1. wymieniono najważniejsze elementy stacji wraz z ich symbolami.

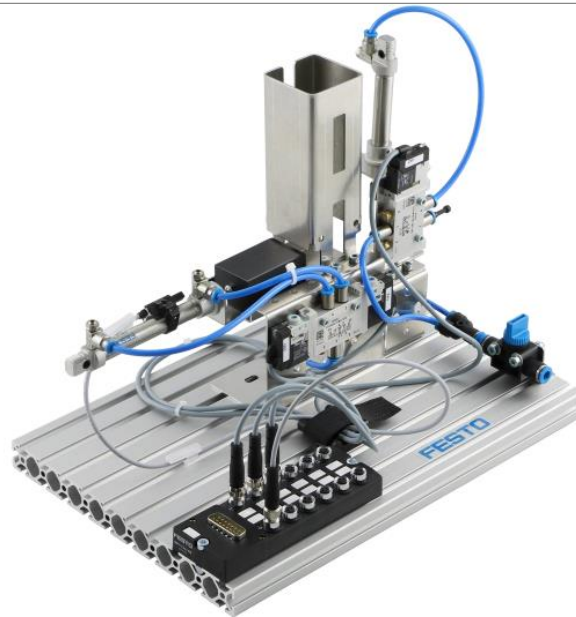
Tab. 1. Podstawowe elementy stacji magazynowania, wydawania i montażu

Zdjęcie	Symbol	Opis
		Zestaw montażowy czujnika położenia tłoka siłownika
		Magnetyczny czujnik zbliżeniowy do wykrywania położenia tłoka siłownika
		Zawór odcinający 3/2 do odcinania dopływu sprężonego powietrze i odpowietrzania układu
		Łącznik wtykowy typu V
		Siłownik jednostronnego działania o średnicy tłoka 10mm i skoku 25mm

		Siłownik dwustronnego działania o średnicy tłoka 10mm i skoku 50mm
		Zawór dławiąco zwrotny do regulacji prędkości pracy siłowników
		Zawór elektromagnetyczny monostabilny 5/2 z powrotem wspomaganym pilotem
		Zawór elektromagnetyczny bistabilny 5/2
		Rozgałęziacz wtykowy wielopinowy do podłączenia komponentów elektrycznych

Źródło: Opracowanie własne.

Komponenty stanowiska można wykorzystywać samodzielnie lub łączyć w zależności od realizowanego zadania. Istnieje także możliwość rozbudowy funkcji stacji poprzez dodawanie lub usuwanie elementów, co pozwala elastycznie dostosować stanowisko do konkretnych potrzeb produkcyjnych. W przypadku zaworów pneumatycznych możliwe jest ręczne sterowanie poprzez przesterowanie zaworu za pomocą specjalnych przycisków. Integracja tych elementów z systemami sterowania, takimi jak FluidSIM i EasyPort, umożliwi automatyczne zarządzanie procesami produkcyjnymi oraz manualne uruchamianie wybranych funkcji w razie potrzeby. EasyPort to interfejs komunikacyjny, który łączy elementy stanowiska dydaktycznego, takie jak zawory czy czujniki, z komputerem. Umożliwia on sterowanie procesami i ich monitorowanie za pomocą oprogramowania, takiego jak FluidSIM, a także przesyłanie sygnałów między systemami sterowania, a fizycznymi komponentami, wspierając automatyzację i ręczne uruchamianie funkcji w ramach zadań dydaktycznych.



Rys. 2. Widok stanowiska magazynowania i wydawania
Źródło: <https://www.festo.com/>


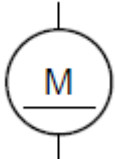

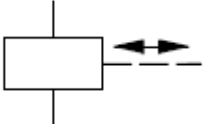

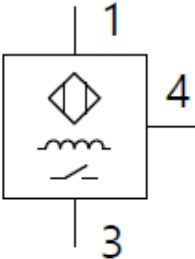

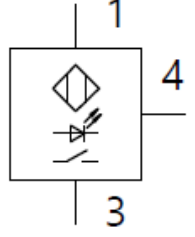

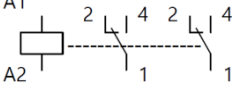

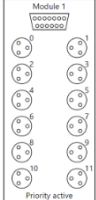
STANOWISKO TRANSPORTU I SEGREGOWANIA

Przenośniki to systemy techniczne, które znajdują zastosowanie w wielu obszarach produkcji, m.in. przy produkcji dóbr materialnych w przemyśle, budownictwie i rolnictwie. Przenośniki są również wykorzystywane w życiu codziennym. Sprzedawcy wykorzystują przenośniki nie tylko do transportu towarów, na przykład przy kasach w supermarketach, ale także w postaci schodów ruchomych służących do transportu klientów. Przenośniki na dworcach są wykorzystywane do transportu pasażerów przez stale rozwijające się terminale. Rozwój przenośników związany jest ściśle z uprzemysłowieniem. Na początku do napędzania przenośników wykorzystywano siłę mięśni zwierząt lub ludzi. Wraz z rozwojem energetyki i wynalezieniem silnika elektrycznego ten rodzaj napędu zaczął być stosowany do napędzania przenośników.

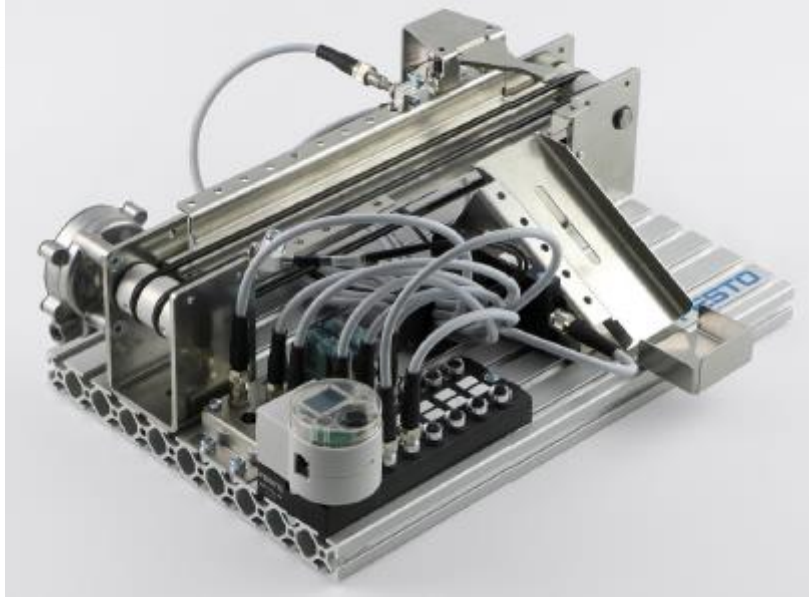
Wprowadzenie systemów transportu zrewolucjonizowało produkcję przemysłową. Nie sposób w tym kontekście nie wspomnieć o Henrym Fordzie, który w 1913 roku wraz z rozwojem linii montażowej i wykorzystaniem jej w produkcji samochodów zapoczątkował zupełnie nową metodę organizacji pracy. Technologia linii montażowej stworzona przez Henry'ego Forda została udoskonalona i osiągnęła dzisiejszy poziom. Tam, gdzie kiedyś praca fizyczna wymagała ciągłej obecności pracowników, obecnie tę rolę przejmują komputerowe systemy sterowane. Technologia cyfrowa nieustannie otwiera nowe perspektywy dla automatyzacji.

Stanowisko transportu i segregowania składa się z kilku pojedynczych elementów, które można stosować samodzielnie lub łączyć w zależności od realizowanego zadania (rys. 3.). W Tabeli 2. wymieniono najważniejsze elementy stacji wraz z ich symbolami.

Tab. 2. Podstawowe elementy stacji magazynowania, wydawania i montażu

Zdjęcie	Symbol	Opis
		Motoreduktor prądu stałego, służący do napędzania pasów przenośnika. Posiada funkcję zmiany kierunku obrotów.
		Elektromagnes może pełnić funkcję: ogranicznika separującego detale i kierującego je do zsuwni lub może zatrzymać detale.
		Czujnik indukcyjny służący do wykrycia detali mających zdolność przewodzenia prądu (metalowe lub pokryte metalem)
		Czujnik fotoelektryczny dyfuzyjny z tłumieniem tła służący do wykrycia części na wejściu do podajnika
		Przełącznik do uruchamiania silnika i zmiany kierunku pracy
		Rozgałęziacz wtykowy wielopinowy do podłączenia komponentów elektrycznych

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 3. Widok stanowiska transportu i segregowania
Źródło: <https://www.festo.com/>

Istnieje możliwość przebudowania stacji tak aby mogła pełnić inne zadanie. Jej przeznaczenie zależy przede wszystkim od położenia czujników i elektromagnesu. Elektromagnes może pełnić funkcję ogranicznika lub separatora w zależności od tego, po której stronie przenośnika jest zamontowany. Czujnik fotoelektryczny reaguje na wszystkie przedmioty odbijające światło, natomiast czujnik indukcyjny reaguje tylko na przedmioty metalowe. Umożliwia to aktywowanie określonych działań systemu w zależności od tego jaki typ obiektu został wykryty. W trakcie użytkowania stanowiska należy zwrócić uwagę na właściwe podłączenie sygnałów na rozdzielaczu elektrycznym.

STANOWISKO PRZENOSZENIA

Operacje transferu, orientacji i montażu stanowią kluczowe elementy wszystkich zautomatyzowanych systemów montażu. Zadania te realizowane są przez zautomatyzowane maszyny manipulacyjne, wśród których najbardziej rozpoznawalnymi i szeroko stosowanymi są roboty przemysłowe. Roboty te są programowalne i w zależności od typu oraz przeznaczenia, mogą wykonywać ruchy w wielu osiach, co czyni je niezwykle elastycznymi narzędziami produkcyjnymi. Roboty przemysłowe cechują się wysoką prędkością i powtarzalnością. W przypadku realizacji wielu zadań montażowych wystarczające są prostsze konstrukcje, takie jak roboty kartezyjańskie.



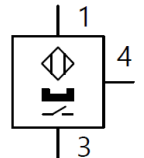

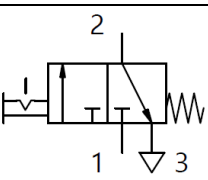

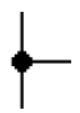

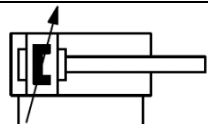
Chwytaiki, nieodzowne komponenty w dziedzinie robotyki i automatyki, odgrywają kluczową rolę w procesach przemysłowych, produkcyjnych oraz w aplikacjach medycznych i kosmicznych. Te zaawansowane urządzenia mechaniczne, zaprojektowane do manipulowania obiektami, umożliwiają precyzyjne i efektywne przenoszenie, chwytanie oraz kontrolowanie różnych materiałów i przedmiotów. Dzięki postępowi technologicznemu, współczesne chwytaiki oferują szeroką gamę funkcji, od prostych uchwytów pneumatycznych po zaawansowane systemy adaptacyjne, które mogą dostosowywać się do kształtu i rozmiaru trzymanego obiektu. Ich wszechstronność i niezawodność sprawiają, że są niezastąpione w wielu branżach, zwiększając efektywność i precyzję w różnych


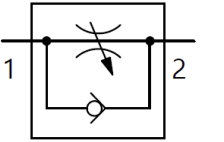

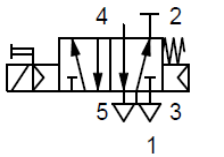
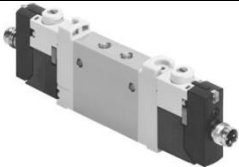
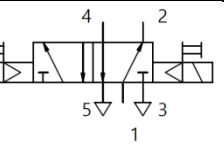

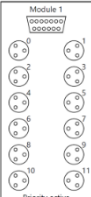
zastosowaniach. Chwytki mechaniczne mogą posiadać dwie lub trzy szczęki chwytające, które muszą być dostosowane do chwytanego przedmiotu ze względu na konieczność dopasowania geometrii elementu chwytającego do chwytanego obiektu. Wyróżnia się różne konstrukcje chwytaków, w tym:

- Chwytki podciśnieniowe, które utrzymują detale za pomocą podciśnienia. Nadają się szczególnie do chwytania płaskich przedmiotów o gładkiej powierzchni pozwalającej na utrzymanie szczelności pomiędzy detalem a przyssawką.
- Chwytki magnetyczne stosowane do chwytania przedmiotów podatnych na działanie pola magnetycznego.
- Chwytki igłowe, w których elementy mocowane są za pomocą igieł. Są stosowane szczególnie w przemyśle tekstylnym oraz wszędzie tam, gdzie istnieje możliwość oddziaływania na chwytany materiał za pomocą igieł.

Dwuosiowe zautomatyzowane maszyny manipulacyjne, zwane również urządzeniami pick and place, są najczęściej wykorzystywane do przenoszenia detali. Elementy stanowiska przenoszenia obejmują stację obsługi składającą się z dwóch pneumatycznych siłowników liniowych, chwytaka pneumatycznego, trzech zaworów do sterowania siłownikami pneumatycznymi oraz czterech magnetycznych czujników zbliżeniowych do wykrywania położenia osi. W tabeli 3. wymieniono najważniejsze elementy stacji wraz z ich symbolami.

Tab. 3. Podstawowe elementy stacji przenoszenia

Zdjęcie	Symbol	Opis
		Chwytnak podciśnieniowy z generatorem Venturiego
		Magnetyczny czujnik zbliżeniowy do wykrywania położenie tłoka siłownika
		Zawór odcinający 3/2 do odcinania dopływu sprężone powietrze i odpowietrzania układu
		Łącznik wtykowy typu V
		Siłownik dwustronnego działania z prowadzeniem

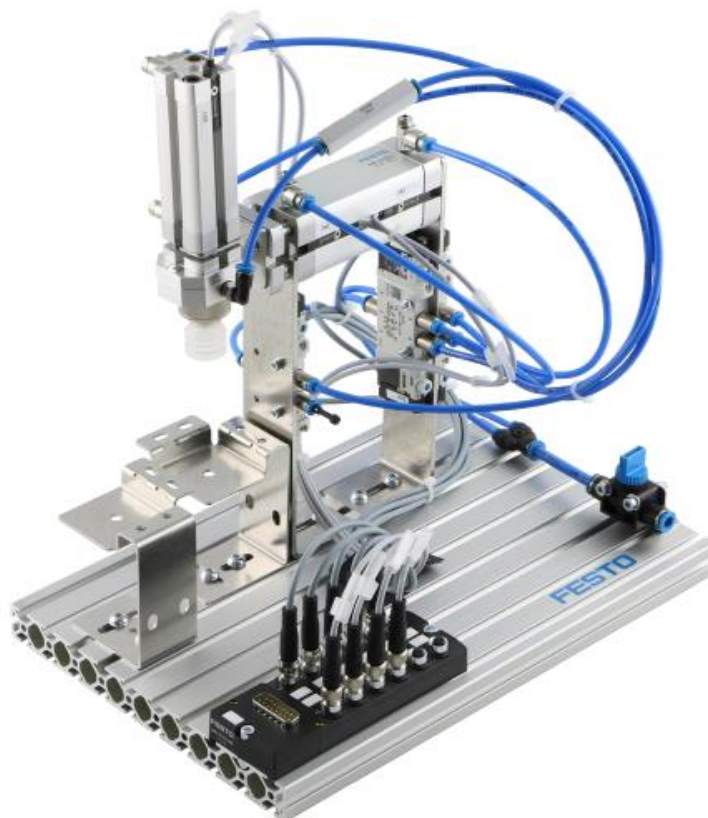
		<p>Zawór dławiąco zwrotny do regulacji prędkości pracy siłowników</p>
		<p>Zawór elektromagnetyczny monostabilny 5/2 z powrotem wspomaganym pilotem</p>
		<p>Zawór elektromagnetyczny bistabilny 5/2</p>
		<p>Rozgałęziacz wtykowy wielopinowy do podłączenia komponentów elektrycznych</p>

Źródło: Opracowanie własne.

Stację przenoszenia stanowi dwuosiove urządzenie manipulacyjne. Stacja ta może wykonywać wiele zadań takich jak:

- przenoszenie przedmiotu,
- przesuwanie przedmiotu,
- montaż elementu składającego się z podstawy i pokrywy.

Przykładowe elementy stacji przenoszenia obejmują chwytak podciśnieniowy z generatorem Venturiego, magnetyczny czujnik zbliżeniowy do wykrywania położenia tłoka siłownika, zawór odcinający do kontroli dopływu sprężonego powietrza, a także siłownik dwustronnego działania z prowadzeniem. Sterowanie stacjami odbywa się za pomocą programów symulacyjnych i sterujących, takich jak FluidSIM, który połączony z EasyPort umożliwia kontrolowanie napędów i odczytywanie sygnałów czujników. Dzięki temu, stacje przenoszenia mogą być wykorzystywane zarówno jako autonomiczne jednostki, jak i zintegrowane elementy większych linii produkcyjnych, co znacząco zwiększa ich wszechstronność i zastosowanie w różnych branżach przemysłowych [8].

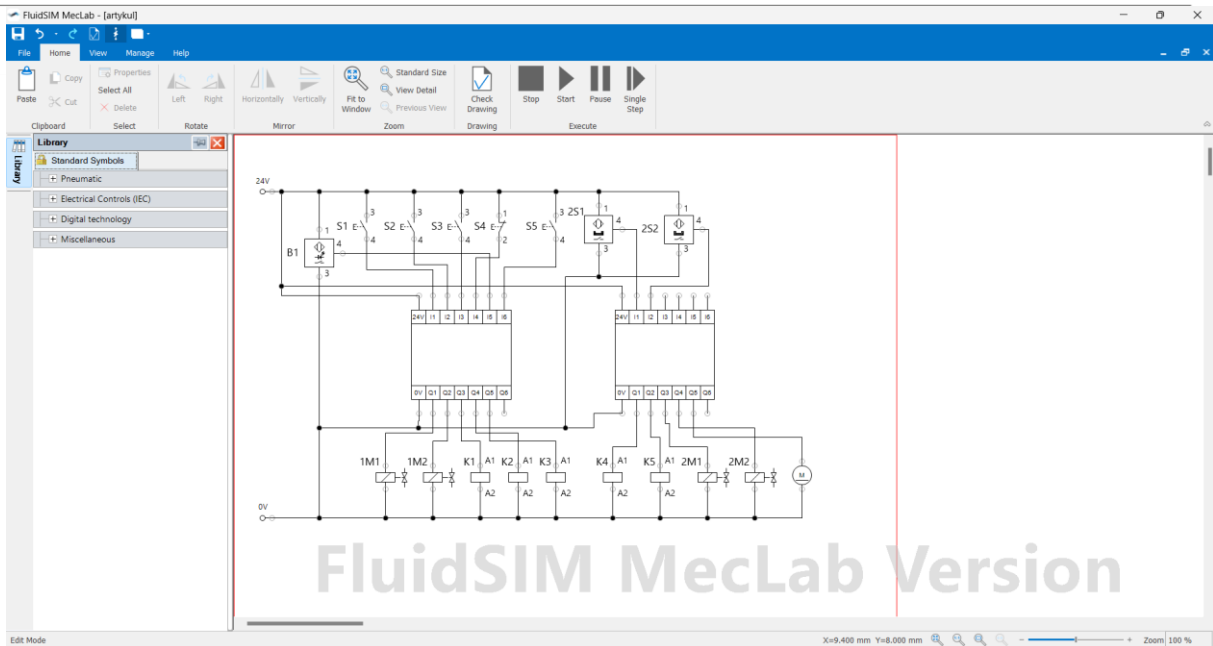


Rys. 4. Widok stanowiska pick and place
Źródło: <https://www.festo.com/>

INTEGRACJA MODUŁÓW

Integracja stanowisk magazynowania, wydawania oraz montażu za pomocą sterownika PLC (Programmable Logic Controller) [9, 10] stanowi zaawansowane podejście do automatyzacji procesów produkcyjnych, zapewniając precyzyjną kontrolę i koordynację wszystkich operacji. Sterownik PLC jako centralny element systemu, zarządza sekwencją działań i synchronizuje pracę poszczególnych komponentów, takich jak podajniki wibracyjne, siłowniki pneumatyczne, chwytaki oraz czujniki. Sterownik PLC integruje dane z różnych czujników, w tym indukcyjnych czujników zbliżeniowych, które wykrywają położenie komponentów, oraz zaworów dławiąco zwrotnych, regulujących prędkość pracy siłowników. Programy symulacyjne i sterujące, takie jak FluidSIM, połączone z EasyPort, umożliwiają zaawansowane programowanie logiki sterowania oraz real-time monitorowanie wszystkich operacji, co zwiększa efektywność i redukuje ryzyko błędów [11].

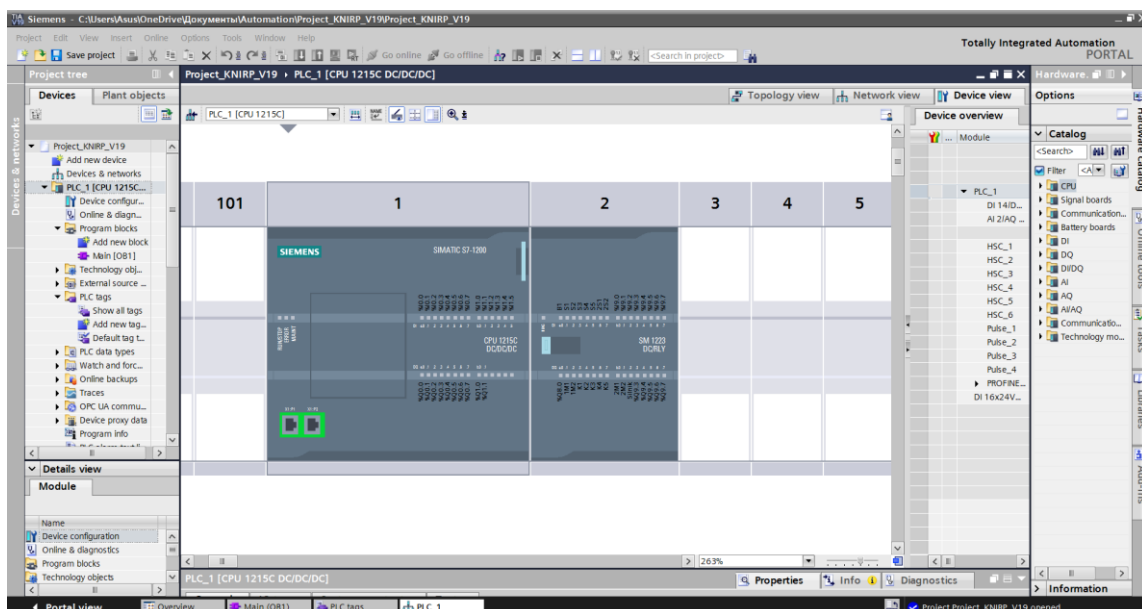
Integracja wszystkich modułów odbyła się za pomocą sterownika PLC Siemens S7-1200 CPU 1215 DC. Schemat połączeń ze sterownikiem został opracowany w programie FluidSIM 6 MecLab i jest przedstawiony na rys. 5.



Rys. 5. Zrzut ekranu programu FluidSIM 6 Meclab przedstawiający schemat połączeń ze sterownikiem

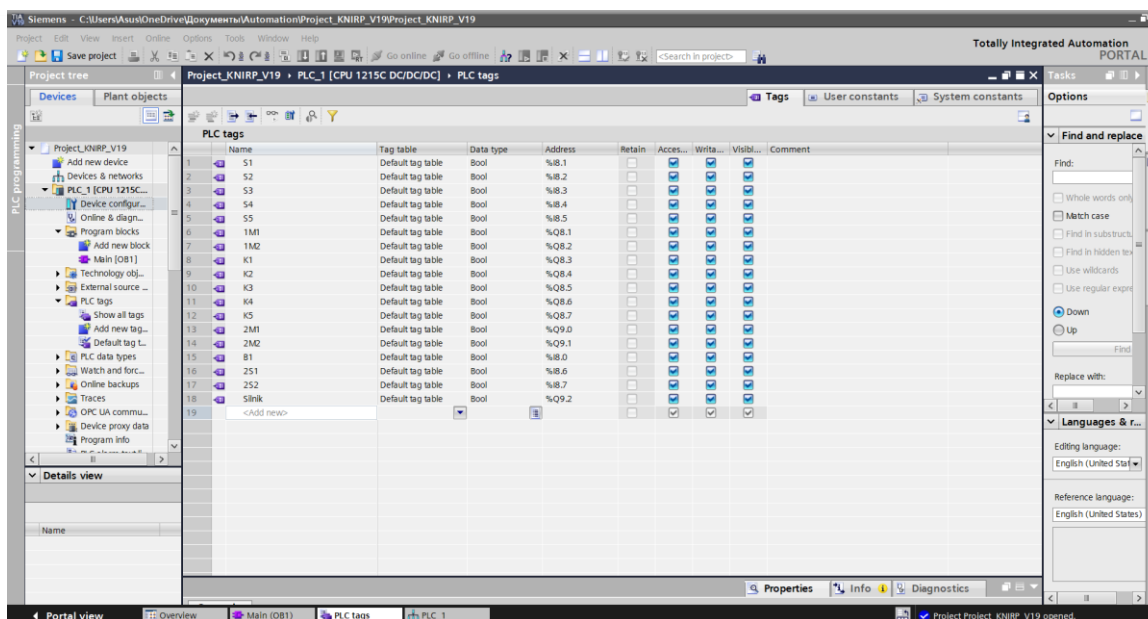
Źródło: Opracowanie własne

Program nie pozwala na rozszerzenie liczby wejść sterownika oraz na zmianę ich nazewnictwa, dlatego na zdjęciu przedstawione są dwa oddzielne sterowniki. W projekcie sterowanie modułami odbywa się jednym sterownikiem, który został zaprogramowany w programie TiaPortal v19, pozwalając na programowanie off-line używanego sterownika (rys.6). Schemat przypisanych etykiet dla sterownika jest pokazany na rysunku 7.



Rys. 6. Zrzut ekranu programu TiaPortal przedstawiający użyty sterownik

Źródło: Opracowanie własne



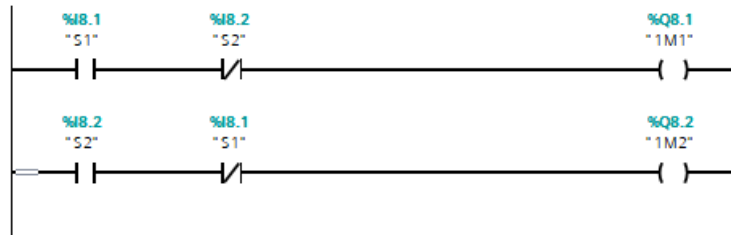
Rys. 7. Zrzut ekranu programu TiaPortal przedstawiający przypisane etykiety

Źródło: Opracowanie własne

Opracowany program, pokazany na rysunku 8, umożliwia kontrolę zintegrowanymi stanowiskami. Sieć pierwsza zarządza magazynowaniem, wydawaniem i montażem. Naciśnięcie przycisku S1 powoduje wysunięcie siłownika przez załączenie zaworu 1M1. Przelącznik S2 umożliwia wsunięcie siłownika poprzez załączenie cewki 1M2, pod warunkiem, że S1 nie jest aktywowany. Sieć druga steruje stanowiskiem przenoszenia, które wykorzystuje siłownik obsługiwany zaworami pneumatycznymi 2M1 i 2M2. Naciśnięcie przycisku S5 oraz aktywacja czujnika 2S1 powodują wysunięcie siłownika, po czym czujnik 2S2, wykrywając pełne wysunięcie, inicjuje automatyczne wsunięcie siłownika. Transport elementu wymaga aktywacji przycisku S3, który uruchamia przenośnik. Przenośnik wyłącza się po naciśnięciu przycisku S4 lub aktywacji czujnika B1. Opracowany program pozwala na kontrolę zintegrowanych stanowisk, zarządzając magazynowaniem, wydawaniem i montażem. Precyzyjna kontrola i synchronizacja operacji znacząco zwiększają efektywność pracy systemu, minimalizując jednocześnie ryzyko błędów.

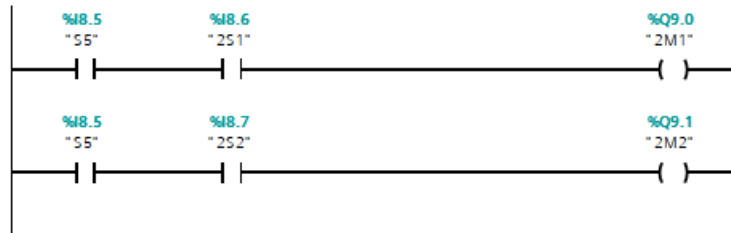
▼ **Network 1:** Stanowisko magazynowania, wydawania i montażu

Comment



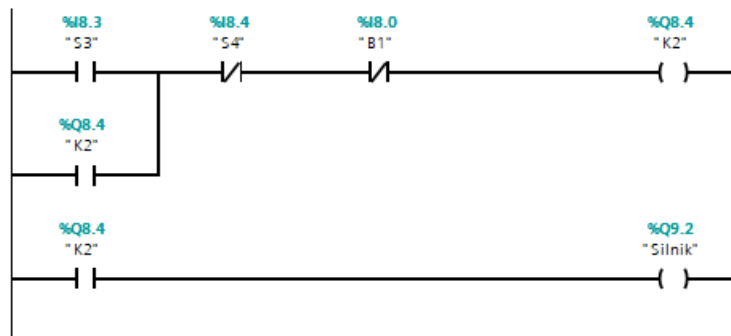
▼ **Network 2:** Stanowisko przenoszenia

Comment



▼ **Network 3:** Stanowisko transportu i segregowania

Comment



Rys. 8. Zrzut ekranu programu TiaPortal przedstawiający napisany program w języku LAD

Źródło: Opracowanie własne

PODSUMOWANIE

Opracowany projekt linii zautomatyzowanego montażu stanowi podstawę do wykonania stanowiska laboratoryjnego. Projekt w wersji końcowej będzie demonstratorem zautomatyzowanej linii montażu. Będzie zawierał zarówno elementy służące transportowi, manipulacji jak i montażowi elementów. Będzie rekonfigurowany zarówno sprzętowo jak i programowo. Jego otwarta struktura pozwoli na poszerzenie jego możliwości technicznych. Możliwe będzie jego wykorzystywanie w procesie edukacji

w zakresie robotyzacji i automatyzacji procesów produkcyjnych poprzez wykorzystanie go jako stanowiska laboratoryjnego. Wykonane prace obejmują:

- Opracowanie koncepcji pierwszego wydania linii zautomatyzowanego montażu poprzez integrację modułów MacLab.
- Opracowanie schematów pneumatycznych.
- Opracowanie schematów elektrycznych.
- Opracowanie koncepcji układu sterowania z możliwością łatwej konfigurowalności w zależności od potrzeb adaptacyjnych związanych z integracją linii montażu w tym możliwości użycia robota sześciokościowego.
- Opracowanie programu sterującego dla pierwszego wydania linii zautomatyzowanego montażu z wykorzystaniem bloków funkcyjnych dających możliwość rozwoju projektu w przyszłości.

Kolejne działania będą obejmowały:

- Przeprowadzenie fizycznej integracji stanowisk.
- Wykonanie systemu sterowania zintegrowanymi stanowiskami poprzez zbudowanie modułowego zestawu sterującego pracą linii montażowej.

Ww. zestaw będzie zawierał sterowniki programowalne z odpowiednią ilością wejść i wyjść pozwalających na podłączenie linii i sterowanie nią. Dodatkowo będzie wyposażony w wejścia symulacyjne dające możliwość wprowadzania różnych schematów pracy układu, które w przyszłości będą zastępowane kolejnymi rzeczywistymi obiektami. Zakłada się przy tym, że nadal musi być zachowana możliwość użytkowania modułów niezależnie z wykorzystaniem EasyPort i programowania ich zarówno w obszarze wirtualnego układu elektro-pneumatycznego jak i z wykorzystaniem języka FBD. System sterowania ma zapewnić możliwość współpracy ze sterownikiem podrzędnym jak i panelem HMI. Programowanie tych elementów układu będzie zadaniem personelu obsługującego system w ramach prac rozwojowych lub szkoleniowych. System sterowania będzie zbudowany zgodnie z zasadami obowiązującymi przy budowie szaf sterowniczych. Dzięki wykorzystaniu listwy przyłączeniowej będzie istniała możliwość łatwej zmiany konfiguracji sygnałów wejściowych szczególnie w trakcie rozbudowy systemu.

Otwarta struktura rozwiązania technicznego w tym możliwości rekonfiguracyjne stanowiska powoduje, że będzie ono mogło być w przyszłości z powodzeniem wykorzystywane w procesie kształcenia przyszłych inżynierów. Prezentowane rozwiązanie stanowi punkt wyjścia do dalszych działań służących budowie elastycznej zautomatyzowanej linii montażu [12].

LITERATURA

1. Domińczuk J., Kost G., Łebkowski P., *Automatyzacja i robotyzacja procesów produkcyjnych*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2022.
2. Rudawska A., Domińczuk J., Miturska-Barańska I., Doluk E., Szabelski J. Gola A., *Podstawy technologii montażu*. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2023.
3. Zastępowski B., Mateuszewski M., Musiał J., Styp-Rekowski M., *Zagadnienia hydrauliki i w ujęciu praktycznym*. Wydawnictwo Uczelniane Uniwersytetu Techniczno-Przyrodniczego, Bydgoszcz 2013.
4. Węsierski Ł., *Projektowanie pneumatycznych układów napędowych i sterujących*. Rozprawy Monografie 4, Akademia górniczo-Hutnicza, Kraków 1994.
5. Węsierski Ł., *Pneumatyka elementy i układy*. Uniwersytet Rzeszowski, Rzeszów 2015.
6. Koch T., *Systemy zrobotyzowanego montażu*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2006.

7. Kaczmarek W., Panasiuk J., *Robotyzacja procesów produkcyjnych*. PWN, Warszawa 2018.
8. Więcek-Janka E., Pawlicki J., Walkowski P., *Przykład wprowadzania usprawnień w procesach produkcyjnych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, pp. 271-282, Poznań 2018.
9. Krieser W., *Sterowania pneumatyczne i elektropneumatyczne*. Helion, Gliwice 2021.
10. Kacprzak S., *Programowanie Sterowników PLC zgodnie z normą IEC61131-3*. Wydawnictwo BTC, Legionowo 2011.
11. Domińczuk J., *Modelowanie urządzeń elektromechanicznych. Ćwiczenia laboratoryjne*. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2022.

Znaczenie i treść murali jako efekt partycypacji społecznej w przestrzeni Lublina

SUMMARY

Murals are a form of street art and have their place in the urban space of Lublin. This is connected, among other things, to the artistic communities active in the city from 1975 to 1979. The work presents the types of themes and the locational context of wall paintings as well as the functions they serve. In the process of researching the significance and content of murals, a dialogue was initiated with the local community. Based on surveys, public opinion on murals in the urban space was studied, and the outcome of workshops highlighted trends in the themes and aesthetics of murals proposed by participants.

Key words – mural, street art, lublin, participation, public spaces, culture, graffiti

DEFINICJA MURALU

Zgodnie z definicją zawartą w „Słowniku języka polskiego PWN”, mural to monumentalne malowidło wykonane bezpośrednio na ścianie budynku [1]. Termin ten ewoluował na przestrzeni wieków, obejmując różne formy sztuki związane z malarstwem ściennym. Etymologia słowa „mural” wywodzi się z języka hiszpańskiego (*h. mural* – ścienny; malarstwo ścienne), a sama forma zyskała popularność dzięki meksykańskim artystom [2].

HISTORIA MURALU W LUBLINIE

Ważne dla rozwoju lubelskiej sztuki były Lubelskie Spotkania Plastyczne (LSP) realizowane w latach 1976-1979 na terenie Lubelskiej Spółdzielni Mieszkaniowej [3]. Spotkania te gromadziły artystów z całego kraju, którzy tworzyli dzieła czerpiąc z pełnego przekroju sztuk plastycznych, w tym projekty rzeźb, malowideł ściennych, mozaik. W trakcie spotkań rolę doradców pełnili architekci, którzy zaprojektowali szczególne dla Lublina osiedla. Byli to: Feliks Haczewski (osiedle Adama Mickiewicza), Zofia i Oskar Hansenowie (osiedle Juliusza Słowackiego), Antoni Herman i Jerzy Kumelowski (osiedle Piastowskie), Tadeusz Bobek i Stanisław Fijałkowski (osiedle Zygmunta Krasińskiego), Janusz Linek

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury, Studenckie Koło Naukowe Malarstwa i Rysunku

² Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury, Studenckie Koło Naukowe Malarstwa i Rysunku

³ Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury, Studenckie Koło Naukowe Malarstwa i Rysunku

⁴ Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury, Studenckie Koło Naukowe Malarstwa i Rysunku

⁵ Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury, Studenckie Koło Naukowe Malarstwa i Rysunku

⁶ Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury, Studenckie Koło Naukowe Malarstwa i Rysunku

⁷ Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury, Katedra Architektury Współczesnej, k.krupa@pollub.pl; ORCID: 0000-0002-7313-4080

(osiedle Henryka Sienkiewicza i osiedle Marii Konopnickiej), Antoni Herman (osiedle Bolesława Prusa).

Głównym założeniem przedsięwzięcia był „Sojusz świata pracy z kulturą i sztuką” [3]. Zrealizowane w ramach Lubelskich Spotkań Plastycznych projekty dały możliwość codziennego obcowania ze sztuką oraz stanowiły rodzaj identyfikacji i przynależności dla mieszkańców danego osiedla.

Efektem Lubelskich Spotkań Plastycznych były dzieła o szerokim zakresie formy przedstawienia oraz tematyki. Tereny zielone przy ulicy Filaretów (os. Mickiewicza) zostały wzbogacone o galerię rzeźby plenerowej. Szeroki zakres twórczości artystów biorących udział w LSP zaowocował opracowaniem dzieł plastycznych nie tylko jako form przestrzennych. Przykładem są dekoracje prześwitów w blokach składających się na zabudowę osiedli im. Juliusza Słowackiego i im. Marii Konopnickiej. Artyści skupili się na wykorzystaniu elementów ceramicznych tworząc bogate, nie tylko w spektrum kolorystycznym, ale także tematycznym, mozaiki. [4]

Na sąsiadującym osiedlu im. Zygmunta Krasińskiego najwięcej uwagi poświęcono malowidłom ściennym. Murale pokrywające ściany szczytowe bloków były bogate w kolory przez co otaczająca przestrzeń stanowiła tło dla interakcji społecznej mieszkańców. Zrealizowane projekty nie przetrwały do dnia dzisiejszego. Twórczość przedstawiona w formie murali, jako spuścizna LSP, zachowała się jedynie w formie dokumentacji fotograficznej. [4]



Rys. 1. A. Kuenne, Z. Dudzik: „Kompozycja” — osiedle Z. Krasińskiego
Źródło: I.J. Kamiński, *Lubelskie Spotkania Plastyczne*, Lublin 1979



Rys. 2. Witold Stypa, Jan Dybala: „Ptaki”-osiedle im. Zygmunta Krasińskiego w Lublinie.
Źródło: Małgorzata Szlachetka, Lubelskie murale, których już nie ma, Kurier Lubelski 03.11.2016



Rys. 3. E. Nyga, R. Nyga - malarstwo na ścianach szczytowych - osiedle Krasińskiego
Źródło: I.J. Kamiński, Lubelskie Spotkania Plastyczne, Lublin 1979

TEMATYKA I WYSTĘPOWANIE LUBELSKICH MURALI

Murale są wyjątkową formą sztuki ulicznej, która ożywia przestrzeń miejską, niosąc za sobą różnorodne przesłania i estetykę, jednak z uwagi na swój charakter jest ona nietrwała. Choć prace z Lubelskich Spotkań Plastycznych zniknęły już ze ścian budynków, Lublin nadal może poszczycić się wieloma nowymi muralami, które zdobią jego mury. Nowe malowidła powstają z okazji festiwali, w ramach różnorodnych projektów artystycznych, a także dla uczczenia rocznic ważnych wydarzeń

historycznych. Prace te nie tylko dekorują miasto, ale również przyciągają uwagę mieszkańców i turystów, stając się ważnym elementem krajobrazu kulturowego.

Murale w Lublinie można zaobserwować w kilku obszarach miasta, które stały się centrum sztuki ulicznej. Największe natężenie zauważalne jest w dzielnicy Śródmieście oraz Stare Miasto. Lokalizacja ta nie jest przypadkowa, gdyż to w tych obszarach dzieła mogą liczyć na dużą liczbę odbiorców. Dodatkowo wiele murali można podziwiać w dzielnicach takich jak Wrotków, Czuby, Tatary, Bronowice, Rury oraz pozostałych częściach miasta. Tworzą one „streetartową” galerię, która zaprasza widza do interakcji z nimi oraz przestrzenią [5].

Murale w Lublinie pełnią istotną rolę w upamiętnianiu ważnych wydarzeń oraz postaci historycznych. Te edukacyjne dzieła sztuki przekazują treści związane bezpośrednio z historią miasta oraz jego wybitnymi osobistościami. Inną grupę edukacyjnych murali stanowią te, które odwołują się do lokalnych symboli i dziejów miasta. Te realizacje pomagają wzmocnić lokalną tożsamość, podkreślając unikalne cechy Lublina i przypominając o jego bogatym dziedzictwie. Powstające wizualne kroniki miasta, zachęcając mieszkańców do refleksji nad przeszłością i wpływem jaki wywiera na współczesność.



Rys. 4. Mural „Panorama dla powstańca” (ul. Wiercińskiego)
Źródło: opracowanie własne



Rys. 5. Mural na 700-lecie Lublina (ul. Samsonowicza)
Źródło: opracowanie własne



Rys. 6. Mural „Stare Bronowice” (ul. Biłgorajska)
Źródło: opracowanie własne



Rys. 7. Mural „Czułość ryb” (ul. Cyruliczna)
Źródło: opracowanie własne

Wśród pojawiającej się tematyki można wyróżnić tę, która odnosi się do kultury żydowskiej, prezentując fotografie, cytaty lub wiersze upamiętniające dawną dzielnicę miasta. Taka forma sztuki nie tylko przypomina o przeszłości, ale także budują mosty między pokoleniami, zachowując pamięć o społeczności, która miała ogromny wpływ na rozwój Lublina [6].



Rys. 8. Mural „Lublin moje święte miasto” (al. Unii Lubelskiej)
Źródło: opracowanie własne



Rys. 9. Mural – wiersz „Koleżanki” Julii Hartwig (ul. Kowalska/Zaulek Hartwigów)
Źródło: opracowanie własne

Osobną kategorię tworzą murale zwracające uwagę na problemy społeczne. Poprzez swoją formę, przenikają one na dłużej do krajobrazu i tkanki miejskiej, towarzysząc mieszkańcom na co dzień

www.viacarpatia.pro

i skłaniając do przemyśleń. Zauważalne przez wszystkich murale są katalizatorem pozytywnych zmian w społeczeństwie, przyczyniają się do innego postrzegania problemów społecznych i pozwalają wyrazić światopoglądy różnych środowisk [7].



Rys. 10. Mural przeciwko agresji Rosji na Ukrainę
Źródło: opracowanie własne



Rys. 11. Mural „Czego nie możesz kupić?” (ul. Leonarda)
Źródło: opracowanie własne

Kolejna grupa murali nawiązuje do innych utworów artystycznych, takich jak wiersze lub piosenki. Odniesienia te mogą być niedosłowne, ukryte w symbolice muralu. Jednak w Lublinie popularne stały się malowidła zawierające cytaty, bądź też całe utwory literackie. Jest to zasługa Festiwalu Miasto

Poezji, podczas którego w tkankę Lublina zostały wkomponowane wiersze pod postacią murali i napisów na chodnikach [8].



Rys. 12. Mural „Marzenia do gwiazd” (ul. Cyruliczna)
Źródło: opracowanie własne



Rys. 13. Mural „Krasnale” (ul. Ruska)
Źródło: opracowanie własne

W tkance urbanistycznej powstają również murale mające na celu przede wszystkim estetyczne wzbogacenie przestrzeni miejskiej. Te kolorowe kompozycje ożywiają ulice Lublina, przekształcając monotonne ściany w dynamiczne obrazy pełne życia. Choć ich głównym celem jest poprawa estetyki, niosą one za sobą różnorodne przesłania ukryte w symbolice i formie, zachęcając do głębszego zrozumienia przedstawionych treści.



Rys. 14. Mural „Wschód kultury” (ul. Lubartowska)
Źródło: opracowanie własne

Wszystkie te murale, niezależnie od swojego głównego celu, przyczyniają się do kształtowania tożsamości Lublina, łącząc przeszłość z teraźniejszością i przyszłością oraz angażując mieszkańców w aktywne uczestnictwo w życiu miasta.

PARTYCYPACJA SPOŁECZNA

Murale w przestrzeni miejskiej mogą stanowić platformę do wyrażania tożsamości lokalnych społeczności. Udział mieszkańców w kreowaniu przestrzeni wspólnej jest istotnym czynnikiem, wzmacniania więzi społecznych [9]. Zaangażowanie zbiorowości w proces twórczy pozwala na wyrażenie narracji, które odzwierciedlają jej historię, kulturę oraz wartości.

W Londynie sukcesem cieszy się działalność fundacji Co-Creative Connection zrzeszającej artystów, którzy razem ze społecznością tworzą projekty murali. Procesowi partycypacji towarzyszą warsztaty kreatywne [10]. Zaangażowanie społeczności w proces tworzenia murali pozwala na wyrażenie wspólnych idei, co przekłada się na pozytywne rozpatrywanie docelowego projektu. Ważnym aspektem jest również chęć społeczeństwa do rewitalizacji przestrzeni dzięki tzw. placemakingu, czyli transformacji przestrzeni publicznych w zachęcające, angażujące obszary, które sprzyjają interakcjom społeczności.

Mieszkańcy, dzięki wspólnej konwersacji, mogą wpłynąć na lokalizację, autora, kolorystykę, czy tematykę nowopowstałych murali. Przykładem może być udany konkurs „Hasło dla osiedla” w Poznaniu, za którą stała spółdzielnia mieszkaniowa SM „Osiedle Młodych” [11]. W procesie zostało wybrane motto przewodnie dla późniejszych prac na budynkach. Dzięki tego typu inicjatywom członkowie lokalnej społeczności mają możliwość udziału w procesie podejmowania wiążących akceptowalnych decyzji.

PROMOCJA MIASTA

Murale odgrywają ważną rolę w promocji miasta, tworząc "miejskie galerie", budują unikalny charakter przestrzeni. Na wzrost popularności malarstwa ściennego znacząco wpływają media poszukujące interesujących tematów oraz zdjęcia murali udostępniane w mediach społecznościowych. Te działania skutecznie przyciągają nowych turystów, zainteresowanych odkrywaniem sztuki w przestrzeni publicznej [12].

W Polsce można wskazać wiele miejsc, w których wielkogabarytowe malowidła ścienne stanowią atrakcję turystyczną. Renomę jednego z czołowych polskich miast pod względem liczby i jakości murali zyskała Łódź. Miejskie dzieła sztuki stworzyły tam nową, wyróżniającą się przestrzeń turystyczną [13]. Istotny wkład w ten rozwój wnosi Fundacja Urban Forms, która aktywnie promuje sztukę uliczną. Jej kluczowy projekt, Galeria Urban Forms jest stałą wystawą na fasadach budynków, tworząca artystyczny szlak dostępny dla mieszkańców i odwiedzających [14].

Murale mogą być wykorzystywane przez władze do poprawy wizerunku i promocji miasta, jako ekologicznego i dbającego o potrzeby mieszkańców. Mogą to osiągnąć poprzez wprowadzanie murali antysmogowych, które przekształcają zanieczyszczenia powietrza w dwutlenek węgla.

Tworzenie szlaków malarstwa ściennego, buduje nowe relacje między rosnącym sektorem turystyki kulturowej, przyciągając tym samym nowych odbiorców [15].



Rys. 15. Antysmogowy mural w Lublinie
Źródło: opracowanie własne

DOSTĘP DO SZTUKI NA CO DZIEŃ

Obecność murali w przestrzeni miejskiej umożliwia obcowanie ze sztuką szerokiemu gronu odbiorców. Stanowią ważny element demokratyzacji sztuki, promując równość wobec dostępu do kultury i edukacji artystycznej, a także kształtując poczucie estetyki. Według Tomasza Sikorskiego, sztuka tworzenia murali jest tak samo wartościowa, jak twórczość pokazywana w galeriach. Najważniejszym jej aspektem jest niezależność, ograniczana tylko i wyłącznie naszą wyobraźnią, oraz poczuciem estetyki [16].

Projekty muralowe często angażują lokalne społeczności, co pozytywnie wpływa na wzmacnianie się tożsamości i przynależności wśród mieszkańców danej wspólnoty. Akcje malowania murali organizowane są między innymi w formie otwartego pikniku, uwzględniając również udział osób niezajmujących się plastyką. W 2023 roku podobne wydarzenie zrealizowano przy ul. Mariana Smoluchowskiego w Lublinie. Na jednym z budynków dawnych Lubelskich Zakładów Tytoniowych powstał mural przedstawiający „Panią Bogusię” – bohaterkę jednego z archiwalnych zdjęć dokumentujących pracowników fabryki. Autorami malowidła jest MOCNO STUDIO. Wydarzenie to przyciągnęło wielu gości, którzy kibicowali artystom [17].

Ważnym aspektem istnienia murali w przestrzeni publicznej jest promowanie nowych artystów. Dzięki swojej ogólnodostępności trafiają do szerszego grona odbiorców niż w galeriach sztuki. „Są artyści, którzy niechętnie pokazują się w galeriach czy zamkniętych pracowniach. Chcą pokazać na zewnątrz to, co mają do powiedzenia szerszemu odbiorcy. To chęć dotarcia do jak największej liczby osób” [18].

ANKIETA

Jednym z etapów badań nad tematem znaczenia murali była przeprowadzona ankieta. Celem było zbadanie wiedzy społeczeństwa na temat różnic między murem a graffiti, określenie preferencji dotyczących tematyki malowideł naściennych oraz skuteczności murali w kwestii poprawy estetyki i promocji przestrzeni miejskiej.

Na podstawie udzielonych odpowiedzi można wywnioskować, że preferencje odnośnie kolorystyki przestrzeni miejskiej są zróżnicowane. 58,4% ankietowanych preferuje przestrzenie żywe i kolorowe, 41,6% lepiej czuje się w bardziej stonowanym otoczeniu. Taki wynik sugeruje, że murale nie zawsze muszą być bogate w sferze kolorystycznej. Realizacje i projekty o minimalistycznym charakterze także znajdują wielu zwolenników.

Według ankietowanych, murale są skuteczną formą reklamową i reprezentacyjną oraz mogą pełnić funkcję atrakcji turystycznej. Rozwijając temat, można przypuścić, że sztuka przedstawiona na budynkach danego miasta, nawet na tych mniej ciekawych architektonicznie, które nie są same w sobie uznawane za wartościowe, może przyciągnąć turystów do danego miejsca. Dodatkowo, zwykle duże gabarytowo prace wykonane na zabudowie, zdecydowanie przyciągają wzrok przechodniów, co może sugerować, że wykorzystanie murali może być skuteczną formą reklamy.

Zagadnieniem, które podzieliło badanych, została sama tematyka murali. Według 58,4% osób murale powinny nawiązywać do miejsca, w którym powstają. Pozostałe 41,6% odpowiadających nie zgadza się z tą tezą sugerując, że murale nie zawsze muszą swą tematyką odnosić się do kontekstu, mogą przedstawiać zupełnie inną narrację pełniąc rolę wyłącznie upiększającą.

Reasumując, ankietowani w zdecydowanej większości zwracają uwagę na murale. Ich zdaniem pełnią one znaczącą rolę w życiu codziennym, jako sposób dodania walorów estetycznych przestrzeni i mogą pozytywnie wpływać na ogólny odbiór krajobrazu miejskiego oraz na turystykę.

PARTYCYPACJA W FORMIE WARSZTATÓW ARTYSTYCZNYCH

Studenckie Koło Naukowe Malarstwa i Rysunku Politechniki Lubelskiej w ramach swojej działalności prowadzi m.in. warsztaty malarsko-rysunkowe "Lublin Rysuje". Są to otwarte spotkania dla wszystkich mieszkańców Lublina i okolic niezależnie od wieku czy umiejętności. Każde zajęcia realizują inny motyw przewodni.

Jako jedną z form badań zorganizowano dwa spotkania "Lublin Rysuje", podczas których uczestnicy mogli zaprojektować murale i przedstawić własne propozycje tematyczne. W ramach serii warsztatów, uczestnicy wykonywali projekty murali w oparciu o analizę wybranych lokalizacji w różnych częściach miasta. W wyselekcjonowanych wcześniej przez członków koła lokalizacjach oraz na przygotowanych odpowiedni podkładach w postaci zdjęć pustych ścian na terenie Lublina powstało łącznie około 50 projektów.

Za przykładowe lokalizacje posłużyły miejsca, w których członkowie koła dostrzegli pewien walor historyczny, społeczny bądź artystyczny, znalazły się wśród nich również mniej charakterystyczne miejsca takie jak ściany bloków na osiedlach mieszkaniowych. Jednak to właśnie podkłady ze ścianami ze Starego Miasta, Śródmieścia oraz okolic dworca PKS cieszyły się największą popularnością wśród badanych.

ANALIZA POWSTAŁYCH PRAC

Według dokonanych analiz prac wykonanych przez osoby uczestniczące w warsztatach, zauważalna część była związana z kontekstem miejsca, w którym powstawał projekt. Jednym z przykładów jest ściana budynku znajdującego się w pobliżu dawnego dworca PKS w Lublinie. Uczestnicy warsztatów odnosili się bardzo bezpośrednio do podstawowych skojarzeń dotyczących wybranej lokalizacji. Prace, które powstawały, bardzo często przedstawiały autobusy z zauważalnym odniesieniem do kolorystyki komunikacji miejskiej.

Stary Dworzec PKS



Rys. 16. Praca z warsztatów Lublin rysuje
Źródło: Opracowanie własne.

Stary Dworzec PKS



Rys. 17. Praca z warsztatów Lublin Rysuje
Źródło: Opracowanie własne.

Stary Dworzec PKS



Rys. 18. Praca z warsztatów Lublin Rysuje
Źródło: Opracowanie własne.

Śródmieście- okolice szkoły muzycznej



Rys. 19. Praca z warsztatów Lublin Rysuje
Źródło: Opracowanie własne.

W każdej z przedstawionych w tym wątku prac występuje nawiązanie do tego, co jest charakterystyczne w danym obszarze. Dodatkowo uczestnicy warsztatów wykazywali tendencję do prostych form bezpośrednio nawiązujących do danego miejsca, czego przykładem może być okolica szkoły muzycznej.



Rys. 20. Praca z warsztatów Lublin Rysuje
Źródło: Opracowanie własne.

Śródmieście- okolice szkoły muzycznej



Rys. 21. Praca z warsztatów Lublin Rysuje
Źródło: Opracowanie własne.

Kontekst, który pojawiał się równie często to upamiętnienie lub zwrócenie się do historii Lublina, pokazanie jego struktury lub motywy nawiązujące do legend o genezie powstania miasta. Wielu uczestników decydując się na taki krok, wybrało na warsztat symbol znajdujący się w herbie Lublina, czyli kozła wraz z barwami, które mu towarzyszą, bądź ryby nawiązujące do nazwy Lublina.

Stare Miasto



Rys. 22. Praca z warsztatów Lublin Rysuje
Źródło: Opracowanie własne.

Kunickiego



Rys. 23. Praca z warsztatów Lublin Rysuje
Źródło: Opracowanie własne.

Śródmieście- okolice Placu Kaczyńskiego i Placu Litewskiego



Rys. 24. Praca z warsztatów Lublin Rysuje
Źródło: Opracowanie własne.

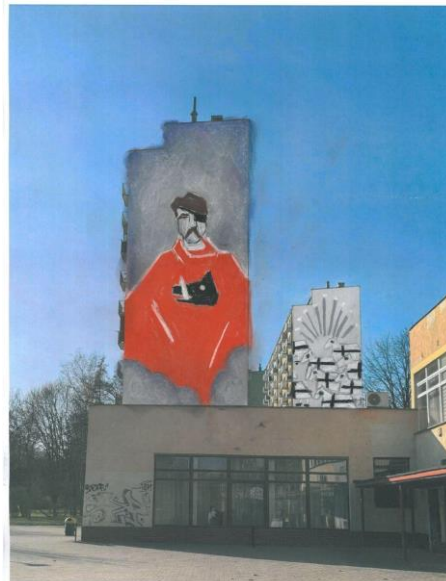
W analizowanych pracach znalazły się również projekty, które nie nawiązywały swoją tematyką do miejsca ich powstania, miały rolę wyłącznie estetyzującą dla przestrzeni.

Śródmieście



Rys. 25. Praca z warsztatów Lublin Rysuje
Źródło: Opracowanie własne.

Rury - LSM Juranda



Rys. 26. Praca z warsztatów Lublin Rysuje
Źródło: Opracowanie własne



Rys. 27. Praca z warsztatów Lublin Rysuje
Źródło: Opracowanie własne

PODSUMOWANIE

Temat murali w przestrzeni miasta cieszy się dużym zainteresowaniem jako forma upiększania krajobrazu miejskiego a w rezultacie jako rodzaj atrakcji turystycznej przyciągającej nowych zwiedzających. Społeczeństwo z chęcią angażuje się w wydarzenia związane z tematyką murali, z przeprowadzonej ankiety wynika, że ludzie zwracają uwagę na malowidła ścienne w przestrzeni miasta, według nich murale są skuteczną formą promocji miasta. Zdania co do tematyki murali są podzielone, część mieszkańców uważa że powinny nawiązywać do kontekstu miejsca co potwierdzają projekty zrealizowane na zajęciach „Lublin Rysuje”, reszta wręcz przeciwnie, jest otwarta na podejmowanie różnych tematów i uważają, że malowidła naścienne mogą pełnić jedynie rolę upiększającą.

LITERATURA

- [1] PWN (b.d). Mural. W Słownik języka polskiego PWN, dostęp dnia 15.06.2024
- [2] Stasiak A., *Mural i jego rola w przestrzeni zurbanizowanej. Integracja sztuki i techniki w architekturze i urbanistyce. Tom IV/III/* ed. dr inż. arch. Radomir Nowakowski Bydgoszcz: Wydawnictwo Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego, 2016, s.83-91
- [3] Błotnicka-Mazur E., Lameński L., Pastwa M., *Kreowanie przyjaznej przestrzeni – Lubelskie Spotkania Plastyczne '76*, Lublin 2016
- [4] Kamiński I.J, *Lubelskie Spotkania Plastyczne*, Lublin 1979
- [5] Łapiński J.L., Smoczyńska A., *MURALE JAKO GALERIA SZTUKI W KRAJOBRAZIE MIEJSKIM NA PRZYKŁADZIE MIASTA LUBLIN*, Wydawnictwo: Komisja Krajobrazu Kulturowego PTG 2019

- [6] Kaznowski M., *Mur(al)owe podwoje do przeszłości – murale jako nośniki kultury historycznej na przykładzie wybranych prac w południowo-wschodniej Polsce* Zeszyty Naukowe Towarzystwa Doktorantów UJ
- [7] Krzywik A., *Rola murali we współczesnym funkcjonowaniu miejskich ruchów społecznych w przestrzeni publicznej miast. Przegląd wybranych działań artystycznych* Przegląd Socjologii Jakościowej Tom XVIII Numer 2, Maj 2022 .
- [8] <https://teatrnn.pl/miastopoezji/murale/> (dostęp z dnia 18.06.2024)
- [9] Barska A., Knapik W., Kołodziej A., Marański J., Słaboń A., *Jakość pracy a stan więzi społecznych*. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego Katowice 2020
- [10] <https://www.cocreativeconnection.com/post/murals-and-placemaking-transforming-london-s-urban-landscape> (dostęp z dnia 18.06.2024)
- [11] <https://osiedlemlodych.pl/mural-dla-osiedla/> (dostęp z dnia 18.06.2024)
- [12] Makohonienko M., Matulewski P., Świeściak M., *Turystyka graffiti w opinii respondentów z wybranych miast: Gdańsk, Łódź, Poznań*, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, sierpień 2015
- [13] Jażdżewska I., *MURAL JAKO ATRAKCJA TURYSTYCZNA W MIEŚCIE POPRZEMYSŁOWYM – PRZYKŁAD ŁODZI*, „Turyzm” 2017
- [14] <https://www.urbanforms.org/o-nas/> (dostęp z dnia 18.06.2024)
- [15] Niemczyk A., Paliś B., *Mural jako narzędzie promocji turystycznej miasta*, Przedsiębiorczość i zarządzanie 2017 Wydawnictwo SAN
- [16] Rutkiewicz M., Sikorski T., *Graffiti w Polsce: 1940-2010*, Warszawa 2011, s.12
- [17] *Malowanie muralu Pani Bogusi*, Tytonie Lublin,(15.08.2023 r.),
<https://lubelskietytonie.pl/wydarzenia/malowanie-muralu-pani-bogusi/?back=ago>, dostęp dnia 21.06.2024 r.
- [18] Pasieczny J., *Mural - aktywność plastyczna a wychowanie i integracja*: 2016, s.62

Modelowanie 3D w planowaniu zabiegów chirurgicznych

SUMMARY

3D modeling represents a significant technological advancement in medicine, enabling the creation of three-dimensional representations of anatomical structures. 3D models, obtained through scanning and medical imaging methods, can be used for surgical planning. Their use aligns with the philosophy of personalized patient care, reducing the risk of surgical complications. In medical education, anatomical models enhance the understanding of anatomy. This article aims to present the methods of creating 3D models, including their production and applications.

Key words – 3D printing, anatomical models, 3D scanning,

WSTĘP

Planowanie przedoperacyjne jest kluczowe dla sukcesu zabiegu chirurgicznego. Może zmniejszyć ryzyko oraz skrócić czas operacji. Wcześniejsze doświadczenie i obrazowanie medyczne są podstawą standardowego planowania przedoperacyjnego. Jednakże brak praktycznego przygotowania i możliwości wystarczającej wizualizacji struktur anatomicznych może sprawić, że lekarze będą źle przygotowani do operacji [17].

Jednym z rozwiązań niewystarczającej wizualizacji obszarów, na których wykonywany będzie zabieg jest modelowanie 3D. Zastosowanie metod modelowania medycznego umożliwia m.in. tworzenie szczegółowych, cyfrowych modeli specyficznych dla konkretnego pacjenta. Cyfrowe modele medyczne to trójwymiarowe reprezentacje struktur anatomicznych, tworzone przy użyciu zaawansowanego oprogramowania komputerowego.

Takie cyfrowe modele mogą zostać wytworzone przy pomocy druku 3D. Fizyczne modele anatomiczne zapewniają lekarzom informacje o anatomii, ale również mogą służyć do ćwiczenia zabiegu chirurgicznego na takim modelu. Jeden z przeglądów systematycznych wykazał, że w przypadku 82% analizowanych badań lepsze wyniki chirurgiczne były osiągnięte, gdy do planowania przedoperacyjnego były stosowane specyficzne modele anatomiczne wykonane przy pomocy druku 3D zamiast standardowego planowania przedoperacyjnego. Natomiast w ponad 50% badań osiągnięto skrócenie czasu trwania operacji [19].

Celem pracy jest przedstawienie metod modelowania 3D stosowanych w medycynie, a w szczególności w planowaniu przedoperacyjnym.

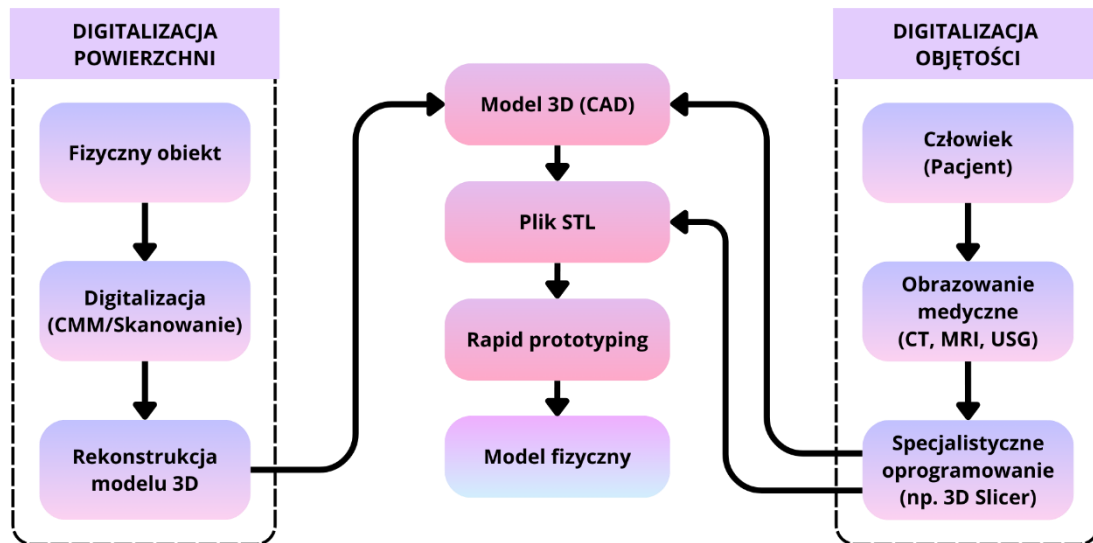
MODELOWANIE 3D

Metody modelowania 3D pozwalają na uzyskanie cyfrowych modeli anatomicznych. Przy uzyskaniu takich modeli można wyróżnić dwie odrębne metody ich przygotowania: digitalizację powierzchni oraz

¹ Politechnika Rzeszowska, Wydział Matematyki i Fizyki Stosowanej, Katedra Fizyki i Inżynierii Medycznej, Studenckie Koło Naukowe X-Med

² Politechnika Rzeszowska, Wydział Matematyki i Fizyki Stosowanej, Katedra Fizyki i Inżynierii Medycznej, Opiekun Studenckiego Koła Naukowego X-Med, wwojnarowska@prz.edu.pl
www.viacarpatia.pro

digitalizację objętości (rys. 1). W pierwszym podejściu modele tworzone są przy zastosowaniu systemów pomiarowych optycznych, takich jak np. skaner 3D lub metod stykowych, jak np. maszyna współrzędnościowa (ang. *Coordinate-Measuring Machine, CMM*). W drugiej metodzie modele przygotowywane są na podstawie danych z obrazowania medycznego [5, 23].



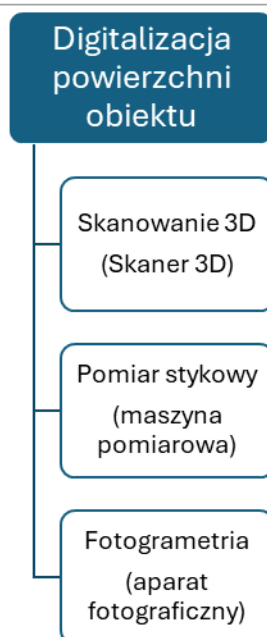
Rys. 19. Dwa podejścia do tworzenia modeli anatomicznych
Źródło: opracowanie własne na podstawie [5, 23]

Zastosowanie digitalizacji powierzchni umożliwia tworzenie modeli na podstawie obiektów znajdujących się poza ludzkim ciałem np. struktur pobranych od zmarłych. Natomiast przy zastosowaniu digitalizacji objętości uzyskuje się odwzorowanie struktur osób żywych. Wobec tego drugie podejście umożliwia uzyskanie reprezentacji struktur anatomicznych konkretnego pacjenta i jest bardziej przydatne w planowaniu zabiegów chirurgicznych. Jednakże obie metody modelowania 3D znajdują zastosowanie w medycynie. W dalszej części artykułu zostaną krótko scharakteryzowane oba podejścia, jak również zostanie przedstawiony sposób wytwarzania fizycznych modeli.

MODELOWANIE MEDYCZNE PRZY ZASTOSOWANIU DIGITALIZACJI POWIERZCHNI

Digitalizacja powierzchni umożliwia cyfrowe odwzorowanie obiektów i przestrzeni rzeczywistości poprzez analizę ich powierzchni i struktury. Proces ten polega na pozyskiwaniu danych, które są następnie przetwarzane w celu tworzenia trójwymiarowych modeli, odwzorowujących oryginalne obiekty. Do tego typu digitalizacji wykorzystuje się urządzenia pomiarowe, takie jak skanery 3D, maszyny współrzędnościowe oraz aparaty fotograficzne (rys. 2) [23].

Metodą najczęściej używaną do digitalizacji powierzchni obiektów anatomicznych jest skanowanie 3D. Podczas skanowania 3D zbierana jest duża liczba punktów, które formują tzw. chmurę punktów. Chmura ta zawiera informacje o położeniu każdego punktu na powierzchni skanowanego obiektu w trójwymiarowej przestrzeni. Dzięki temu możliwe jest dokładne odwzorowanie kształtów obiektu anatomicznego [16].



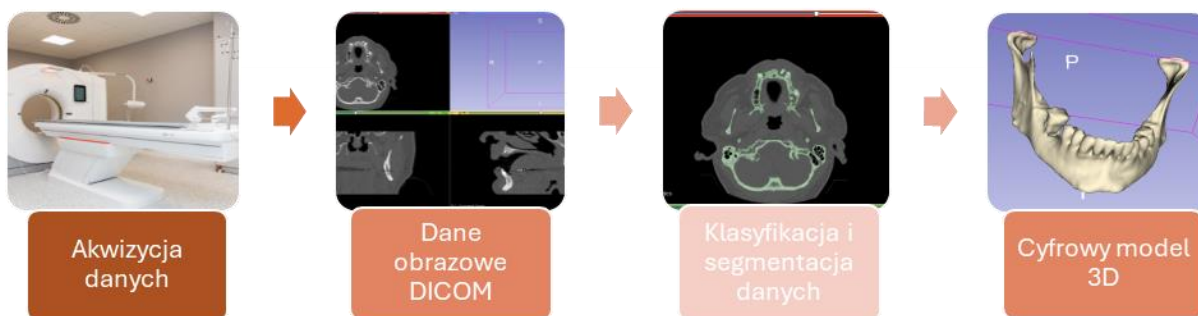
Rys. 20. Digitalizacja powierzchniowa obiektów fizycznych
Źródło. Opracowanie własne na podstawie [23]

ODWZOROWANIE STRUKTUR ANATOMICZNYCH NA PODSTAWIE OBRAZOWANIA MEDYCZNEGO

Obrazowanie medyczne to technika diagnostyczna, która pozwala na przedstawienie struktur anatomicznych ludzkiego ciała oraz ich zmian patologicznych za pomocą obrazów. Dzięki tej metodzie możliwe jest wykrywanie schorzeń, urazów oraz różnorodnych chorób bez konieczności wykonywania operacji. Obrazowanie medyczne jest wykorzystywane w wielu dziedzinach medycyny. Do metod obrazowania medycznego zalicza się m.in. tomografię komputerową (ang. *Computed Tomography, CT*) oraz obrazowanie metodą rezonansu magnetycznego (ang. *Magnetic Resonance Imaging, MRI*) [6]. Standard, który definiuje format przechowywania oraz sposób przesyłania danych z obrazowania medycznego między urządzeniami medycznymi, to DICOM (ang. *Digital Imaging And Communications In Medicine*). Stosowanie ujednoczonego standardu zapewnia kompatybilność danych, jak również integrację pomiędzy różnymi urządzeniami i systemami medycznymi [7].

Dane DICOM mogą być wykorzystywane do odwzorowywania struktur anatomicznych przy zastosowaniu metod modelowania 3D. Proces uzyskania trójwymiarowych modeli struktur anatomicznych obejmuje import sekwencji obrazów w formacie DICOM do specjalistycznego oprogramowania, klasyfikację i segmentację voxelów należących do wybranego obszaru, a następnie generowanie trójwymiarowego modelu na ich podstawie (rys. 3).

Przygotowanie modeli medycznych jest skomplikowanym i wieloetapowym procesem, który wymaga specjalistycznego oprogramowania, takiego jak Mimics, MeVisLab oraz 3D Slicer [7, 17]. Kluczowym etapem tego procesu jest segmentacja, która umożliwia precyzyjne wyodrębnienie interesujących struktur lub tkanek. Po przeprowadzeniu segmentacji model 3D może być dalej ręcznie obrabiany, w tym usuwane są artefakty i poprawiane szczegóły. Uzyskany model wirtualny jest zapisywany w formacie STL i może być następnie poddany dalszej analizie, a także wykorzystany do stworzenia jego fizycznej wersji.



Rys. 21. Proces rekonstrukcji danych i tworzenia modelu 3D
Źródło: opracowanie własne.

WYTWARZANIE MODELI MEDYCZNYCH

Do wytwarzania modeli medycznych o skomplikowanych kształtach najczęściej stosuje się druk 3D. Termin ten odnosi się do wybranych przyrostowych technik wytwarzania, w których fizyczne obiekty tworzone są na podstawie danych cyfrowych poprzez nakładanie kolejnych warstw materiału. Wśród nich można wyróżnić osadzanie topionego materiału (ang. *Fused Deposition Modeling*, FDM) oraz stereolitografię (ang. *Stereolithography*, SLA) [7].

Proces wytwarzania modeli medycznych za pomocą druku 3D obejmuje kilka etapów (rys. 4). Pierwszym z nich jest „slicing”, czyli przetworzenie cyfrowego modelu na zestaw instrukcji czytelny dla drukarki 3D. Na tym etapie ustala się parametry druku, a obiekt jest dzielony na warstwy. Efektem tego procesu jest plik g-code, który jest przesyłany do drukarki 3D. Następnie drukarka 3D wytwarza obiekt, warstwa po warstwie, zgodnie z wygenerowanym kodem g-code.



Rys. 22. Etapy procesu druku 3D
Źródło: opracowanie własne

Technologie druku 3D różnią się między sobą procesem wytwórczym oraz rodzajem materiału. W technologii FDM do produkcji używa się materiałów termoplastycznych w postaci cienkiej żyłki – filamentu. Filament jest podgrzewany do postaci plastycznej i następnie wytłaczany na platformę roboczą warstwa po warstwie. Natomiast w technologii SLA wykorzystuje się płynną żywicę, której kolejne warstwy są utwardzane w procesie fotopolimeryzacji za pomocą promieniowania ultrafioletowego [17].

ZALETY DRUKU 3D W KONTEKŚCIE WYTWARZANIA MODELI MEDYCZNYCH

Druk 3D w kontekście wytwarzania modeli medycznych posiada wiele zalet. Przede wszystkim, wytworzenie pojedynczego elementu przy użyciu druku 3D jest znacznie tańsze i szybsze niż przy zastosowaniu tradycyjnych metod. Zastosowanie druku 3D w przypadku produkcji na małą skalę jest bardziej opłacalne niż stosowanie tradycyjnych technik, zwłaszcza w przypadku produkcji jednostkowej. Efektem tego jest możliwość efektywnego kosztowo tworzenia modeli indywidualnych, jak również spersonalizowanych ortez, protez czy implantów. Wobec tego druk 3D umożliwia

stosowanie podejścia spersonalizowanego do pacjenta, co przekłada się na znaczącą poprawę jakości opieki nad pacjentem [8].

Kolejną istotną zaletą druku 3D jest jego względna szybkość produkcji. Jest to niezbędne w sytuacjach, gdzie czas jest krytyczny. Tradycyjne metody często wymagają tygodni lub miesięcy na stworzenie potrzebnych modeli, co w sytuacjach krytycznych jest nieakceptowalne. W przypadku druku 3D proces ten może trwać zaledwie kilka godzin, co czyni go znacznie bardziej efektywnym narzędziem, szczególnie w produkcji protez czy modeli anatomicznych. Technologia ta stale się rozwija, co może prowadzić do dalszego skracania czasu produkcji dzięki optymalizacji parametrów wydruku oraz zastosowaniu zaawansowanych rozwiązań technologicznych, takich jak głowice drukujące z możliwością druku wielomateriałowego [1].

Ponadto, technologia druku 3D jest bardziej efektywna materiałowo, co przekłada się na redukcję kosztów i ilości odpadów. Tradycyjne metody produkcji, takie jak frezowanie czy odlewanie, często generują więcej odpadów, co jest nie tylko kosztowne, ale także niekorzystne dla środowiska. Druk 3D wykorzystuje tylko tyle materiału, ile jest niezbędne do stworzenia danego modelu [24].

ZASTOSOWANIE MODELI MEDYCZNYCH WYTWARZANYCH PRZY POMOCY DRUKU 3D W PLANOWANIU ZABIEGÓW CHIRURGICZNYCH

Planowanie przedoperacyjne jest kluczowym elementem sukcesu chirurgicznego. Modele medyczne wytworzone na podstawie danych DICOM umożliwiają wizualizację struktur anatomicznych pacjenta. Dzięki tym modelom lekarze mogą ćwiczyć wybrane procedury chirurgiczne, opracować zindywidualizowane strategie operacyjne, wybrać najlepiej dopasowane przyrządy oraz przewidywać potencjalne wyzwania i komplikacje [7]. Pozwala to na lepsze przygotowanie się do zabiegu, minimalizując ryzyko błędów i komplikacji podczas operacji. Ponadto, jak wykazał Ballard i wsp. [2], zastosowanie drukowanych modeli medycznych pozwala znacząco skrócić czas operacji – średnio o 62 minuty. Również Dadhich i wsp. [9] podkreślili, że wykorzystanie modeli 3D do planowania przedoperacyjnego skutkuje skróceniem czasu zabiegu. Wobec tego można stwierdzić, że wykorzystanie drukowanych modeli 3D prowadzi do istotnych oszczędności czasu operacyjnego. Modele anatomiczne znajdują zastosowanie w planowaniu różnego rodzaju zabiegów, takich jak operacje rekonstrukcyjne [10], czy też przeszczepy narządów. Wykorzystywane są w wielu specjalizacjach chirurgicznych, w tym w kardiochirurgii, chirurgii ogólnej, ortopedycznej, neurochirurgii i urologii [11].

W kardiochirurgii drukowane modele serca są stosowane m.in. do planowania operacji naprawczych [7] i wszczepień zastawki [18] lub bypassów. Na przykład Bhatla i wsp. [4] stworzyli model serca jednego ze swoich pacjentów, który umożliwił wybór nietypowej metody zamknięcia ubytku przegrody międzykomorowej, co pozwoliło na uniknięcie potencjalnych powikłań. Z kolei badania retrospektywne przeprowadzone przez Qian i wsp. [14] wykazały, że zastosowanie modeli medycznych dostosowanych do specyfiki pacjenta pozwoliło przewidzieć przecieki okołozastawkowe w 75% analizowanych przypadków. Natomiast Ripley i wsp. [15] w retrospektywnym badaniu z udziałem pacjentów poddanych przezcewnikowej wymianie zastawki aortalnej pokazali, że modele medyczne umożliwiły przewidzenie niedomykalności zastawki aortalnej w 11 z 16 przypadków. Z przedstawionych badań wynika, że modele medyczne, dostosowane do indywidualnych cech pacjenta, pozwalają na lepsze planowanie operacji i przewidywanie potencjalnych powikłań, co przyczynia się do poprawy wyników leczenia. Modele te mogą również pomóc w zrozumieniu skomplikowanych wad wrodzonych serca, co umożliwi dokładniejsze planowanie operacji korekcyjnych u dzieci. Przykładowo, u pacjentów

z hipoplazją łuku aorty zastosowano je podczas wewnątrznacyniowego stentowania, aby ocenić optymalne położenie i rozmiar stentu. Przyczyniło się to do skuteczniejszego planowania i przeprowadzenia interwencji [20].

W chirurgii ogólnej najczęściej opracowuje się anatomiczne modele 3D nerek i wątroby [13]. Jak wykazali Witowski i współpracownicy [22], drukowany model wątroby może być niezwykle pomocny w planowaniu złożonych i rozległych laparoskopowych resekcji tego narządu. W ich badaniu zastosowanie takiego modelu doprowadziło do zmiany podejścia chirurgicznego w 26,3% przypadków (5 na 19 pacjentów). Na tej podstawie można stwierdzić, że modele te umożliwiają chirurgom lepsze przygotowanie do operacji, co przekłada się na wyższe bezpieczeństwo pacjentów.

W chirurgii ortopedycznej najczęściej tworzy się modele struktur kostnych, które służą jako odniesienie śródoperacyjne, wspomagając chirurgów w ocenie różnych podejść i wyborze optymalnej strategii operacyjnej [11]. Badania przeprowadzone przez Betancourt i wsp. [3] wykazały, że stosowanie drukowanych modeli medycznych może prowadzić do znaczącego skrócenia czasu trwania operacji. Przykładowo, w dwóch analizowanych przypadkach operacji kręgosłupa czas zabiegu skrócono o 94 minuty, co stanowiło znaczną część całkowitego czasu trwania operacji wynoszącego 210 minut.

Drukowane modele 3D odgrywają także coraz większą rolę w neurochirurgii. Neurochirurdzy mogą korzystać z tych modeli do symulacji zabiegów, co pozwala na dokładniejsze zaplanowanie strategii operacyjnej. Przykładowo, modele guzów mózgu umożliwiają szczegółową ocenę ich relacji z otaczającymi strukturami anatomicznymi, co jest kluczowe dla bezpiecznej i efektywnej resekcji [12]. Standardowe dane obrazowe, takie jak te uzyskane z tomografii komputerowej czy rezonansu magnetycznego, mogą nie dostarczać pełnego obrazu, zwłaszcza w kontekście złożonych układów naczyniowych czy precyzyjnego położenia guza względem sąsiadujących struktur. Modele drukowane w 3D, indywidualnie dostosowane do pacjenta, odzwierciedlają dokładne wymiary i lokalizację guza w relacji do mózgu, naczyń krwionośnych i kości czaszki. Dzięki temu neurochirurdzy mogą zidentyfikować krytyczne obszary, które należy chronić podczas operacji, co znacząco zwiększa bezpieczeństwo pacjenta i szanse powodzenia zabiegu [11].

Większość badań dotyczących zastosowania druku 3D w planowaniu przedoperacyjnym w urologii koncentruje się na zabiegach związanych z rakiem nerki i prostaty. W tego typu operacjach jednym z kluczowych wyzwań jest minimalizacja ryzyka wystąpienia dodatnich marginesów chirurgicznych, które znacząco wpływają na rokowanie pacjenta [11]. Jeden z przykładów zastosowania modeli medycznych to wykorzystanie przedoperacyjnych danych z obrazowania 10 pacjentów oraz druku 3D do stworzenia silikonowych modeli nerek w celu przeciwczenia laparoskopowej częściowej nefrektomii wspomaganej robotem [21].

W stomatologii oraz chirurgii szczękowo-twarzowej modele medyczne wykorzystuje się do opracowywania szablonów chirurgicznych. Szablony te pomagają lekarzom w prawidłowym ustawieniu wiertel i umieszczeniu implantów zgodnie z planem przedoperacyjnym. Ponadto, w chirurgii szczękowo-twarzowej indywidualne modele medyczne są wykorzystywane do planowania rekonstrukcji po resekcji nowotworów. Ich stosowanie pomaga chirurgom w rozumieniu przestrzennych relacji między strukturami twarzy oraz pooperacyjnym przywróceniu jej symetrii i kształtu [9].

Modele medyczne wytworzone do planowania przedoperacyjnego mogą później znaleźć zastosowanie w procesie kształcenia studentów medycyny, umożliwiając im praktyczne ćwiczenia na realistycznych replikach narządów i struktur ciała ludzkiego. Pozwala to głównie studentom, ale nie tylko, na wizualizację i dokładniejsze zapoznanie się z tematem [24]. Modele 3D są również wykorzystywane do edukacji pacjentów na temat planowanych zabiegów, co znacząco podnosi ich zrozumienie procedur medycznych oraz potencjalnych ryzyk. Takie wizualne reprezentacje pomagają

pacjentom lepiej zrozumieć swoje przypadki, co z kolei poprawia komunikację oraz buduje większe zaufanie między nimi a lekarzem.

PODSUMOWANIE

Modelowanie 3D przynosi ogromne korzyści w planowaniu zabiegów chirurgicznych. Opracowane modele, wytwarzane przy pomocy technologii druku 3D, stanowią dokładną reprezentację struktur anatomicznych konkretnego pacjenta. Stosowanie spersonalizowanych modeli anatomicznych do planowania przedoperacyjnego wpływa na poprawę jakości opieki medycznej, zmniejszając ryzyko błędów i komplikacji podczas zabiegów.

Modele medyczne wytwarzane na podstawie danych DICOM odgrywają istotną rolę w nowoczesnym planowaniu operacyjnym, umożliwiając lekarzom wizualizację struktur anatomicznych pacjenta oraz opracowanie spersonalizowanych strategii chirurgicznych. Ich zastosowanie pozwala na dokładniejsze przećwiczenie procedur, dobór optymalnych narzędzi oraz przewidywanie potencjalnych komplikacji, co przekłada się na lepsze przygotowanie do zabiegów i minimalizację ryzyka błędów. Badania wskazują, że użycie modeli 3D znacząco skraca czas operacji, co poprawia efektywność i bezpieczeństwo procedur chirurgicznych.

Modele medyczne znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach medycyny, zwłaszcza w specjalnościach chirurgicznych, takich jak kardiochirurgia, chirurgia ogólna czy neurochirurgia. Szerokie zastosowanie technologii 3D w tych obszarach, a także w edukacji medycznej, czyni ją cennym narzędziem w nowoczesnej medycynie. Modele 3D nie tylko wspomagają planowanie zabiegów, ale również przyczyniają się do szybszej rehabilitacji pacjentów, lepszego dostosowania terapii do indywidualnych potrzeb oraz doskonalenia umiejętności chirurgów.

LITERATURA

- [1] Attaran, M., *The rise of 3-D printing: the advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing*, Business Horizons, 60(5), 2017
- [2] Ballard, D.H., Mills, P., Duszak, R., Jr, Weisman, J.A., Rybicki, F.J., Woodard, P.K., *Medical 3D Printing Cost-Savings in Orthopedic and Maxillofacial Surgery: Cost Analysis of Operating Room Time Saved with 3D Printed Anatomic Models and Surgical Guides*, Academic radiology, 27(8), 2020
- [3] Betancourt, M.C., Araújo, C., Marín, S., Buriticá, W., *The Quantitative Impact of Using 3D Printed Anatomical Models for Surgical Planning Optimization: Literature Review*, 3D printing and additive manufacturing, 10(5), 2023
- [4] Bhatla, P., Tretter, J.T., Chikkabyrappa, S., Chakravarti, S., Mosca, R.S., *Surgical Planning for a Complex Double-Outlet Right Ventricle Using 3D Printing*, Echocardiography, 34, 2017
- [5] Budzik, G., Burek, J., Dziubek, T., Markowska, O., Turek, P., *Rekonstrukcja geometrii zuchwy i korony zęba przy użyciu optycznych systemów pomiarowych*, Problemy Nauk Stosowanych. 2, 2014
- [6] Bushberg, J.T., Seibert, J.A., Leidholdt, E.M., Boone, J.M., *The Essential Physics of Medical Imaging*. Lippincott Williams & Wilkins, 2011
- [7] Chen, W.-L., Yang, T.-L., Wang, J.-N. i Kan, C.-D., *Application of three-dimensional printing in surgical planning for medical application*, [w]: Advances in 3D printing. IntechOpen, 2023
- [8] Ciemny, K., *Dlaczego medycyna potrzebuje druku 3D?*, Medical Robotics Report, 6, 2017.
- [9] Dadhich, A., Nilesh, K., Shah, S., Saluja, H., *Three-dimensional printing in maxillofacial surgery: a quantum leap in future*, National Journal of Maxillofacial Surgery, 13(4), 2022

- [10] Krakowczyk, Ł., Piotrowska-Seweryn, A., Szymczyk, C., Wierzgoń, J., Oleś, K., Ulczok, R., Donocik, K., Dowgierd, K., Maciejewski, A., *Wirtualne planowanie przestrzenne i tomografia komputerowa wiązki stożkowej w chirurgii rekonstrukcyjnej guzów głowy i szyi – badanie pilotażowe*, Polish Journal of Otolaryngology, 75(2), 2021
- [11] Meyer-Szary, J., Luis, M.S., Mikulski, S., Patel, A., Schulz, F., Tretiakow, D., Fercho, J., Jaguszewska, K., Frankiewicz, M., Pawłowska, E., Targoński, R., Szarpak, Ł., Dądela, K., Sabiniewicz, R., Kwiatkowska, J., *The Role of 3D Printing in Planning Complex Medical Procedures and Training of Medical Professionals—Cross-Sectional Multispecialty Review*, International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(6), 2022
- [12] Nagassa, R.G., McMenamin, P.G., Adams, J.W., Quayle, M.R., Rosenfeld, J.V., *Advanced 3D Printed Model of Middle Cerebral Artery Aneurysms for Neurosurgery Simulation*, 3D Printing in Medicine, 5, 2019
- [13] Pietrabissa, A., Marconi, S., Negrello, E., Mauri, V., Peri, A., Pugliese, L., Marone, E.M., Auricchio, F., *An Overview on 3D Printing for Abdominal Surgery*. Surgical Endoscopy, 34, 2020
- [14] Qian, Z., Wang, K., Liu, S., Zhou, X., Rajagopal, V., Meduri, C., Kauten, J.R., Chang, Y.-H., Wu, C., Zhang, C., Wang, B., Vannan, M.A., *Quantitative Prediction of Paravalvular Leak in Transcatheter Aortic Valve Replacement Based on Tissue-Mimicking 3D Printing*, JACC: Cardiovascular Imaging, 10, 2017
- [15] Ripley, B., Kelil, T., Cheezum, M.K., Goncalves, A., Di Carli, M.F., Rybicki, F.J., Steigner, M., Mitsouras, D., Blankstein, R., *3D Printing Based on Cardiac CT Assists Anatomic Visualization Prior to Transcatheter Aortic Valve Replacement*, Journal of Cardiovascular Computed Tomography, 10, 2016
- [16] Salwierz, A., Szymczyk, T., *Metody wytwarzania realistycznych pomieszczeń – skanowanie 3D oraz modelowanie 3D*, Journal of Computer Sciences Institute. 14, 2020
- [17] Segaran, N., Saini, G., Mayer, J. L., Naidu, S., Patel, I., Alzubaidi, S. i Oklu, R., *Application of 3D printing in preoperative planning*, Journal of Clinical Medicine. 10(5), 2021
- [18] Sodian, R., Schmauss, D., Markert, M., Weber, S., Nikolaou, K., Haeberle, S., Vogt, F., Vicoli, C., Lueth, T., Reichart, B., Schmitz, C., *Three-Dimensional printing creates models for surgical planning of aortic valve replacement after previous coronary bypass grafting*, The Annals of Thoracic Surgery. 85(6), 2008
- [19] Tack, P. Victor, J. Gemmel, P., Annemans, L., *3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review*, Biomedical engineering online, 15, 2016
- [20] Valverde, I., Gomez, G., Coserria, J.F., Suarez-Mejias, C., Uribe, S., Sotelo, J., Velasco, M.N., Santos De Soto, J., Hosseinpour, A.R., Gomez-Cia, T., *3D Printed Models for Planning Endovascular Stenting in Transverse Aortic Arch Hypoplasia*, Catheterization and Cardiovascular Interventions., 85, 2015
- [21] von Rundstedt, F.C., Scovell, J.M., Agrawal, S., Zaneveld, J., Link, R.E., *Utility of Patient-Specific Silicone Renal Models for Planning and Rehearsal of Complex Tumour Resections Prior to Robot-Assisted Laparoscopic Partial Nephrectomy*. BJU International, 119, 2017
- [22] Witowski, J., Budzyński, A., Grochowska, A. Ballard, D.H., Major, P., Rubinkiewicz, M., Złahoda-Huzior, A., Popiela, T.J., Wierdak, M., Pędziwiatr, M., *Decision-making based on 3D printed models in laparoscopic liver resections with intraoperative ultrasound: a prospective observational study*, European Radiology, 30, 2020
- [23] Wyleżół, M., Muzalewska, M. *Metodyka modelowania w inżynierii biomedycznej z użyciem inżynierii rekonstrukcyjnej*, Mechanik, 2, K42, 2015

[24] Zastosowania drukarek 3D w medycynie, <https://cadxpert.pl/drukowanie-3d/zastosowania-druku-3d/medycyna/>, dostęp dnia 14.06.2024 roku

BEATA WALICKA-GÓRAL¹, JAKUB SKIERSKI², PATRYCJA MATYŚ³, ALEKSADRA HASNY⁴, WALDEMAR NALEPKA⁵, KATARZYNA STRENCIWILK⁶, ALICJA MOSIEWICZ⁷

Idea woonerf w praktyce na przykładzie wybranych łódzkich realizacji

SUMMARY

A woonerf is a street designed with a focus on prioritizing pedestrians and cyclists while calming motor vehicle traffic. It eliminates traditional traffic zones and incorporates small architectural elements that discourage drivers from speeding. A good woonerf is accessible and functional for all users, including people with disabilities, by removing curbs and other barriers. The article presents outcomes from scientific research conducted in 2023 during an enrichment program in Łódź by members of the Studenckie Koło Naukowe Architektury Miejsc Społecznych (Student Scientific Circle of Architecture from the University of Technology in Rzeszow, Poland). The analyzed woonerfs in Łódź present diverse examples of how urban spaces can be transformed to better serve residents. Each of them introduces unique solutions that can contribute to the creation of an ideal woonerf. Based on the analysis, the following key features can be highlighted to design a quasi-ideal urban space:

From the woonerf on 6 Sierpnia Street, it is worth adopting the shared space concept for pedestrians, cyclists, and drivers, where the absence of traditional curbs facilitates smooth movement and integration of different users. From the woonerf on Lindleya Street, the division of space into functional areas, including recreational zones and parking spaces, is particularly inspiring, as it supports diverse uses of the space by residents. From the woonerf on Knychalskiego Street, solutions tailored to people with disabilities, such as flat surfaces made of concrete slabs and the elimination of architectural barriers, should be incorporated to enhance universal accessibility. Aesthetic solutions should combine elements of small architecture, such as benches, planters with greenery, or a historical clock (from Knychalskiego Street), which add unique character to the space and emphasize its identity. By combining these features, an ideal woonerf can become not only functional but also aesthetically pleasing, open to the needs of residents, and supportive of social integration. The analyzed woonerfs in Łódź demonstrate that the concept of a woonerf has proven successful in practice, and the city is responding to the needs of its residents by creating comfortable, accessible, and attractive spaces. By learning from existing implementations, it is possible to design even better urban spaces that will be remembered as positive and enjoyable places.

Key words: Woonerf, public space, accessibility, revitalization, Łódź woonerfs

¹ Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa Inżynierii Środowiska i Architektury, Zakład Urbanistyki i Architektury, Opiekun Koła Naukowego Architektury Miejsc Społecznych

² Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa Inżynierii Środowiska i Architektury, członek Koła Naukowego Architektury Miejsc Społecznych

³ Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa Inżynierii Środowiska i Architektury, członek Koła Naukowego Architektury Miejsc Społecznych

⁴ Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa Inżynierii Środowiska i Architektury, członek Koła Naukowego Architektury Miejsc Społecznych

⁵ Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa Inżynierii Środowiska i Architektury, członek Koła Naukowego Architektury Miejsc Społecznych

⁶ Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa Inżynierii Środowiska i Architektury, członek Koła Naukowego Architektury Miejsc Społecznych

⁷ Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa Inżynierii Środowiska i Architektury, członek Koła Naukowego Architektury Miejsc Społecznych

WSTĘP

W 2023 roku członkowie Studenckiego Koła Naukowego Architektury Miejsc Społecznych z Politechniki Rzeszowskiej podczas wyjazdu naukowego do Łodzi badali zrealizowane łódzkie woonerfy. Celem wyjazdu było poszerzanie wiedzy, umiejętności oraz nauki wpływania na otaczającą przestrzeń, a głównym punktem wyjazdu było zbadanie w terenie jak po latach od powstania funkcjonują woonerfy. Analizowane woonerfy to jedne z kluczowych obecnie powstałych inwestycji dotyczących rewitalizacji przestrzeni miejskich na terenie miasta Łodzi. Na wyjeździe do Łodzi członkowie Koła AMS badali takie woonerfy jak: ul. 6 Sierpnia, ul. Traugutta, ul. Piramowicza, ul. Knychalskiego, ul. Lindeleya (Rys. 1.). W artykule zostały opisane wyniki z badań woonerfów: ul. 6 Sierpnia, ul. Knychalskiego oraz ul. Lindeleya. Celem artykułu jest przyjrzenie się idei woonerfów w praktyce. Zwrócono uwagę na takie aspekty jak: bezpieczeństwo i komfort pieszych. Sprawdzone, czy woonerfy rzeczywiście zapewniają większe bezpieczeństwo i komfort dla pieszych w porównaniu do tradycyjnych ulic. Badano wpływ woonerfu na lokalne społeczności. Badano, w jaki sposób woonerfy przyczyniły się do wzmocnienia więzi społecznych i aktywizacji lokalnej społeczności. Zbadano również estetykę i funkcjonalność przestrzeni woonerfów. Analizowano, jak zmiany wpłynęły na estetykę okolicy oraz funkcjonalność przestrzeni publicznej. Oceniano, jak woonerfy wpłynęły na organizację ruchu samochodowego i rowerowego oraz czy udało się osiągnąć zamierzony balans pomiędzy różnymi użytkownikami przestrzeni.



Legenda:

① - oznaczenie woonerfów poddanych analizie — - Ul. Piotrkowska

1. Woonerf
6 sierpnia

2. Woonerf
Traugtta

3. Woonerf
Piramowicza

4. Woonerf
Knychalskiego

5. Woonerf
Lindeleya

Rys. 1. Rozmieszczenie badanych Woonerfów przez Koło Naukowe AMS
Źródło: Opracowali Jakub Skierski oraz Patrycja Matyś

IDEA WOONERFU

Woonerf jest rodzajem ulicy położonej w strefie zurbanizowanej, w której zwraca się uwagę na poziom bezpieczeństwa, uspokojenie ruchu drogowego oraz wprowadzenie pierwszeństwa dla pieszych i rowerów. W założeniu jest przestrzenią publiczną, która może łączyć ze sobą funkcje: ulicy, deptaku, parkingu czy miejsca spotkań mieszkańców, punktów gastronomii. Najważniejsze w podziale ulicy typu woonerf jest to, że nie rozróżnia się tradycyjnego podziału na strefy ruchu oraz stosuje się wiele elementów małej architektury, czy elementów na jezdni zniechęcających kierowców do przyśpieszania. Nie wyklucza ona jednak wprowadzenia komunikacji, ale skupia się na integracji z różnymi jej typami.

Sama nazwa „woonerf” wywodzi się z języka Holenderskiego [7] i oznacza w dosłownym znaczeniu „ulicę do mieszkania”. Po raz pierwszy termin „woonerf” został użyty w Holandii przez profesora urbanistyki Nieka de Boera w 1965 roku [5].

Pierwsze takie założenie powstało w mieście Emmen w Holandii w latach 70 XX wieku. Powodem jego powstania był rosnący ruch samochodowy w strefach mieszkalnych, co powodowało coraz to większe niebezpieczeństwo w tych obszarach oraz brak przestrzeni rekreacyjnej, co nie wpływało pozytywnie na mieszkańców miasta. W Łodzi, koncepcja woonerfów zyskała na popularności w ostatnich latach, stając się istotnym elementem rewitalizacji miejskiej. Pierwszym łódzkim woonerfem była ulica 6 Sierpnia, otwarta w 2014 roku. Z czasem dołączyły do niej kolejne, takie jak ulica Traugutta, ulica Piramowicza czy ulica Pogonowskiego. Woonerfy w Łodzi zostały zaprojektowane z myślą o poprawie jakości życia mieszkańców, zwiększeniu atrakcyjności przestrzeni publicznej oraz promowaniu zrównoważonego transportu. W większości z nich wzorowano się na rozwiązaniach urbanistycznych stosowanych w Holandii, skąd wzięła się również jego nazwa – Woonerf, której użyli pomysłodawcy projektu pierwszego woonerfu w Polsce z Fundacji Normalne Miasto – Fenomen [8].

CECHY DOBREGO WOONERFU

Woonerf jest to przestrzeń stworzona dla wszystkich użytkowników. Ważne jest, by była ona funkcjonalna i dostępna dla każdej grupy, nie ograniczając przy tym osób z niepełnosprawnościami.

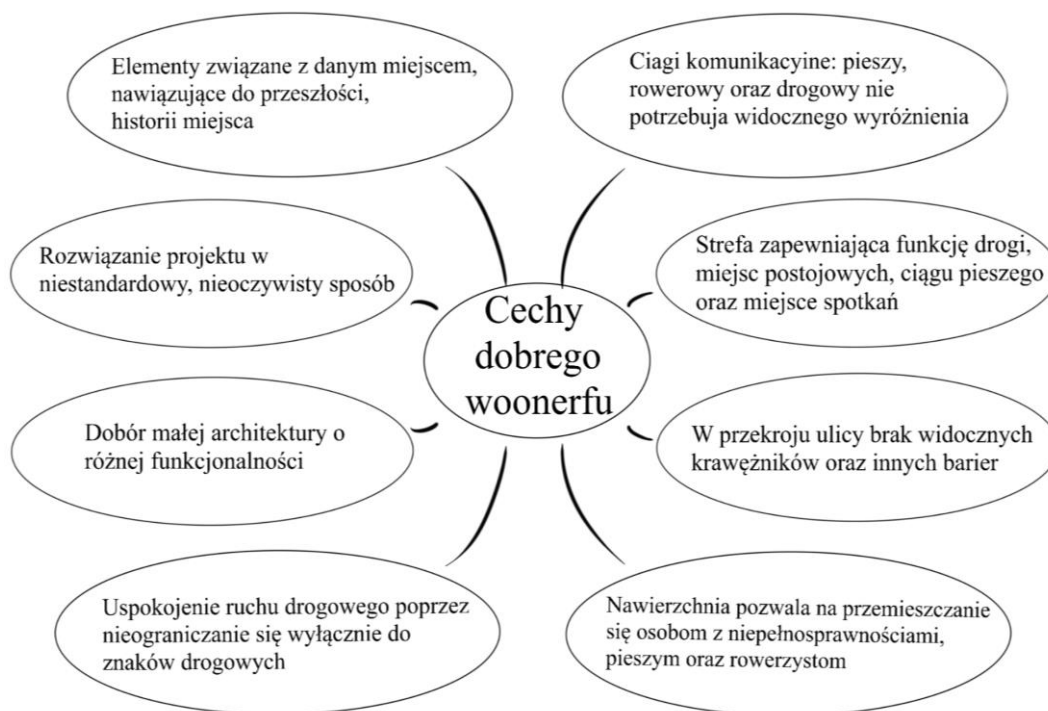
Cechy dobrego woonerfu (Rys. 2.) to m.in. uspokojenie ruchu drogowego, brak podziału na jezdnię i chodniki, brak krawężników, wspólna przestrzeń dla użytkowników oraz równa powierzchnia.

Utworzenie ciągu komunikacyjnego nie musi odbywać się poprzez dokładny podział na ciąg pieszy, rowerowy oraz drogowy. Uspokojenie ruchu drogowego może odbyć się poprzez zastosowanie pomysłowych rozwiązań, może to być układ drogi, który narzuca kierowcom zmniejszenie prędkości lub włączenie znaku „strefa zamieszkania”, który nakłada obowiązek ograniczenia prędkości do 20 km/h. Istotne jest żeby użytkownik nie czuł się zagubiony w otaczającej go przestrzeni.

Ulica woonerf mimo swojego odmiennego wyglądu musi spełniać podstawowe funkcje, takie jak: funkcja drogi oraz ciąg pieszy i rowerowy, posiadać miejsca postojowe oraz miejsca do rekreacji i spotkań.

Woonerf jest przestrzenią stworzoną dla ludzi, w której można spędzić wspólnie czas. W celu wyróżnienia miejsca i nadania jego indywidualnego wyglądu należy nawiązać do historii miejsca np. wykorzystując starą kostkę brukową, detal urbanistyczny. W założeniu woonerfu kluczowe jest dbanie o przyjazny krajobraz dźwiękowy w przestrzeni publicznej [6]. Dodatkowe działania, takie jak dobór odpowiedniej małej architektury, przyczyniają się do poprawy jakości tych przestrzeni i zwiększają ich atrakcyjność dla użytkowników. Zróznicowana estetyka miejskich przestrzeni publicznych nie tylko

zaspokajają potrzeby użytkowników i wpływa na ich wrażenia wizualne, ale także poprawia funkcjonalność miejsc oraz wspiera ich rozwój. Warto jednak pamiętać, że oczekiwania odbiorców mogą różnić się w zależności od lokalizacji woonerfu i charakterystyki jego otoczenia.



Rys. 2. Cechy dobrego Woonerfu

Źródło: Opracowanie Katarzyna Strenciwilk na podstawie badań Koła Naukowego AMS

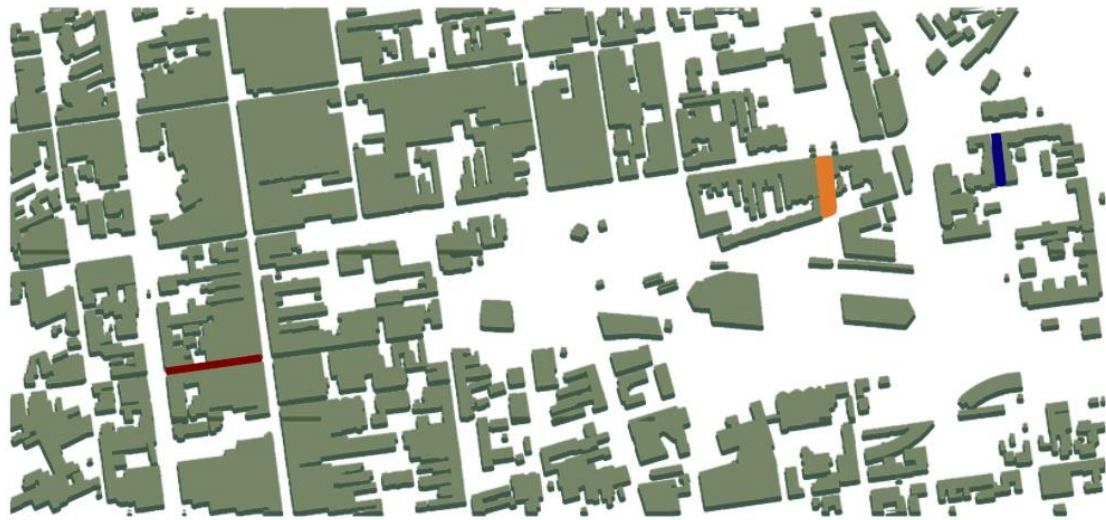
ANALIZA WYBRANYCH ŁÓDZKICH WOONERFÓW

W Łodzi, idea Woonerf zaczęła być realizowana w 2014 roku, kiedy to pierwszy woonerf powstał na ulicy 6 Sierpnia.

Po wielu konsultacjach z mieszkańcami, projekt woonerfu na ulicy 6 Sierpnia został zgłoszony do dzielnicowego budżetu partycypacyjnego, gdzie uzyskał akceptację. Prace nad pierwszym woonerfem w Łodzi rozpoczęły się w kwietniu i zakończyły w czerwcu 2014 roku. Nowo otwarta przestrzeń publiczna zyskała uznanie nie tylko wśród mieszkańców, ale także wśród ekspertów. Towarzystwo Urbanistów Polskich – Oddział w Łodzi przyznało specjalną nagrodę za najlepiej zagospodarowaną przestrzeń publiczną, w tym ulicę 6 Sierpnia [16]. To była pierwsza realizacja tego typu w Polsce, co zapoczątkowało szerszy ruch przekształcania łódzkich ulic w przyjazne przestrzenie miejskie [14]. Wprowadzenie woonerfów w Łodzi przyniosło liczne korzyści. Poprawiły one estetykę i funkcjonalność przestrzeni publicznych, zwiększając atrakcyjność centrum miasta. Lokalny handel i usługi odnotowały wzrost dzięki większej liczbie pieszych i rowerzystów. Woonerfy stały się także miejscami spotkań i wydarzeń kulturalnych, wzmacniając ich rolę jako przestrzeni społecznych.

Sukces pierwszych woonerfów skłonił władze miasta Łódź do dalszego rozwoju tej koncepcji. Kolejne woonerfy powstały na ulicach, takich jak ul. Knychalskiego oraz ul. Lindeleya, których analizy wraz z woonerfem 6 Sierpnia zostały przedstawione w artykule (Rys. 3.). Plany na przyszłość obejmują

dalsze rozszerzenie tej koncepcji na inne obszary miasta, przyczyniając się do zrównoważonego rozwoju i poprawy jakości życia w Łodzi [15].



Legenda:

□ - oznaczenie woonerfów poddanych analizie

- - Woonerf na ul. 6 sierpnia - - Woonerf na ul. Knychalskiego - - Woonerf na ul. Lindleya

Rys. 3. Mapa analizowanych łódzkich woonerfów
Źródło: Opracowali Aleksandra Hasny i Waldemar Nalepka

ANALIZA PRZYPADKU – WOONERF NA UL. 6 SIERPNIA

PODSTAWOWE INFORMACJE O UL. 6 SIERPNIA

Woonerf przy ul. 6 Sierpnia, znajduje się w ścisłym centrum Łodzi. Jest to fragment całości ulicy pomiędzy główną ulicą handlową Piotrkowską oraz al. Tadeusza Kościuszki. Ma około 170 metrów długości oraz 10 metrów szerokości. Jest to pierwsza tego typu ulica, w mieście Łodzi, która zapoczątkowała dalsze takie inwestycje. Podczas prac ideowych wzorowano się na podobnych założeniach powstałych w Holandii, czy Niemczech. Wzdłuż ul. 6 Sierpnia znajdują się wyremontowane i czyste kamienice, które mają średnio 3 kondygnacje. W ich wnętrzach znajdują się przeważnie restauracje z ogródkami letnimi wychodzącymi na zewnątrz, co tworzy przyjazną dla odwiedzających atmosferę. Woonerf ten posiada wiele elementów małej architektury, specjalnie dosadzone drzewa, zróżnicowaną nawierzchnię oraz charakterystyczny zegar, rozpoczynający ulicę, który również stał się wizytówką tego miejsca. Inwestycja powstała z inicjatywy mieszkańców, a sfinansowano ją przy pomocy Budżetu Obywatelskiego [9].

ULICA 6 SIERPNIA PRZED PRZEBUDOWĄ

Ulica 6 Sierpnia w Łodzi przed przebudową (Rys. 4.) w 2014 roku była typową miejską ulicą, której charakterystyka znacząco różniła się od dzisiejszej wersji. Przed rewitalizacją była to wąska, dwukierunkowa ulica z ograniczoną przestrzenią dla pieszych. Chodniki były wąskie, co utrudniało swobodne poruszanie się pieszym, a wzdłuż ulicy często można było zauważyć ciasno zaparkowane samochody, na równie wąskiej, jak i podziurawionej ulicy co jeszcze bardziej zmniejszało dostępną

www.viacarpatia.pro

przestrzeń. Atmosfera na ulicy była typowa dla wielu zaniedbanych miejskich rejonów - brudne elewacje budynków, wszechobecne reklamy oraz punkty sprzedaży różnego rodzaju towarów. Przestrzeń ta była mało przyjazna dla mieszkańców i odwiedzających. Wysokie natężenie ruchu samochodowego, brak zieleni oraz ograniczone możliwości rekreacyjne sprawiały, że ulica była miejscem raczej omijanym przez pieszych, a jej funkcja ograniczała się głównie do tranzytu i parkowania.



Rys. 4. Ulica 6 Sierpnia przed przebudową

Źródło: fotopolska.eu/Lodz/u45336,ul_6_Sierpnia.html?f=521857-foto [dostęp: 10.06.2024]

PRZEBUDOWA ULICY 6 SIERPNIA NA WOONERF

Po przebudowie w 2014 roku sytuacja zmieniła się diametralnie, kiedy to ulica 6 Sierpnia jako pierwsza w Polsce, zmodernizowana została zgodnie z koncepcją ulicy woonerf. Inwestycja powstała w ramach pierwszego budżetu partycypacyjnego: „Modernizacja ul. 6 Sierpnia między al. Kościuszki a ul. Piotrkowską, tj. przekształcenie jej w tzw. woonerf, czyli ulicę, podwórzec na wzór ulic występujących na terenie Holandii, Skandynawii i Niemiec”, a koszt jej przebudowy oszacowano na 1400000 zł [2].

W jej założeniu miała pełnić miejsce, gdzie piesi mają pierwszeństwo, a przestrzeń została zaprojektowana z myślą o poprawie jakości życia mieszkańców i estetyce miejskiej. Po przebudowie ulica stała się pięknym deptakiem z szerokimi chodnikami, zielenią i miejscami do odpoczynku, co przyciąga zarówno mieszkańców, jak i turystów. Stała się też miejscem organizacji wielu imprez muzycznych i kulturalnych, które pokazują, że ruch pieszy i samochodowy mogą współistnieć bez przeszkód.

Na całej długości ulicy 6 Sierpnia wprowadzono ograniczenie prędkości do 20 km/h, co znacząco poprawiło bezpieczeństwo pieszych i rowerzystów. Zredukowano liczbę miejsc parkingowych, tworząc więcej przestrzeni na zielen, ławeczki oraz strefy wypoczynkowe. Mieszkańcy mogą teraz korzystać z licznych ogródków kawiarnianych, które stały się popularnym miejscem spotkań towarzyskich

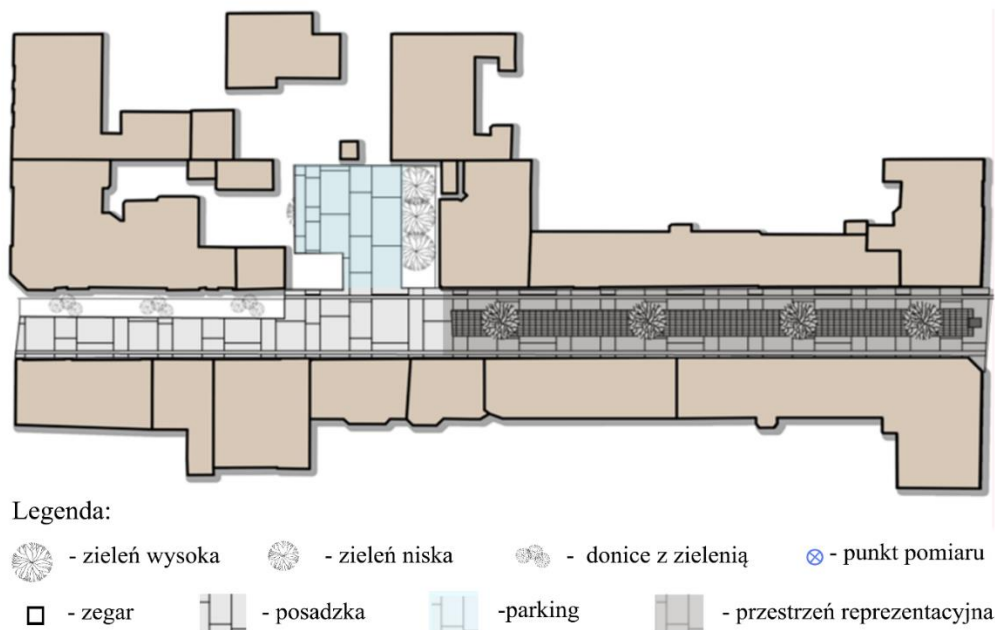
www.viacarpatia.pro

i rekreacji. Ulica tętni życiem dzięki organizowanym tam wydarzeniom kulturalnym, takim jak koncerty, festiwale uliczne, czy pokazy filmowe.

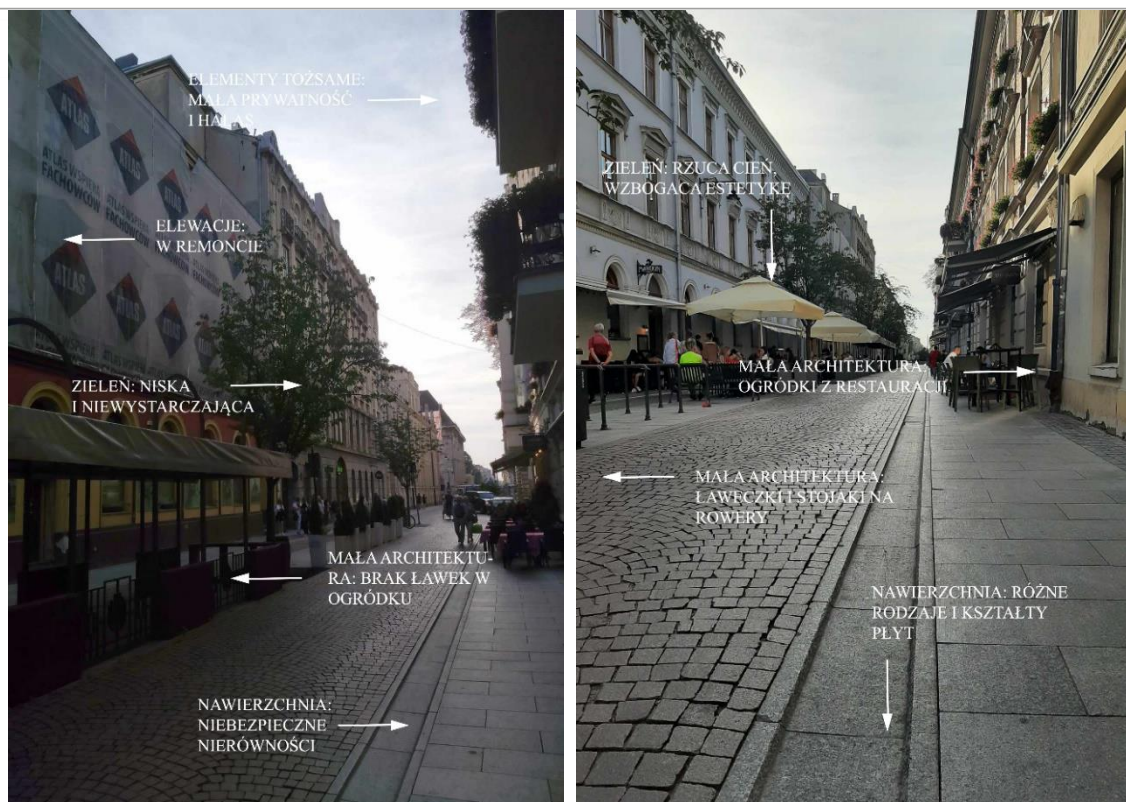
Projekt rewitalizacji (Rys. 5). uwzględnił również potrzebę integracji różnych grup społecznych. Wprowadzenie szerokich chodników, nowych nasadzeń drzew i krzewów oraz elementów małej architektury, takich jak ławki i stojaki na rowery, stworzyło przestrzeń, w której każdy może czuć się komfortowo i bezpiecznie.

Celem założenia było również wprowadzenie większej ilości zieleni do miasta oraz stworzenie przestrzeni publicznej służącej jako miejsce spotkań, wypoczynku, integracji mieszkańców i turystów. W tym celu posadzono w ciągu ulicy pięć sprowadzonych z Niemiec wiśni japońskich odmiany „Kanzan”, ze względu na genetykę tego gatunku cechującą się niedużym wzrostem oraz atrakcyjnym kwitnieniem i zjawiskowym jesiennym wybarwieniem dodającym charakteru i uroku. W projekcie również, na samym początku woonerfu (od strony ul. Piotrkowskiej) zastosowano detal architektoniczny, którym był ozdobny zegar miejski rozpoczynający ciąg drzew wiśniowych [10].

Inwestycja została otwarta 28 czerwca 2014 roku, a woonerf przy ul. 6 Sierpnia, od samego początku sprawdził się dobrze zarówno jako nowa inwestycja, jak również jako przestrzeń lubiana i pożądana przez mieszkańców. Przez jego powstanie, wcześniej usytuowane tam restauracje zaczęły przyciągać coraz to więcej klientów, co doprowadziło również do powstania licznych ogródków restauracyjnych i wzrostu usługowego charakteru ulicy. Zmiana charakteru ulicy wpłynęła również na ruch pojazdów, który został zmniejszony i uspokojony. Otoczenie ulicy również uległo zmianie, przez odnowione kamienice w tamtym terenie, jak również przez pryzmat popularności tej przestrzeni zaczęto organizować tam często różne wydarzenia kulturalne.



Rys. 5. Plan sytuacyjny woonerfu na ul. 6 Sierpnia
Źródło: Opracowali Jakub Skierski i Patrycja Matyś



Rys. 6. i Rys.7. Opis dobrych i złych elementów woonerfu na ul. 6 Sierpnia
Źródło: Opracowali Jakub Skierski i Patrycja Matyś

PODSUMOWANIE FUNKCJONOWANIA WOONERFU NA UL. 6 SIERPNIA

Podsumowując, ulica 6 Sierpnia w Łodzi ma wiele cech dobrego woonerfu (Rys. 7.), takich jak wysoka jakość materiałów, wspólna przestrzeń dla różnych użytkowników, brak klasycznych krawężników, uspokojony ruch samochodowy oraz estetyczne elementy małej architektury. Aby uczynić go jeszcze lepszym woonerfem (Rys. 6.), warto rozważyć drobne usprawnienia, takie jak subtelne oznaczenia ciągów dla różnych użytkowników, bardziej równa nawierzchnia, dodatkowe elementy małej architektury oraz więcej elementów historycznych i artystycznych, które podkreślają tożsamość miejsca.

ANALIZA PRZYPADKU – WOONERF NA UL. LINDLEYA

PODSTAWOWE INFORMACJE

Ulica Lindleya to droga dojazdowa w Łodzi, która znajduje się w dzielnicy Śródmieście. Dojazd jest możliwy wyłącznie od ul. Narutowicza, od południowej strony można się dostać na ulicę Lindleya od ul. Węglowej. Od ulicy Węglowej można dostać się tylko i wyłącznie pieszo lub rowerem, gdyż przedzielone zostały one stalowymi słupkami. W okolicy ulokowany jest kompleks Uniwersytetu Łódzkiego, Katedra Polityki Ochrony Zdrowia Uniwersytetu Medycznego oraz Hotel 3 gwiazdkowy - Villa Masoneria. Wzdłuż ulicy dominuje zabudowa wielorodzinna, a na parterach zlokalizowane są pojedyncze lokale usługowe.

Przebudowa ulicy —Lindleya powstała z inicjatywy mieszkańców, którzy zachwyceni powstaniem pierwszego woonerfu - 6 Sierpnia w Łodzi wnioskowali o przebudowę ulicy Lindleya [12]. Rewitalizacja wraz z nasadzeniem drzew na łącznie kosztowała 5 mln złotych [11].

ULICA LINDLEYA PRZED PRZEBUDOWĄ

Ulica Lindleya przed przebudową (Rys. 8.) posiadała nierówną nawierzchnię, co miało wpływ na powstawanie znacznego hałasu podczas przejazdu samochodów. Dużym ruch samochodowym powodował dodatkowo znaczny hałas i brak bezpieczeństwa dla użytkowników ulicy. Pozostawiane auta wzdłuż całej ulicy utrudniały przemieszczanie się osobom z niepełnosprawnościami. Wzdłuż ulicy brakowało ławek, stojaków na rowery, miejsc wypoczynku. Znajdowały się tam wysokie krawężniki, które utrudniały ruch użytkownikom. Na ulicy znajdowała się mała ilość zieleni.



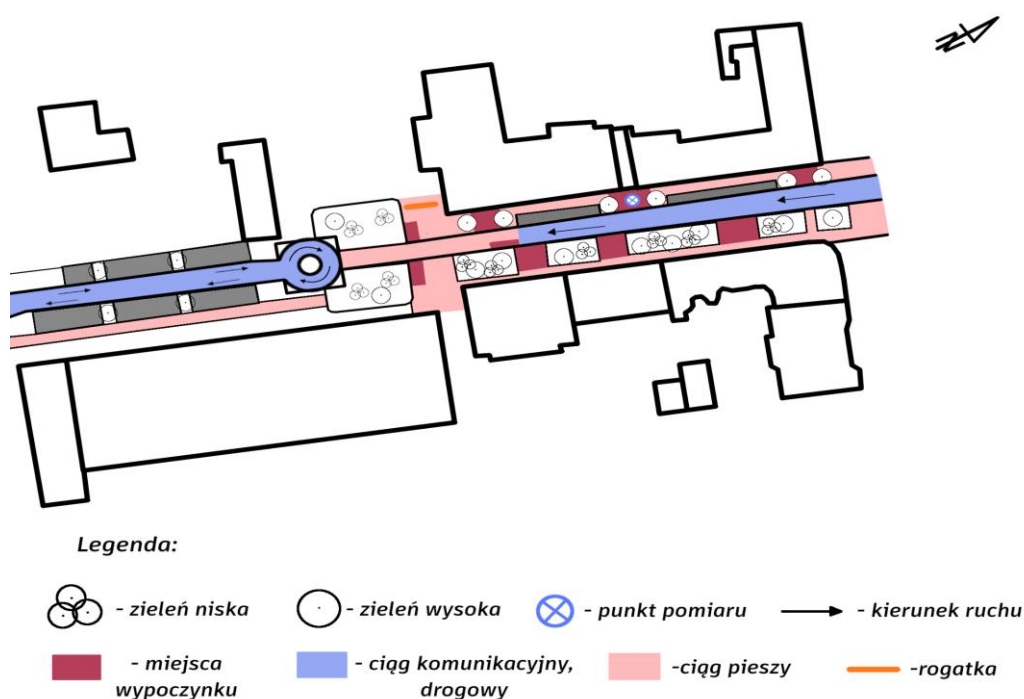
*Rys. 8. Ulica Lindleya przed przebudową
Źródło: Mapy Google [dostęp: 10.06.2024]*

PRZEBUDOWA ULICY LINDLEYA NA WOONERF

Woonerf Lindleya został oficjalnie otwarty we wrześniu 2017 roku. Dostęp do ulicy został tylko poprowadzony od ul. Narutowicza. Zabieg ten stworzył podwórze dla mieszkańców i przyjemną przestrzeń dla studentów Uniwersytetu Medycznego. Większa ilość zieleni, utworzenie miejsc wypoczynku, które wyposażono w ławki oraz miejsca postojowe na rowery to zabiegi, które pozwoliły ocieplić i zachęcić użytkowników do korzystania z przestrzeni. Duża ilość zieleni zapewniła dobry mikroklimat i dała schronienie przed słońcem. Wyznaczenie miejsc dla parkujących samochodów oraz

www.viacarpatia.pro

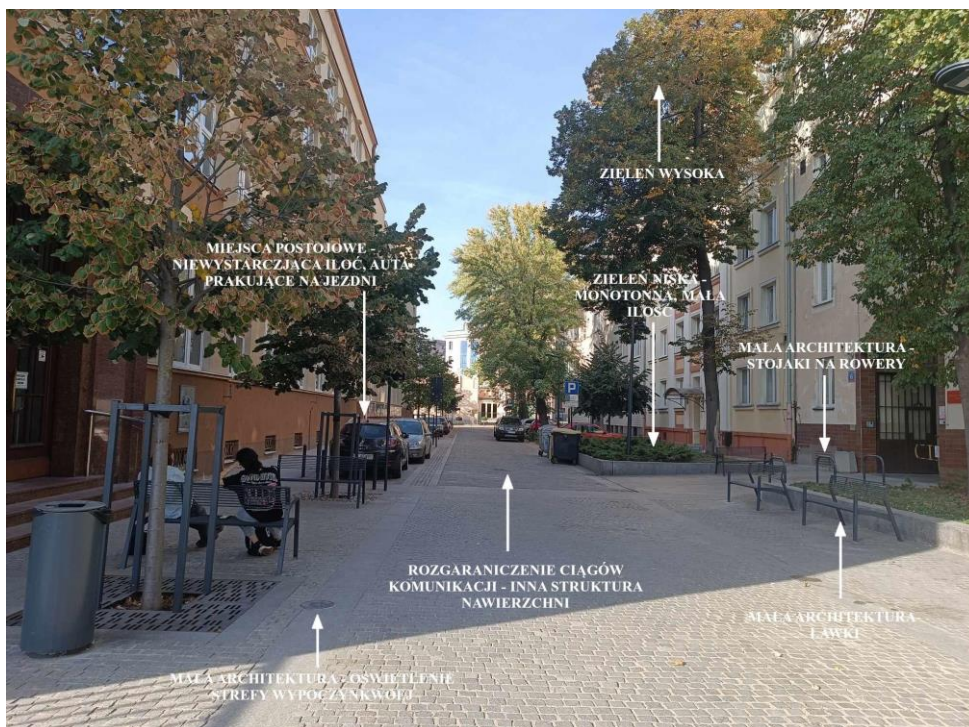
rozgraniczenie ich poprzez postawienie słupków, aby nie parkowano samochodów w miejscach do tego niewyznaczonych spowodowały utrudnienia w ciągłości poruszania się innym użytkownikom ulicy. Na ulicy wyznaczono przestrzeń dla pieszych, przez co część ulicy przy Uniwersytecie Medycznym uzyskała półprywatny charakter. Całą ulicę pokryto kostką brukową, usunięto podział na ulicę, chodnik i zrezygnowano z klasycznych krawężników. Wprowadzono małą architekturę w postaci stojaków na rowery, ławek, śmietników, słupków oraz oświetlenia wpisanego w nawierzchnię. Dzięki temu obszar stał się bardziej dostępny, kameralny i bezpieczny (Rys. 9.).



Rys. 9. Plan sytuacyjny Woonerfu na ul. Lindleya
Źródło: Opracowanie Alicja Mosiewicz



Rys. 10. Opis dobrych i złych elementów woonerfu na ul. Lindleya - widok od ul. Narutowicza
Źródło: Zdjęcie własne, opracowała Alicja Mosiewicz



Rys. 11. Opis dobrych i złych elementów woonerfu na ul. Lindleya - widok od ul. Węglowej
Źródło: Zdjęcie własne, opracowała Alicja Mosiewicz

PODSUMOWANIE FUNKCJONOWANIA WOONERF LINDLEYA W ŁODZI

Woonerf Lindleya został stworzony dla konkretnej grupy odbiorców - mieszkańców oraz studentów. Jego założenia zostały spełnione i posiada wiele cech dobrego woonerfu (Rys. 10.), takich jak: uspokojenie ruchu drogowego, brak podziału na jezdnię i chodniki - brak krawężników, wspólna przestrzeń dla użytkowników oraz równa powierzchnia.

Woonerf Lindleya napotyka charakterystyczny problem związany z parkowaniem (Rys. 11.) aut, które pozostawiane są po złej stronie drogi, mimo wyznaczenia miejsc postojowych. Nieprzejezdna droga powoduje częste interwencje straży miejskiej, która nakłada blokady na koła nieprawidłowo zaparkowanym samochodom. Czasowy problem ze złym parkowaniem może być spowodowany zasłonięciem znaku, informującego o sposobie parkowania, przez liście drzew [4].

W wywiadach terenowych przeprowadzonych przez Dawida Korczakowskiego udokumentowano niezadowolenie studentów spowodowane brakiem wystarczającej przestrzeni wypoczynkowej. Zgodnie z treścią wywiadu: „Studenci, którzy są głównymi użytkownikami tej przestrzeni ze względu na otaczające go budynki uniwersyteckie, sugerowali, że przestrzeń powinna zawierać więcej miejsc do rekreacji między zajęciami jak: zadaszona altana, stoliki czy nawet leżaki” [4].

Woonerf na ulicy Lindleya niestety nie jest dopracowany, brakuje w nim wyznaczonego miejsca na składowanie odpadów, a miejsca wypoczynkowe nie zachęcają do użytkowania. Niekorzystna sytuacja spowodowana jest pozostawionymi samochodami w nieprzeznaczonych do tego celu miejscach. Mankamentem jest również to, że woonerf nie wyróżnia się żadną charakterystyczną cechą.

ANALIZA PRZYPADKU – WOONERF NA UL. KNYCHALSKIEGO

PODSTAWOWE INFORMACJE

Woonerf na ulicy Knychalskiego to jedna z mniejszych ulic położona w centrum Łodzi, w dzielnicy Śródmieście. Przecina ona ulicę Składową i jest to punkt łączący szlak komunikacyjny między dworcem Łódź Fabryczna, a placem Dąbrowskiego. Jest to również bliski obszar zaraz za przystankiem na ulicy Narutowicza. Miejsce to znajduje się w pobliżu Teatru Wielkiego, Sądu Rejonowego, czy Wydziału Uniwersytetu Medycznego. W otoczeniu tej ulicy znajdują się kamienice mieszkalne, lokale usługowe oraz biura. W 2017 roku, w grudniu, ulica Knychalskiego stała się bezpiecznym i przyjaznym miejscem dla pieszych. Zmienił się całkowicie układ geometrii ulicy co spowodowało zmniejszenie ruchu samochodowego i zwiększenie komfortu użytkownika tego miejsca przez pieszych. Całość ulicy ma długość 160 metrów, a koszt całkowitej rewitalizacji wyniósł 5 mln złotych [18].

ULICA KNYCHALSKIEGO PRZED PRZEBUDOWĄ

Przed przebudową na woonerf (Rys. 12.), ulica Knychalskiego była w złym stanie technicznym. Często dochodziło do awarii podziemnej infrastruktury technicznej. Jezdnia wymagała generalnego remontu z powodu licznych uszkodzeń oraz nierówności w strukturze, które były niebezpieczne dla pojazdów i osób poruszających się po tamtym obszarze. Dodatkowo nieliczne przejścia dla pieszych były wyblakłe i zniszczone. Brakowało również odpowiedniego oświetlenia, co sprawiało, że miejsce to stawało się niebezpieczne po zmroku. Chodniki dla pieszych znajdowały się pod dwóch stronach ulicy, były uszkodzone, wielu miejscach brakowało całych segmentów, a krawężniki były zbyt wysokie by mogły korzystać z nich osoby starsze, czy osoby z niepełnosprawnościami. Brakowało również małej architektury, takiej jak ławki czy kosze na śmieci oraz roślinności. Wszystkie powyższe elementy

www.viacarpatia.pro

sprawiły, że poruszanie się w przestrzeni tej ulicy przez pieszych było znacząco utrudnione, a nawet niebezpieczne.



Rys. 12. Ulica Knychalskiego przed przebudową
Źródło: Mapy Google [dostęp: 16.06.2024]

PRZEBUDOWA ULICY KNYCHALSKIEGO NA WOONERF

Przebudowa ulicy Knychalskiego na woonerf (Rys. 13.), wiązała się z założeniami, które miały wejść w życie wraz zakończeniem remontu. Całość struktury miała zostać poddana kompleksowej przebudowie, gdzie tradycyjny układ ulic został odwrócony [13]. Miejsce to zostało zaadaptowane jako bardziej przyjazne przechodniom. Po przebudowie natężenie ruchu samochodowego uległo znacznemu zmniejszeniu [18]. Projekt obejmował również modernizację sieci podziemnych oraz zniwelowanie kolizji infrastrukturalnych.

W centralnej części ulicy Knychalskiego został wprowadzony szeroki pasaż z zielenią, który miał stworzyć bezpieczną i dostępną przestrzeń do przemieszczania się oraz spędzania czasu przez osoby użytkujące to miejsce. Projekt obejmował również wprowadzenie wielu udogodnień, które miały zapewniać komfort użytkownikom. Na ulicy ułożono nawierzchnię z płyty i kostki granitowej, przez co przestrzeń stała się bardziej przyjazna dla rowerzystów i pieszych oraz poprawiona została estetyka miejsca. Poprawa jakości życia wiązała się również z posadzeniem 62 drzew oraz zagospodarowaniem przestrzeni małą architekturą. Ustawiono 36 ławek, 48 stojaków na rowery i 15 koszy na śmieci [17]. Wszystkie powyższe elementy znacząco wpłynęły na poprawę użytkowania miejsca przez odwiedzających oraz mieszkańców. Poprzez wprowadzenie estetycznej, małej architektury przestrzeń ta stała się przyjazna do spędzania wolnego czasu na świeżym powietrzu. Wprowadzono również oświetlenie, które nie tylko poprawiło widoczność w nocy, ale także bezpośrednio przyczyniło się do poprawy bezpieczeństwa. Wprowadzone oświetlenie korzystnie wpłynęło na odbiór całej przestrzeni, podkreślając jej estetykę.

www.viacarpatia.pro



Legenda:

- - zieleni wysoka ⊗ - zieleni niska — - miejsca parkingowe ⊗ - punkt pomiarowy klimatu akustycznego
 — - ciąg komunikacyjny, samochodowy — - obszar wypoczynkowy — - ciąg pieszy → - kierunek jazdy

Rys. 13. Plan sytuacyjny woenerfu na ul. Knychalskiego
 Źródło: Opracowali, Aleksandra Hasny i Waldemar Nalepka



Rys. 14. i Rys. 15. Opis dobrych i złych elementów woenerfu na ul. Knychalskiego
 Źródło: Opracowali Aleksandra Hasny i Waldemar Nalepka

Po zewnętrznych stronach przestrzeni ulokowano drogi jednokierunkowe. Wyznaczono również specjalne obszary ułatwiające nawracanie samochodów, a miejsca parkingowe zostały wyznaczone www.viacarpatia.pro

wzdłuż elewacji. Ponadto przebudowa zakładała wyraźne oddzielenie miejsc parkingowych innym rodzajem nawierzchni. Ten mały element sprawił, że użytkowanie tego miejsca przez osoby poruszające się samochodami stało się znacznie wygodniejsze.

Wprowadzone zmiany miały poprawić komfort oraz bezpieczeństwo użytkowania miejsca przez pieszych, uspokoić ruch uliczny oraz ułatwić możliwość użytkowania przestrzeni przez mieszkańców oraz pracowników pobliskich firm. Projekt obejmował również umieszczenie historycznego zegara na jednym z końców woonef. Po wprowadzonych zmianach poprawiona została ścieżka komunikacyjna między dworcem Łódź Fabryczna, a placem Dąbrowskiego.

PODSUMOWANIE FUNKCJONOWANIA WOONERF NA ULICY KNYCHALSKIEGO

Ulica Knychalskiego została przekształcona w woonef, który charakteryzuje się odwróconym układem ulic. Nowa forma przestrzeni ulicy Knychalskiego połączyła funkcje ulicy, parkingu, deptaku oraz strefy spotkań oraz pozwoliła na swobodne jej użytkowanie. Strefy woonef zostały wyraźnie rozróżnione różnymi rodzajami nawierzchni, a przejścia między strefami pozbawione zostały wysokich krawężników i barier które mogłyby utrudnić poruszanie się. Zastosowanie wielu elementów małej architektury, takich jak ławki, kosze na śmieci oraz stojaki na rowery sprawiły, że przestrzeń stała się atrakcyjna dla użytkowników. Dodatkowo na jednym z końców woonef umieszczono historyczny zegar nawiązując do historii tego miejsca. Powyższe elementy (Rys. 14, 15.) sprawiły, że miejsce to tworzy integracyjną, przyjazną oraz funkcjonalną przestrzeń miasta.

WYNIKI Z ANALIZY BADANYCH WOONERFÓW

W każdym z badanych woonefów zadbano o to, aby zastosować elementy spełniające założenia idei Woonef (Tab. 1.). Natężenie ruchu drogowego zostało zmniejszone, zrezygnowano z podziału ulicy na ulicę oraz chodniki i postarano się stworzyć wspólny ciąg komunikacyjny. Ograniczenia prędkości zostały narzucone poprzez zastosowanie słupków rozgraniczających czy włączenie ruchu drogowego tylko z jednej strony. Dodatkowym zabiegiem było wizualne przedstawienie podziału na ciąg komunikacji poprzez zastosowanie nawierzchni różnego typu. W każdym przypadku zadbano o bezpieczeństwo poruszania się każdego użytkownika poprzez zastosowanie odpowiedniej nawierzchni i wyłączenie krawężników.

W każdym z badanych woonefów postarano się o wyróżnienie danego woonef, poprzez umiejscowienie zegara, oświetlenie koron drzew, czy ponowne wykorzystanie kostki brukowej. Zadbano o miejsca wypoczynku - ławki, kosze na śmieci i stojaki na rowery, stworzyło to komfortowe warunki zachęcające potencjalnego użytkownika.

Tabela 1. Zestawienie cech analizowanych woonerfów

Cechy dobrego woonerfu	Woonerf na ul. 6 Sierpnia	Woonerf na ul. Lindleya	Woonerf na ul. Knychalskiego
Wspólna przestrzeń łącząca funkcje ulicy, parkingu, deptaku, strefy spotkań	Przestrzeń wspólna dla pieszych, rowerzystów i kierowców.	Podział ulicy na część wypoczynkową, miejsca postojowe oraz wspólny ciąg komunikacji.	Odwrocony podział układu ulic, zastosowanie pasażu wypoczynkowego pomiędzy ulicami.
Brak odróżnienia ciągów pieszych, rowerowych i drogowych	Nawierzchnia z tego samego materiału i tego samego koloru dla ciągu pieszego i pieszonojezdnego.	Wyróżnienie ciągu drogowego poprzez kolor i materiał wykonania nawierzchni.	Rozróżnienie części technicznej oraz reprezentacyjnej różnymi rodzajami nawierzchni, niskimi krawężnikami .
Brak krawężników lub innych barier w przekroju ulicy	Brak klasycznych krawężników.	Brak przeszkód w formie krawężników.	Brak barier przy poruszaniu się osób ze szczególnymi potrzebami.
Nawierzchnia dostosowana do wszystkich użytkowników	Równa nawierzchnia z kostki brukowej. Wbudowane oświetlenie w nawierzchnię.	Wprowadzenie równej nawierzchni z kostki brukowej oraz zlikwidowanie krawężników.	Zastosowanie płyt betonowych ułatwiających poruszanie się osobom z szczególnymi potrzebami.
Rozwiązania uspokajające ruch	Ruch samochodowy uspokojony. Ograniczenie prędkości do 20km/h. Znak strefy zamieszkania.	Rozdzielenie ulic Narutowicza i Węglowej poprzez słupki.	Słupki rozgraniczające. Oddzielenie ciągu pieszego do ruchu samochodowego.
Estetyczna i funkcjonalna mała architektura	Liczne elementy małej architektury jak ławki, donice z roślinnością, miejsca do siedzenia i odpoczynku, parking dla rowerzystów.	Mała architektura: ławki, stojaki na rowery, kosze na śmieci, rogatek, słupy rozdzielające.	W części reprezentacyjnej duża ilość ławek, koszy, stojaków na rowery. W części technicznej: kosze na śmieci.
Elementy tożsame, nawiązujące do historii miejsca	Dbłość o szczegóły wykończenia. Akcent architektoniczny – zegar na początku ulicy.	Pozostawiona stara kostka brukowa, która była wcześniej na tej ulicy.	Historyczny zegar umiejscowiony na jednym z zakończeń woonerfu.

Źródło: Opracowanie autorów

PODSUMOWANIE

Woonerf to ulica zaprojektowana z myślą o pierwszeństwie pieszych i rowerzystów, z jednoczesnym uspokojeniem ruchu samochodowego. Eliminuje tradycyjne strefy ruchu i zawiera elementy małej architektury, które zniechęcają kierowców do przyspieszania. Dobry woonerf jest dostępny i funkcjonalny dla wszystkich użytkowników, w tym osób z niepełnosprawnościami, poprzez eliminację krawężników i innych barier. W artykule przedstawiono wyniki badań naukowych przeprowadzonych w 2023 roku w ramach programu wzbogacania w Łodzi przez członków Studenckiego Koła Naukowego Architektury Miejskiej Społecznych (Studenckie Koło Naukowe Architektury Politechniki Rzeszowskiej).

Analizowane łódzkie woonerfy stanowią różnorodne przykłady tego, jak przestrzeń miejska może być przekształcona w sposób sprzyjający mieszkańcom. Każdy z nich wnosi unikalne rozwiązania, które mogą być częścią idealnego woonerfu. Na podstawie przeprowadzonej analizy można wyróżnić następujące kluczowe cechy do stworzenia quasi-idealnej przestrzeni miejskiej:

Z woonerfu na ul. 6 Sierpnia warto zaczerpnąć wspólną przestrzeń dla pieszych, rowerzystów i kierowców, gdzie brak klasycznych krawężników sprzyja płynnemu poruszaniu się oraz integracji różnych użytkowników przestrzeni.

Z woonerfu na ul. Lindleya inspirujące jest wprowadzenie podziału przestrzeni na różne funkcje, w tym miejsca wypoczynkowe oraz miejsca postojowe, co sprzyja zróżnicowanemu użytkowaniu przestrzeni przez mieszkańców.

Z woonerfu na ul. Knychalskiego należy zapożyczyć rozwiązania dostosowane do osób z niepełnosprawnościami, takie jak płaska nawierzchnia z płyt betonowych oraz brak barier architektonicznych, co zwiększa uniwersalną dostępność przestrzeni.

Rozwiązania estetyczne powinny łączyć elementy małej architektury, takie jak ławki, donice z roślinnością czy zegar historyczny (z ul. Knychalskiego), które nadają przestrzeni unikalnego charakteru i podkreślają jej tożsamość.

Dzięki połączeniu tych cech idealny woonerf stanie się przestrzenią nie tylko funkcjonalną, ale również estetyczną, otwartą na potrzeby mieszkańców i sprzyjającą integracji społecznej.

Analizowane woonerfy w Łodzi pokazują, że idea woonerfu sprawdziła się w praktyce, a miasto otwiera się na potrzeby mieszkańców, tworząc dla nich miejsca komfortowe, dostępne i atrakcyjne. Dzięki wyciąganiu wniosków z istniejących realizacji możliwe jest projektowanie coraz lepszych przestrzeni miejskich, które zapadną w pamięć jako pozytywne i przyjemne miejsca.

LITERATURA

- [1] Barański, H., *Woonerfy w Łodzi*, W: H. Mazur, red., *Miasto na plus. Eseje o polskich przestrzeniach miejskich*, Kraków 2017
- [2] Betlej, M., Radziejowska, A., *Rozwój idei stref woonerf w Polsce na przykładzie miasta Łodzi*, *Autobusy : technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 2016
- [3] Kopeć K., Wojtowicz B., *Woonerf jako idea projektowania ulic zorientowana na poprawę jakości życia w mieście*, *Housing Environment*, Kraków 2021
- [4] Korczakowski D., *Woonerf - szczególna forma przestrzeni miejskiej*. Praca magisterka, Łódź 2023
- [5] Nio I., *Communal versus Private: The Unfinished Search for the Ideal Woonerf*. DASH | Delft Architectural Studies on Housing, 2018

-
- [6] Walicka-Góral B., *Identyfikacja miejskiego krajobrazu dźwiękowego na tle uwarunkowań formalno-prawnych*, „Miasto dla Ludzi”, Wydawnictwo ZET Wrocław, Wrocław 2017
- [7] https://otwarte.starachowice.eu/images/kamil_stanos/woonerf2.pdf [dostęp: 08.06.2024]
- [8] https://pl.wikipedia.org/wiki/Ulica_6_Sierpnia_w_Łodzi [dostęp: 08.06.2024]
- [9] <https://uml.lodz.pl/aktualnosci-lodzpl/artykul-lodzpl/woonerfy-po-lodzku-spacer-po-miescie-zielonych-ulic-zobacz-zdjecia-id42987/2021/8/26/> [dostęp: 08.06.2024]
- [10] <https://uml.lodz.pl/aktualnosci-lodzpl/artykul-lodzpl/na-woonerfach-zakwitly-wisnie-kanzan-zobacz-jak-jest-pieknie-zdjecia-id49885/2022/05/6/> [dostęp: 08.06.2024]
- [11] <https://lodz.wyborcza.pl/lodz/5,35136,22538082.html> [dostęp: 17.06.2024]
- [12] <https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/lodz-woonerfami-stoi-kolejny-na-lindleya-48568.html> [dostęp: 17.06.2024]
- [13] <https://uml.lodz.pl/aktualnosci/artykul/lodz-buduje-knychalskiego-i-skladowa-przebudowane-id17074/2017/12/7/> [dostęp: 11.06.2024]
- [14] <https://lodz.pl/artykul/woonerfy-w-lodzi-powstalo-ich-kilkadziesiat-a-w-planach-kolejne-zdjecia-54230/> [dostęp: 11.06.2024]
- [15] <https://rewitalizacja.uml.lodz.pl/aktualnosci/artykul/woonerfy-w-lodzi-powstalo-ich-kilkadziesiat-a-w-planach-kolejne-zdjecia-i-wizualizacje-id19644/2022/11/18/> [dostęp: 11.06.2024]
- [16] <http://komserwisblog.pl/co-to-jest-woonerf/> [dostęp: 14.06.2024]
- [17] <https://lodz.wyborcza.pl/lodz/7,35136,20249444,dworzec-lodz-fabryczna-zaczeli-przebudowe-dwoch-ulic.html> [dostęp: 16.06.2024]
- [18] <https://uml.lodz.pl/aktualnosci/artykul/przebudowa-knychalskiego-i-skladowej-sprawdz-co-sie-zmieni-id861/2017/03/9/> [dostęp: 16.06.2024]

Transformacja energetyczna Unii Europejskiej w kontekście neutralności klimatycznej do 2050 roku

SUMMARY

The article discusses the energy transformation of the European Union and Poland's role in achieving climate neutrality by 2050, especially after the end of the contract with Gazprom. Stresses the importance of natural gas as a bridge fuel in the context of reducing greenhouse gas emissions and integrating renewable energy sources. Changes on the gas market in Poland in 2023 were related to the diversification of supply sources and the development of LNG infrastructure. The article also presents investments and infrastructure projects, such as the Baltic Pipe, which aim to increase energy security. Poland plans to continue developing gas infrastructure and increase the share of renewable energy sources in its energy sector.

Key words – natural gas, renewable energy sources, climate neutrality

WSTĘP

Rok 2023 był szczególnie ważny dla Polski z kilku powodów. Po pierwsze, kraj zakończył długoterminowy kontrakt z rosyjskim Gazpromem, co zmusiło do intensyfikacji działań na rzecz dywersyfikacji źródeł gazu. Po drugie, Polska zainwestowała w rozbudowę infrastruktury gazowej, w tym terminali LNG i magazynów gazu, co zwiększyło jej zdolności importowe i magazynowe. Po trzecie, kraj aktywnie uczestniczył w międzynarodowych inicjatywach mających na celu poprawę integracji rynków gazu w regionie, co przełożyło się na lepszą współpracę z sąsiadującymi państwami i wzrost bezpieczeństwa energetycznego w całej UE. Przyszłość rynku gazu w Polsce rysuje się obiecująco, jednak nadal pozostaje wiele wyzwań do rozwiązania, aby zapewnić stabilność i zrównoważony rozwój tego sektora. Polska, poprzez inwestycje w infrastrukturę gazową, rozwój odnawialnych źródeł energii oraz współpracę międzynarodową, znacząco przyczynia się do zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego i redukcji emisji CO₂ w Unii Europejskiej, wspierając tym samym realizację celu neutralności klimatycznej do 2050 roku.

Jakie są kluczowe działania Polski w zakresie transformacji energetycznej i w jaki sposób przyczyniają się one do realizacji celów Unii Europejskiej dotyczących neutralności klimatycznej do 2050 roku?

Celem badania jest analiza roli Polski w transformacji energetycznej Unii Europejskiej w kontekście dążenia do neutralności klimatycznej do 2050 roku, ze szczególnym uwzględnieniem działań podejmowanych przez Polskę w zakresie dywersyfikacji źródeł energii, modernizacji infrastruktury oraz współpracy międzynarodowej.

¹ Politechnika Rzeszowska, Wydział Zarządzania, Katedra Ekonomii na Politechnice Rzeszowskiej, Studenckie Koło Naukowe „Euroinetracja”

² Politechnika Rzeszowska, Wydział Zarządzania, Katedra Ekonomii na Politechnice Rzeszowskiej Studenckie Koło Naukowe „Eurointegracja”

³ Politechnika Rzeszowska, Wydział Zarządzania, Katedra Ekonomii na Politechnice Rzeszowskiej, Studenckie Koło Naukowe „Eurointegracja”

ZRÓWNOWAŻONY ROZWÓJ W BRANŻY ENERGETYCZNEJ JAKO NOWE WYZWANIE

WYZWANIA DLA BRANŻY ENERGETYCZNEJ

Sektor energetyczny jest strategicznym elementem funkcjonowania współczesnych państw gospodarek, społeczeństw, bez którego niemożliwe jest sprawne działanie. Stając przed kolejnymi, coraz większymi wyzwaniami, branża ta narażona jest na nieuchronne zmiany, stając się jednym z niezwykle dynamicznych sektorów. Wyzwania te związane są przede wszystkim z rosnącym zapotrzebowaniem na energię oraz koniecznością zredukowania emisji gazów cieplarnianych. W praktyce oznacza to między innymi: zmieniające się trendy, regulacje prawne, konieczność transformacji energetycznych, wprowadzanie innowacji technologicznych. Choć każda ze zmian niesie ze sobą pewne zagrożenia, istotnym jest, że stwarzają one niekiedy także szanse oraz możliwości dla wybranych środowisk.

GAZ JAKO PALIWO POMOSTOWE W KONCEPCJI ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU

Nieustannie trwający proces rozwoju ludzkości oraz przemian technologicznych w ostatnich wiekach sprawił, że Unia Europejska stoi przed jednym z największych dotychczas wyzwań dla branży energetycznej, jakim jest wprowadzenie zrównoważonego rozwoju, który pozwoli ustabilizować obecną nierównowagę pomiędzy ochroną środowiska a postępującym wzrostem gospodarczym. W odpowiedzi na to wyzwanie wprowadzono Europejski Zielony Ład, który jednoznacznie określił kurs transformacji energetycznych w UE. Zgodnie z założeniami, Europa ma stać się: „pierwszym kontynentem neutralnym dla klimatu” [10]. Aby to osiągnąć, państwa członkowskie zobowiązały się do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych o 55% do 2030 r. w porównaniu do roku 1990 [10].

Sektorem, wobec którego oczekuje się wprowadzenia największych zmian jest właśnie energetyka. Najefektywniejszym w kontekście redukcji emisji zanieczyszczeń byłoby całkowite przejście na odnawialne źródła energii (OZE) i odejście od paliw kopalnianych jak na przykład węgiel. Niestety czynniki takie jak koszty instalacji, stabilność sieci, czy wreszcie zależność od pogody powodują, iż jest to obecnie nieosiągalne rozwiązanie. Pojawia się zatem konieczność wprowadzenia swego rodzaju paliwa pomostowego, które będzie z jednej strony na tyle elastyczne, aby uzupełnić OZE, a z drugiej nie będzie paliwem wysokoemisyjnym. Pomostem takim został gaz ziemny, ze względu na znacznie niższą emisyjność niż węgiel brunatny, czy produkty ropopochodne, a także możliwość szybszego i tańszego uruchamiania bloków gazowych w porównaniu do np. bloków węglowych [4]. Z tego powodu, udział gazu ziemnego w miksie energetycznym będzie wzrastał. Wydany w 2021 r. dokument „Polityka Energetyczna Polski do 2040 r. (PEP2040)” wskazuje, iż udział gazu ziemnego w miksie wzrośnie w Polsce z 7% do 17% w 2040 r. [2]. Szacunki Ministerstwa Klimatu i Środowiska podają natomiast, że zużycie gazu w elektrociepłowniach i elektrowniach wzrośnie z 4,2 mld m³ do 13,4 mld m³ w 2036 r. [1]. Można zatem założyć, iż gaz ziemny będzie kluczowym paliwem w procesie transformacji energetycznej kolejnych dekad.

PRZYSZŁOŚĆ GAZU ZIEMNEGO W UNII EUROPEJSKIEJ

NADCHODZĄCE ZMIANY W IMPORCIE GAZU DO EUROPY

Wzrost znaczenia surowca jakim jest gaz ziemny oznacza także zmiany w ilości wydobycia i przesyłania tegoż paliwa do poszczególnych państw Unii Europejskiej. Tylko nieliczne kraje europejskie są samowystarczające pod tym względem (zapotrzebowanie pokryte przez wydobycie), większość uzależniona jest od dostaw z zewnątrz. Pojawia się zatem konieczność znacznego

www.viacarpatia.pro

zwiększenia importu co w kontekście trwającej wojny w Ukrainie i postępującego odejścia od gazu sprowadzanego z Rosji stawia niektóre państwa w niekorzystnym położeniu.

Do 2022 r. Rosja była głównym dostawcą gazu ziemnego do państw UE, od wybuchu wojny w Ukrainie rolę tę przejęła Norwegia. Ponadto, w ostatnich latach znacząco wzrosła ilość dostaw skroplonego gazu do Unii Europejskiej drogą morską przez terminale LNG. Import skroplonego gazu pozwala bowiem na znaczne zdywersyfikowanie źródeł dostaw. Niemniej jednak, rosyjski gaz nadal dostarczany jest do państw członkowskich Unii Europejskiej, a wszystko to za sprawą kontraktu pomiędzy ukraińskim Naftohaz Ukrainy i rosyjskim Gazpromem. Zgodnie z nim, zakontraktowany jest przesył przez Ukrainę do UE, w latach 2021–2024, 40 mld m³ gazu rocznie [11]. Kontrakt ten wygasa wraz z końcem roku 2024 i jak zapowiadają zarządcy Naftohaz Ukrainy, nie zostanie odnowiony. Choć ilość przesyłanego gazu jest znacznie niższa niż zakontraktowana, jego brak połączony z rosnącym zapotrzebowaniem może być problematyczny dla krajów, które nie mają dostępu do innych, pewnych źródeł. Raport opublikowany przez Carnegie Endowment for International Peace wskazuje, że zakończenie przesyłania gazu będzie najbardziej dotkliwe dla Austrii, Słowacji, Węgier i Włoch [3]. O ile Austria ma dostęp do rozbudowanej zachodniej sieci gazowej, a Włochy poza gazociągami mają także wydajne terminale LNG, Słowacja i Węgry znajdują się w trudnym położeniu. W przypadku Węgier istnieje możliwość przyłączenia się do „Tureckiego Potoku”, w przypadku Słowacji perspektyw brakuje, poza skupowaniem „resztek” gazu z niemieckich terminali LNG, konkurując przy tym m.in. z Austrią, Czechami, Węgrami.

PERSPEKTYWA POLSKI JAKO KRAJU TRANZYTOWEGO – CO ZROBIĆ ŻEBY TO OSIĄGNĄĆ?

Taki stan faktyczny stwarza możliwość dla Polski, by stała się krajem tranzytowym (głównie dla Słowacji i Węgier) w oparciu o terminale LNG, zwiększając nie tylko stabilność energetyczną UE, ale także zaplecze finansowe. Podstawą do takiego statusu byłoby wprowadzenie:

- efektywnych i wydajnych połączeń ze Słowacją, pozwalających na przesył gazu gazociągami bezpośrednio do Słowacji poprzez terminal w Východ,
- zakontraktowanie czeskich i słowackich gazociągów, aby przez nie doprowadzać gaz do Czech, Słowacji i Węgier,
- zmodernizowanej sieci magazynowania gazu – należy zwiększyć możliwości magazynowania gazu w korytarzu północ–południe kraju lub w jego południowej części.

Kluczowym byłoby właśnie zwiększenie potencjału magazynowania gazu, ze względu na to, iż: wzrosłoby bezpieczeństwo energetyczne Polski; Polska zyskałaby na wiarygodności jako kraj tranzytowy; pozwoliłoby to na zakup gazu w porze letniej, gdy jego ceny na światowych giełdach są niższe i sprzedawanie go w porze zimowej, gdy ceny wzrastają; Polska mogłaby świadczyć usługi magazynowania gazu dla innych krajów. Inwestycja w magazynowanie gazu jest niezaprzeczalnie korzystna w dłuższej perspektywie, choć oczywiście należy mieć na uwadze, że jest to paliwo przejściowe, z tego względu wszelkie inwestycje w gazociągi i magazyny powinny być przystosowane do przejścia na inne paliwo w przyszłości jak biogaz czy wodór.

DYNAMIKA RYNKU GAZU W POLSCE W 2023 ROKU

IMPORT I PRODUKCJA GAZU

W 2023 roku rynek gazu w Polsce przeszedł znaczące zmiany, które były wynikiem zarówno globalnych wydarzeń, jak i krajowych strategii energetycznych. Głównym źródłem gazu dla Polski stały się dostawy LNG, które stanowiły aż 43% całego importu tego surowca, osiągając wolumen 6,04 mld

m³. Wzrost importu LNG o ponad 50% w porównaniu z 2021 rokiem był odpowiedzią na kryzys podaży na europejskim rynku gazu, wywołany działaniami Gazpromu i rosyjską agresją na Ukrainę. Szczególnie zwiększony został wolumen importu LNG ze Stanów Zjednoczonych, skąd do Polski trafiło w 2022 roku około 3,4 mld m³ surowca po regazyfikacji [13].

Polska jest również małym producentem gazu ziemnego, z roczną produkcją stabilną na poziomie około 4 mld m³. Mimo to kraj ten nieustannie dąży do zwiększenia krajowej produkcji, aby zmniejszyć zależność od importu [4]. W 2023 roku Grupa Orlen uruchomiła eksploatację złoża Tommeliten Alpha na Norweskim Szelfie Kontynentalnym, co przybliży Polskę do strategicznego celu podwojenia wydobycia w Norwegii do 6 mld m³ gazu rocznie [10].

DYWERSYFIKACJA ŹRÓDEŁ DOSTAW

Dyweryfikacja źródeł dostaw gazu była kluczowym elementem strategii energetycznej Polski w 2023 roku. Polska zintensyfikowała działania mające na celu zróżnicowanie źródeł dostaw gazu, aby uniezależnić się od dostaw z Rosji. Nowe połączenia gazowe, takie jak gazociąg Baltic Pipe, połączenie Polska–Litwa i Polska–Słowacja, odegrały istotną rolę w tym procesie. Gazociąg Baltic Pipe, uruchomiony w IV kwartale 2022 roku, umożliwia import surowca z Norweskiego Szelfu Kontynentalnego, gdzie Grupa Orlen posiada 98 koncesji i prowadzi wydobycie na 17 złożach [13].

W 2023 roku Polska zacieśniła współpracę z krajami afrykańskimi, takimi jak Nigeria i Mozambik, w celu zabezpieczenia dostaw LNG. Nigeria, z zasobami gazu szacowanymi na 5,5 bln m³, stała się jednym z ważniejszych dostawców LNG do UE, w tym do Polski. Z kolei Mozambik, dzięki uruchomieniu wydobycia z jednego z największych złóż gazu Coral w Zatoce Rovuma, dostarczył pierwsze transporty LNG do Europy, w tym do Polski [12].

ZMIANY NA RYNKU GAZU W UNII EUROPEJSKIEJ

SPADEK ZALEŻNOŚCI OD GAZU ROSYJSKIEGO

Rok 2023 był przełomowy dla rynku gazu ziemnego w Unii Europejskiej, głównie ze względu na drastyczny spadek importu gazu z Rosji. Gazprom, rosyjski gigant energetyczny, zmniejszył eksport do krajów Europy i Turcji o 33% w porównaniu do 2022 roku, osiągając poziom 69,3 mld m³. Był to drugi rok z rzędu, w którym rosyjski monopolista zanotował spadek eksportu na tych rynkach, co było wynikiem politycznych napięć i działań mających na celu uniezależnienie się od rosyjskiego gazu [5].

Do Europy popłynęło zaledwie 26,1 mld m³ gazu, co oznacza spadek o 59% w porównaniu do poprzedniego roku. W odpowiedzi na te zmiany, Unia Europejska intensyfikowała działania na rzecz dywersyfikacji źródeł dostaw gazu, zmniejszając zależność od Rosji i poszukując alternatywnych dostawców.

ZMIANY W STRUKTURZE DOSTAW GAZU DO UE

W 2023 roku Unia Europejska odnotowała znaczący spadek importu gazu rurociągowego z Rosji, ale jednocześnie wzrósł import LNG z innych źródeł. Import LNG z nierosyjskich źródeł zwiększył się z 85 mld m³ w 2022 roku do 109 mld m³ w 2023 roku, co stanowiło wzrost o 28% [10]. Główne źródła LNG dla UE to Stany Zjednoczone, Katar, Norwegia oraz Algieria.

Konsumpcja gazu w Unii Europejskiej w 2023 roku zmniejszyła się o 7,1% w porównaniu do 2022 roku, osiągając poziom 12 719 409 TJ (teradzuli). Największe spadki zużycia gazu odnotowano w Portugalii (20,2%), Austrii (13,2%) oraz Czechach (11,9%). Z kolei największe wzrosty konsumpcji miały miejsce w Finlandii (25,6%), Szwecji (11,1%) oraz Polsce (5,2%) [7].

Produkcja gazu w Unii Europejskiej kontynuowała tendencję spadkową, zmniejszając się o 18,6% w 2023 roku w porównaniu do roku poprzedniego, osiągając poziom 1 332 673 TJ. Holandia, będąca największym producentem gazu w UE, odnotowała spadek produkcji o 35,5%, podczas gdy Rumunia zwiększyła produkcję o 1,4%, a Niemcy odnotowały spadek o 10,7% [7].

IMPORT GAZU DO UE

Całkowity import gazu ziemnego do UE zmniejszył się o 19,8% w 2023 roku, osiągając poziom 18 487 075 TJ. Największy wzrost importu gazu odnotowano w Polsce (12,5%) i Bułgarii (3,8%), natomiast największe spadki miały miejsce w Austrii (50,3%), Słowacji (40,9%) oraz Niemczech (31,7%) [7].

Zmiany na rynku gazu w Unii Europejskiej w 2023 roku były wynikiem zarówno działań politycznych, jak i gospodarczych, mających na celu zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego i uniezależnienie się od rosyjskiego gazu. Dywersyfikacja źródeł dostaw, wzrost importu LNG z różnych kierunków oraz zmniejszenie zależności od importu gazu rurociągowego z Rosji przyczyniły się do stabilizacji rynku gazu w UE i poprawy bezpieczeństwa energetycznego państw członkowskich.

INWESTYCJE I ROZWÓJ INFRASTRUKTURY GAZOWEJ W POLSCE

ROZBUDOWA INFRASTRUKTURY LNG

Inwestycje w infrastrukturę LNG stanowiły element strategii Polski w 2023 roku, mającej na celu zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego i dywersyfikację źródeł dostaw gazu. Terminal LNG w Świnoujściu, otwarty w 2016 roku, odgrywał główną rolę w imporcie gazu skroplonego do Polski. W 2023 roku terminal osiągnął pełną zarezerwowaną przepustowość, przyjmując 62 dostawy LNG, co oznacza wzrost o 4 ładunki w porównaniu z rokiem poprzednim. Zwiększenie zdolności regazyfikacji terminala z 5 mld m³ rocznie do 8,3 mld m³ planowane było na koniec 2023 roku [10].

Polska również planuje budowę nowego terminala LNG w Zatoce Gdańskiej. Nowa jednostka FSRU (*Floating Storage and Regasification Unit*) ma rozpocząć działalność w 2028 roku, zwiększając zdolności importowe Polski o kolejne 6 mld m³ rocznie. Umowa z Orlenem przewiduje odbiór do 58 dostaw LNG rocznie, co zapewni stabilne dostawy gazu skroplonego do kraju [10].

MAGAZYNOWANIE GAZU

Zdolności magazynowania gazu są niezbędne dla zapewnienia stabilności dostaw i bezpieczeństwa energetycznego. W 2023 roku Polska zwiększyła swoje możliwości magazynowe dzięki rozbudowie istniejących magazynów. Magazyn w Wierchowicach, jeden z największych w kraju, zwiększył swoją pojemność z 3,3 mld m³ do 4,1 mld m³. Także magazyn w Kosakowie został rozbudowany o dodatkowe 0,06 mld m³ [9].

Polska ma obecnie łącznie około 3,3 mld m³ pojemności magazynowej podłączonej do systemu E, co stanowi około 16,7% krajowego zapotrzebowania na gaz w 2020 roku. System E to krajowy system magazynowania gazu połączony z siecią przesyłową, obejmujący podziemne magazyny gazu wykorzystywane do bilansowania podaży i popytu, szczególnie w okresach szczytowego zapotrzebowania. Magazynowanie gazu w Polsce jest zarządzane przez spółkę Gas Storage Poland, będącą spółką zależną PGNiG, oraz bezpośrednio przez PGNiG w przypadku systemu Lw. System Lw to rodzaj magazynów gazu, którymi PGNiG zarządza bezpośrednio, zapewniając dostawy w sytuacjach zwiększonego zapotrzebowania lub zakłóceń w dostawach. [8].

PROJEKTY INFRASTRUKTURALNE

W 2023 roku Polska intensywnie inwestowała w rozwój wewnętrznej infrastruktury gazowej, aby poprawić dostępność gazu w różnych regionach kraju. Jednym z kluczowych projektów była budowa gazociągu mającego zasilać elektrownię w Ostrołęce. Gazociąg ten zostanie podłączony do działającego już od ponad roku interkonektora gazowego Polska–Litwa (GIPL). Po zakończeniu testów technicznych, gazociąg ma być gotowy do użycia w drugiej połowie 2024 roku.

Istotnym projektem była również rozbudowa sieci przesyłowej w ramach programu Coal to Gas, wspierającego transformację energetyczną regionu Śląska. Gaz-System podpisał umowy na budowę dwóch odcinków gazociągu w województwach śląskim i opolskim, co utworzy 80-kilometrowy odcinek sieci przesyłowej. Nowa sieć zasili budowany blok gazowo-parowy w Rybniku, zwiększając dostępność gazu w regionie.

MIĘDZYNARODOWA WSPÓLPRACA I INWESTYCJE

W 2023 roku Polska kontynuowała rozwój współpracy międzynarodowej w zakresie energetyki gazowej. Operatorzy gazowych systemów przesyłowych z Polski i Danii podpisali Memorandum of Cooperation, którego celem jest zapewnienie bezpiecznych i ciągłych dostaw gazu gazociągiem Baltic Pipe oraz rozwój nowych obszarów, takich jak biometan i wodór. Dodatkowo, Polska aktywnie uczestniczyła w międzynarodowych inicjatywach naukowo-biznesowych, takich jak VII Konferencja Polskiej Platformy LNG i bioLNG oraz I Forum POB w ramach Europejskiego Tygodnia Biometanu [9].

Polska ma ambitne plany dalszej rozbudowy infrastruktury gazowej i zwiększenia zdolności importowych. Planowane jest uruchomienie drugiego polskiego gazoportu w Zatoce Gdańskiej w 2028 roku, który po zakończeniu inwestycji oraz rozbudowie terminala LNG w Świnoujściu zwiększy łączną przepustowość obu instalacji do około 14 mld m³ [9].

PRZYSZŁE KIERUNKI ROZWOJU RYNKU GAZU W POLSCE

DŁUGOTERMINOWE PLANY I STRATEGIE

Zgodnie z polityką energetyczną kraju, gaz ziemny ma pełnić rolę paliwa przejściowego w drodze do osiągnięcia zeroemisyjnego systemu energetycznego. Planowane jest zwiększenie zużycia gazu ziemnego o blisko 50%, do 30 mld m³ rocznie w 2030 roku, głównie w celu zastąpienia węgla w produkcji energii elektrycznej i ogrzewaniu budynków [8].

Rozwój rynku biometanu i wodoru jest ważnym elementem strategii Polski na najbliższe lata. Kraj zamierza wykorzystać istniejącą infrastrukturę gazową do wspierania zwiększonego użycia biometanu oraz rozwijania rynku niskoemisyjnego wodoru. Te działania mają na celu zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych i wprowadzenie bardziej zrównoważonych źródeł energii.

WYZWANIA I ZAGROŻENIA

Mimo ambitnych planów i intensywnych inwestycji, Polska stoi przed szeregiem wyzwań związanych z przyszłym rozwojem rynku gazu. Jednym z głównych wyzwań jest zapewnienie stabilnych dostaw gazu w obliczu zmieniających się warunków geopolitycznych i rynkowych. Sytuacja na rynku gazu jest dynamiczna, a zmiany polityczne mogą wpłynąć na dostępność i ceny gazu ziemnego. Polska musi być przygotowana na te zmiany, kontynuując dywersyfikację źródeł dostaw i rozwijając współpracę międzynarodową.

Kolejnym wyzwaniem jest rozwój technologii niskoemisyjnych, takich jak biometan i wodór, które wymagają znacznych inwestycji i wsparcia legislacyjnego. Wprowadzenie tych technologii na szeroką skalę będzie wymagało współpracy rządu, sektora prywatnego oraz instytucji naukowych. Polska musi również zmierzyć się z wyzwaniami związanymi z infrastrukturą, w tym modernizacją i rozbudową sieci przesyłowych oraz magazynów gazu.

ZWIĘKSZENIE PRODUKCJI ENERGII ODNAWIALNEJ

Aby zrealizować cel neutralności klimatycznej, Unia Europejska musi znacząco zwiększyć produkcję energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych, takich jak panele słoneczne, turbiny wiatrowe oraz energia morska. Kluczowe jest również promowanie oszczędzania energii i szersze wykorzystanie samochodów elektrycznych.

Jak wynika z Eurostatu (dane na rok 2022) ponad 20% energii zużywanej w UE pochodzi z OZE. To ponad dwukrotny wzrost od 2004 roku. Poprzedni cel UE wynoszący 32% do 2030 r., został zaktualizowany we wrześniu 2023 r., kiedy Parlament zatwierdził nowy cel wynoszący 42,5% udziału OZE do 2030 roku. Porozumienie wzywa też kraje UE, aby dążyły do osiągnięcia 45% udziału OZE. W 2022 roku udział odnawialnych źródeł energii w ogólnym zużyciu energii w UE wyniósł 23%, w porównaniu do 21,8% w 2021 roku [6]. W efekcie, zapotrzebowanie na energię elektryczną w UE znacznie wzrosło, a rola gazu ziemnego będzie maleć na rzecz gazów odnawialnych i niskoemisyjnych w niektórych sektorach.

PROJEKTY WSPÓLNEGO ZAINTERESOWANIA

Unijna polityka sprzyjająca skuteczniejszej współpracy krajów Unii Europejskiej z sąsiadującymi państwami prowadzi do realizacji wielu projektów infrastruktury transgranicznej, znanych jako projekty będące przedmiotem wspólnego zainteresowania. Projekty te, są często realizowane na dużą skalę, trwają wiele lat i wymagają znacznych zasobów. W latach 2014–2020, unijny instrument „Łącząc Europę” wsparł finansowanie 107 takich projektów na łączną kwotę 4,7 mld euro. Projekty te przynoszą korzyści dużej części ludności w regionach, w których są realizowane, oraz pomagają w osiągnięciu celów UE w zakresie polityki energetycznej i klimatycznej. Jednym z projektów dotyczących gazu ziemnego, który cieszy się dużym zainteresowaniem wśród Unii Europejskiej, jest połączenie międzysystemowe Polska-Dania znane obecnie jako „Baltic Pipe”. W marcu 2016 r. operatorzy systemów przesyłowych gazu z Polski i Danii – Gaz-System i Energinet oficjalnie poinformowały, że wspólnie badają możliwości realizacji połączenia między polskim i duńskim systemem przemysłowym za pomocą gazociągu Baltic Pipe i zamierzają do końca roku opracować studium wykonalności. W kolejnych latach przeprowadzono kolejne fazy procesu inwestycyjnego, a ostateczne decyzje inwestycyjne operatorzy podjęli w listopadzie 2018 r. [14].

MODERNIZACJA I POŁĄCZENIA ENERGETYCZNE

Transeuropejskie sieci energetyczne zachęcają kraje UE do modernizacji swojej infrastruktury energetycznej i rozwiązania problemów strukturalnych. Przykładem jest synchronizacja sieci elektroenergetycznej państw bałtyckich z europejską siecią kontynentalną oraz projekt „Celtic Interconnector”, który łączy Irlandię i Francję nowym podwodnym połączeniem, eliminując izolację energetyczną Irlandii. W ostatnim wieloletnim budżecie unijnym przewidziano 5,83 mld euro na transeuropejskie sieci energetyczne i projekty transgraniczne w dziedzinie energii odnawialnej. Wspólne planowanie i budowa infrastruktury energetycznej są niezwykle ważne dla rynku wewnętrznego oraz rozwiązania bieżących problemów, takich jak wzrastające zapotrzebowanie na energię elektryczną z odnawialnych źródeł oraz stopniowe wycofywanie paliw kopalnych.

www.viacarpatia.pro

LITERATURA

- [1] Gryn M., Raport Zielony Ład. Do neutralności potrzebujemy gazu. „My Company Polska”, wydanie 3/2021 (66), 2021
- [2] Polityka Energetyczna Polski do 2040 r. (PEP2040), <https://www.gov.pl/web/klimat/polityka-energetyczna-polski> (dostęp: 25.05.2024 r.)
- [3] Vakulenko S., The Final Countdown: Will Russia and Ukraine Renew Gas Transit Deal? <https://carnegieendowment.org/russia-eurasia/politika/2024/02/the-final-countdown-will-russia-and-ukraine-renew-gas-transit-deal?lang=en> (dostęp: 28.05.2024 r.)
- [4] Gaz jeszcze przez wiele lat będzie odgrywał istotną rolę w gospodarce, <https://www.rp.pl/perspektywy-dla-polski/art8548341-gaz-jeszcze-przez-wiele-lat-bedzie-odgrywal-istotna-role-w-gospodarce> (dostęp: 28.05.2024 r.)
- [5] Gazprom w 2023 roku: stabilizacja eksportu do Europy, wzrost znaczenia Chin, <https://www.osw.waw.pl/pl/publikacje/analizy/2024-02-02/gazprom-w-2023-roku-stabilizacja-eksportu-do-europy-wzrost-znaczenia> (dostęp: 25.05.2024 r.)
- [6] Jak UE wspiera energię odnawialną, <https://www.europarl.europa.eu/topics/pl/article/20221128STO58001/jak-ue-wspiera-energie-odnawialna#:~:text=Zwiększenie%20unijnych%20celów%20wykorzystania%20OZE,udziału%20OZE%20do%202030%20roku>, (dostęp: 28.05.2024)
- [7] Natural Gas Supply Statistics - 2023, <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/SEPDF/cache/10590.pdf> (dostęp: 01.06.2024 r.)
- [8] Poland Natural Gas Security Policy, <https://www.iea.org/articles/poland-natural-gas-security-policy> (dostęp: 25.05.2024 r.)
- [9] Polska i rynek gazu w 2023 r. – podsumowanie i plany, <https://duon.pl/lepiejnaz/polska-i-rynek-gazu-w-2023-r-podsumowanie-i-plany/> (dostęp: 25.05.2024 r.)
- [10] Realizacja Europejskiego Zielonego Ładu, https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_pl (dostęp: 30.05.2024)
- [11] Rosyjski gaz wciąż płynie do UE przez Ukrainę. Czy po 2024 r. przestanie płynąć? <https://wysokienapiecie.pl/98547-rosyjski-gaz-wciaz-plynie-do-ue-przez-ukraine-czy-po-2024-r-przestanie-plynac/> (dostęp: 30.05.2024)
- [12] Rynek gazu – nowe kierunki, nowi gracze, <https://duon.pl/lepiejnaz/rynek-gazu-nowe-kierunki-nowi-gracze/> (dostęp: 25.05.2024 r.)
- [13] Struktura zaopatrzenia Polski w gaz przeszła zasadnicze zmiany, <https://obserwatorgospodarczy.pl/2023/03/29/struktura-zaopatrzenia-polski-w-gaz-przeszla-zasadnicze-zmiany/> (dostęp: 25.05.2024 r.)
- [14] Tak powstawał Baltic Pipe – historia inwestycji, <https://www.cire.pl/artykuly/materialy-problemowe/tak-powstawal-baltic-pipe---historia-inwestycji-> (dostęp: 28.05.2024)

Układ autopilota i kontrolera fly-by-wire małego samolotu bezzałogowego

SUMMARY

The work “Autopilot and fly-by-wire controller system of a small unmanned aircraft” focuses on the construction and principle of operation of the on-board computer with the autopilot and the fly-by-wire system. The aim of the article is to familiarize the reader with the influence of individual elements on the operation of the entire system and the working algorithms of the autopilot and regulators of individual control axes. The work also describes the relationships between individual components.

Key words – autopilot, fly-by-wire, on-board computer

WSTĘP

Małe samoloty bezzałogowe (UAV – *Unmanned Aerial Vehicles*) [1] są nieodłącznym elementem współczesnej technologii, znajdując szerokie zastosowanie w dziedzinach takich jak rolnictwo precyzyjne, monitorowanie środowiska, dostarczanie towarów. Kluczowym elementem ich funkcjonowania są systemy umożliwiające autonomiczną pracę takie jak autopilot oraz kontroler fly-by-wire [2], które umożliwiają precyzyjne sterowanie maszyną bez udziału pilota. Systemy te nie tylko zwiększają efektywność, precyzję i bezpieczeństwo operacji, ale także umożliwiają realizację misji w trudnych i niebezpiecznych warunkach. W niniejszym artykule przedstawiono szczegółowy opis tych systemów w kontekście małego samolotu bezzałogowego.

ZASADA DZIAŁANIA KOMPUTERA POKŁADOWEGO I SYSTEMU FLY-BY-WIRE

Komputer pokładowy UAV pełni rolę centralnej jednostki sterującej, integrującej dane z różnych czujników i podejmującej decyzje sterujące. System fly-by-wire (FBW) zastępuje tradycyjne mechaniczne układy sterowania elektronicznymi sygnałami, co zwiększa precyzję i niezawodność sterowania. System FBW interpretuje polecenia pilota (lub autopilota) i przekłada je na sygnały sterujące serwomechanizmami, które z kolei kontrolują powierzchnie sterowe samolotu. Dzięki temu możliwe jest zrealizowanie skomplikowanych manewrów z dużą dokładnością, co jest kluczowe dla misji wymagających precyzji.

PLYTA GŁÓWNA SAMOLOTU

Płyta główna samolotu dzieli się na system fly-by-wire oraz autopilot. Oba systemy zintegrowane zostaną w jednym 32 bitowym mikrokontrolerze PIC32. W skład systemu autopilota oprócz mikrokontrolera wchodzić będzie karta SD z domyślną trasą przelotu oraz układ radiowy LoRa (*Long Range*) umożliwiającego zdalne określenie trasy lotu i odbieranie danych z czujników pokładowych, na

¹ Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Katedra Podstaw Elektroniki, Koło Naukowe Elektroników

² Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Katedra Podstaw Elektroniki, Koło Naukowe Elektroników

www.viacarpatia.pro

odległość do kilku kilometrów. System fly-by-wire składa się z czterech regulatorów oraz czujników i układów wykonawczych. Dodatkowo na płycie głównej samolotu znajdzie się sekcja zasilania, której zadaniem będzie dostosowanie napięcia z baterii litowo-polimerowej do napięcia zasilania poszczególnych podzespołów. W kolejnych akapitach zostaną omówione komponenty: mikroprocesor, układ radiowy LoRa oraz karta SD.

Mikroprocesor pełni rolę centralnej jednostki sterującej, jego zadaniem jest analiza danych z czujników i generowanie sygnałów sterujących. W prezentowanym układzie zastosowano 32-bitowy mikroprocesor PIC32 z obsługą magistrali CAN, I²C, SPI oraz UART służących do komunikacji z podzespołami płyty głównej. Zastosowany mikrokontroler musi być przystosowany do szybkiego przetwarzania informacji oraz sprzętowej obsługi wymienionych magistral ponieważ informacje z wszystkich czujników należy przetwarzać możliwie jak najszybciej w celu wprowadzania minimalnego opóźnienia regulacji w układzie automatycznego sterowania samolotem FBW. Schemat prezentujący transfer danych pomiędzy elementami oraz wykorzystane magistrale komunikacyjne znajduje się na rys. 1.

Układ radiowy LoRa [3] umożliwia komunikację na duże odległości, co jest kluczowe dla zdalnego sterowania i monitorowania UAV. LoRa jest technologią umożliwiającą przesyłanie danych na duże odległości przy niskim zużyciu energii, co jest istotne dla wydłużenia czasu misji. Moduł ten może zostać także wykorzystany do przesyłania danych telemetrycznych samolotu. Układ komunikuje się z mikroprocesorem za pomocą magistrali UART przy wykorzystaniu komend AT.

Karta pamięci SD służy do zapisywania wstępnej trasy lotu oraz innych danych telemetrycznych. Pozwala to na późniejszą analizę i optymalizację, a także na zachowanie danych na potrzeby raportowania lub badań.

CZUJNIKI

Rurka Prandtla [4] służy do pomiaru prędkości powietrza względem samolotu. Działa na zasadzie różnicy ciśnień dynamicznego i statycznego, co pozwala na określenie prędkości lotu względem powietrza. Jest to kluczowy parametr dla zachowania odpowiednich warunków aerodynamicznych. Dane pomiarowe z rurki Prandtla zostaną przetworzone przez cyfrowy czujnik ciśnienia komunikujący się bezpośrednio z mikrokontrolerem.

Układ odbiornika systemu Global Positioning System dostarcza informacji o pozycji geograficznej samolotu, co jest niezbędne do nawigacji i wyznaczania trasy lotu. Dane z GPS są wykorzystywane do określania aktualnej pozycji samolotu oraz planowania jego dalszego ruchu. GPS jest podstawowym źródłem pozycji dla układu autopilota. W opisywanym projekcie wykorzystany został układ GPS wykorzystujący magistralę UART do komunikacji.

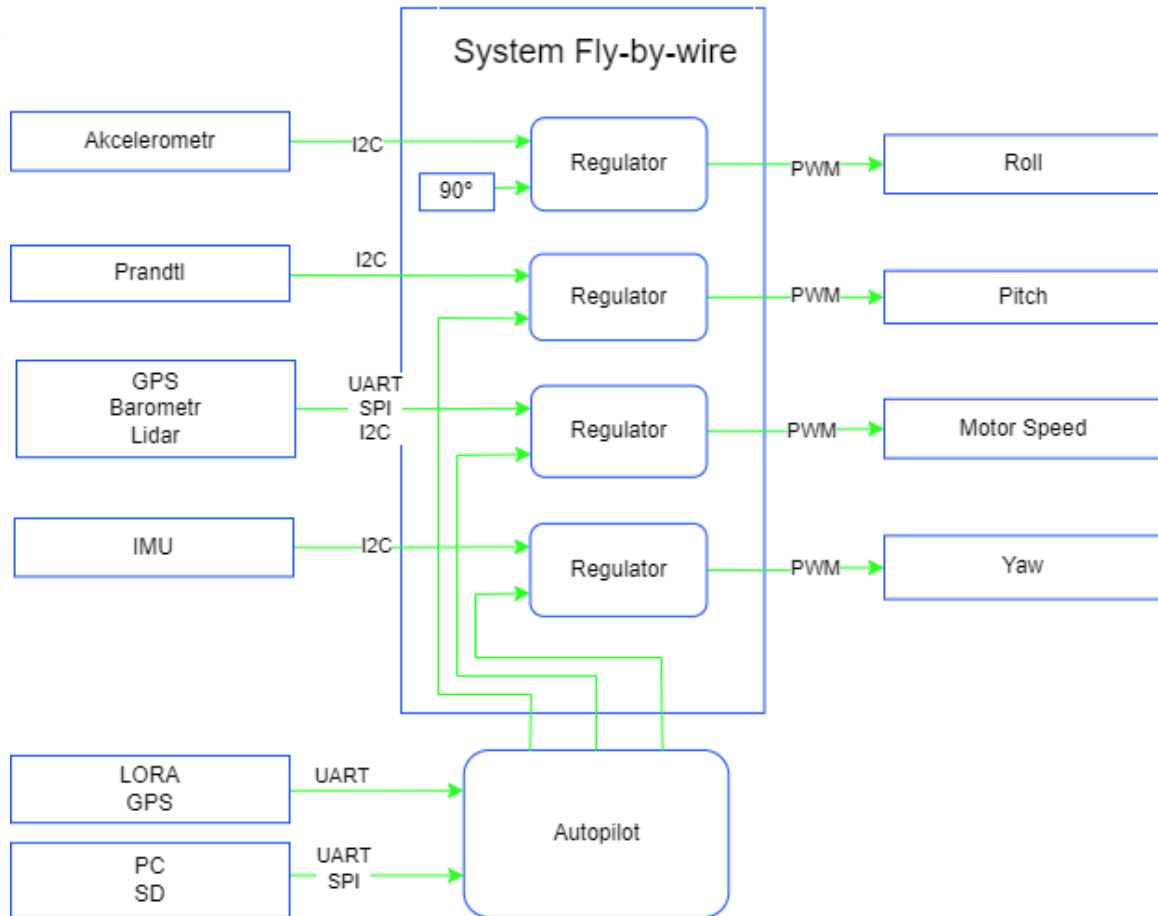
IMU (*Inertial Measurement Unit*) zawiera akcelerometry i żyroskopy, które mierzą przyspieszenie i prędkość kątową. Pozwala to na określenie kątowej orientacji samolotu w przestrzeni względem pola grawitacyjnego ziemi. IMU jest kluczowym elementem w stabilizacji lotu i realizacji manewrów.

Inklinometr [5] mierzy kąt nachylenia samolotu względem ziemi. Jest istotny dla utrzymania odpowiedniego położenia katowego w przestrzeni, co wpływa na stabilność i bezpieczeństwo lotu.

Barometr mierzy ciśnienie atmosferyczne, co pozwala na określenie wysokości lotu. Barometr jest niezbędny do utrzymania odpowiedniego pułapu lotu i realizacji misji wymagających precyzyjnej kontroli wysokości.

Lidar [6] mierzy odległość przez oświetlenie obiektu światłem laserowym i dokonuje pomiaru odbicia przy pomocy czujnika. Jest wykorzystywany na niewielkich wysokościach szczególnie przy podchodzeniu do lądowania z uwagi na wysoką dokładność w porównaniu do pozostałych systemów.

www.viacarpatia.pro



Rys. 1. Schemat komputera pokładowego samolotu
Źródło: Opracowanie własne.

UKŁADY WYKONAWCZE

Do układów wykonawczych zaliczamy wszystkie układy sterujące elementami mechanicznymi samolotu. Do tych układów należą serwomechanizmy sterujące lotkami i sterami oraz silnik BLDC odpowiedzialny za regulację prędkości samolotu.

Serwomechanizmy RC są sterowane sygnałami PWM – kontrolują stery kierunku, wysokości oraz lotki na skrzydłach. Dzięki nim możliwe jest precyzyjne sterowanie samolotem, realizowanie skomplikowanych manewrów oraz stabilizacja lotu w trudnych warunkach.

Silnik BLDC (Brushless DC) napędza samolot. Jego prędkość obrotowa jest regulowana przez mikroprocesor w celu utrzymania odpowiedniej prędkości lotu. Silniki te charakteryzują się wysoką efektywnością energetyczną i dużą trwałością, co jest kluczowe dla wydłużenia czasu misji i zmniejszenia kosztów eksploatacji.

ALGORYTM WYZNACZANIA TRASY LOTU

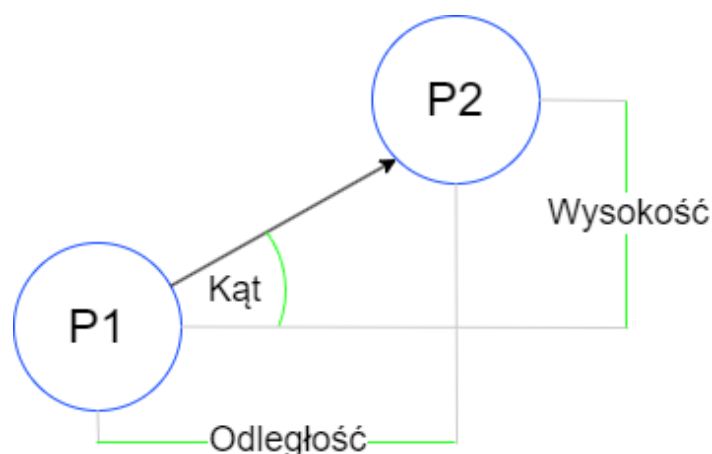
Algorytm wyznaczenia trasy lotu jest kluczowym elementem systemu autopilota małego samolotu bezałogowego. Jego głównym zadaniem jest zapewnienie, że UAV będzie podążał ściśle określoną trasą, która została wcześniej zaplanowana, uwzględniając warunki środowiskowe oraz zmiany

www.viacarpatia.pro

położenia samolotu podczas lotu. Do wyznaczania trasy lotu wykorzystywany jest program utworzony w Kole Naukowym Elektroników przez wcześniejszych członków koła. Trasę lotu planuje się przez utworzenie punktów trasy (*waypointów*) o odpowiednich współrzędnych geograficznych i wysokości względem poziomu gruntu. Dodatkowo zaleca się także zaprogramowanie sugerowanej prędkości samolotu.

Komputer pokładowy samolotu jest wyposażony w moduł GPS, który dostarcza bieżących danych o pozycji geograficznej w formacie współrzędnych geograficznych (szerokość i długość geograficzna) oraz wysokości. Aktualizacja pozycji jest procesem ciągłym i odbywa się w regularnych odstępach czasu. Regularne odczytywanie pozycji obiektu pozwala na bieżąco monitorować trasę lotu oraz dokonywać niezbędnych korekt.

Podczas lotu UAV algorytm porównuje aktualną pozycję samolotu z zaplanowanymi punktami trasy (*waypointami*). Na rys. 2 przedstawiono parametry porównywane przez algorytm. Algorytm oblicza odległość oraz kąt (azymut) pomiędzy bieżącą pozycją a najbliższym waypointem. Dzięki temu możliwe jest określenie, w którym kierunku samolot powinien się poruszać, aby dotrzeć do celu. Proces ten uwzględnia także wysokość waypointów, co jest istotne dla zachowania odpowiedniego profilu lotu i unikania przeszkód terenowych.



Rys. 2. Wizualizacja operacji porównania pozycji obecnej z waypointem
Źródło: Opracowanie własne.

Na podstawie porównania aktualnej pozycji z waypointem algorytm wyznacza konieczne korekty kursu. Jeśli aktualny kurs samolotu odbiega od kursu do waypointu, algorytm FBW generuje sygnały sterujące dla serwo mechanizmów, które odpowiednio zmieniają ustawienie powierzchni sterowych samolotu (lotki, ster kierunku, ster wysokości, moc silnika). Dzięki temu samolot jest w stanie skorygować swoją trajektorię i skierować się w stronę wyznaczonego waypointu.

Algorytm wyznaczania trasy lotu często obejmuje także procedury automatycznego lądowania. Po osiągnięciu ostatniego waypointu, algorytm przechodzi do trybu lądowania, analizując aktualne warunki i wyznaczając bezpieczną ścieżkę schodzenia. System kontroluje prędkość, kąt nachylenia i wysokość samolotu, aby zapewnić bezpieczne i precyzyjne lądowanie. Automatyczne lądowanie jest szczególnie istotne w sytuacjach, gdzie manualne sterowanie jest niemożliwe lub zbyt ryzykowne.

ALGORYTMY STEROWANIA SAMOLOTEM FLY-BY-WIRE

System FBW to zaawansowana technologia stosowana w nowoczesnych statkach powietrznych, zarówno załogowych, jak i bezzałogowych, która zastępuje tradycyjne mechaniczne układy sterowania elektronicznymi. W samolotach bezzałogowych (UAV) system FBW pełni on kluczową rolę pozwalając komputerowi pokładowemu precyzyjnie i bezpiecznie kontrolować obiekt.

Zasada działania systemu fly-by-wire opiera się o sygnały elektroniczne. System ten eliminuje konieczność stosowania ciężkich i skomplikowanych mechanicznych połączeń pomiędzy sterami a powierzchniami sterowymi samolotu. Zamiast tego, ruchy sterów są przekształcane na sygnały elektroniczne, które są przesyłane do komputera pokładowego. Komputer analizuje te sygnały w oparciu o zaprogramowane algorytmy sterowania i generuje odpowiednie zwrotne sygnały sterujące dla serwomechanizmów kontrolujących powierzchnie sterowe, takie jak lotki, ster kierunku i ster wysokości, a także dla kontrolera silnika.

Zalety systemu fly-by-wire:

- redukcja masy i złożoności, przez eliminację mechanicznych połączeń, które zmniejszają masę samolotu i upraszczają konstrukcję,
- zwiększona niezawodność, dzięki zastosowaniu elektronicznych układów sterowania, które są mniej podatne na awarie mechaniczne,
- lepsza reakcja i precyzja uzyskana z elektronicznego sterowania pozwala na szybsze i bardziej precyzyjne reakcje na polecenia pilota lub autopilota,
- możliwość implementacji zaawansowanych algorytmów sterowania.

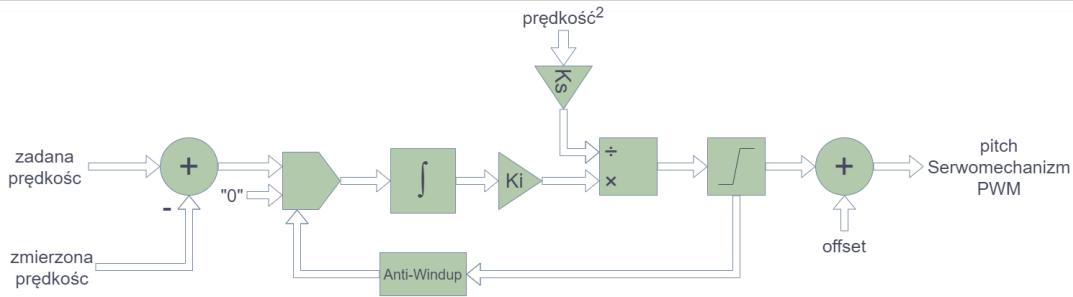
Dzięki komputerowi pokładowemu możliwe jest stosowanie zaawansowanych algorytmów kontrolnych, które zwiększają stabilność, precyzję i bezpieczeństwo lotu oraz pozwalają na autonomiczny lot w różnych warunkach (np. dla różnych prędkości wiatru).

Sterowanie samolotem odbywa się w czterech kategoriach: kąta nachylenia (*pitch*), kąta przechylenia (*roll*), kierunku (*yaw*) oraz wysokości. Zostaną one omówione w następnych akapitach.

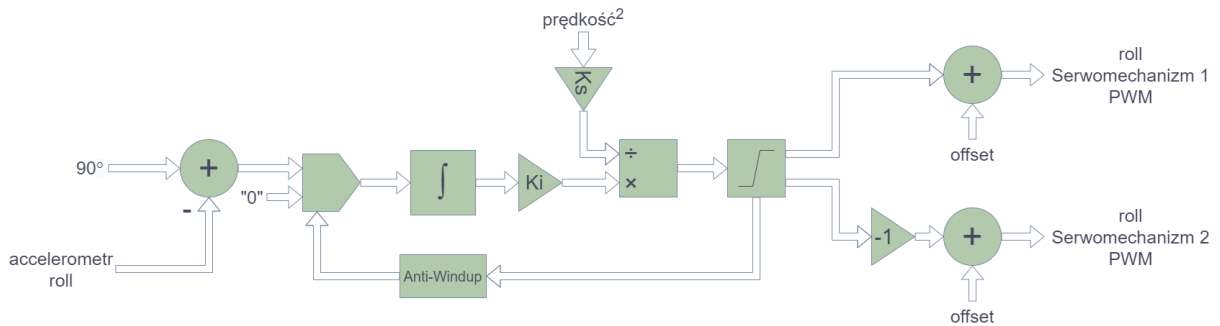
Sterowanie *pitch* odpowiada za kontrolę nachylenia dzioba samolotu w górę lub w dół. W systemie FBW, komputer pokładowy wykorzystuje dane z rurek Prandtla do monitorowania aktualnej prędkości samolotu. Jeśli prędkość samolotu odbiega od zadanej, regulator całkujący oblicza odpowiednią korektę i wysyła sygnały sterujące do serwomechanizmów sterujących sterem wysokości, aby przywrócić samolotowi pożądaną wysokość. Schemat ideowy algorytmu przedstawiono na rysunku 3.

Sterowanie *roll* kontroluje przechylenie samolotu wokół jego osi podłużnej. Komputer pokładowy analizuje dane z akcelerometru, aby monitorować aktualne przechylenie. Jeśli samolot odbiega od zadanego optymalnego przechylenia, algorytm regulatora całkującego oblicza niezbędne korekty i wysyła odpowiednie sygnały do serwomechanizmów sterujących lotkami, co pozwala na precyzyjne utrzymanie stabilności w osi poziomej oraz maksymalizację efektywności aerodynamicznej samolotu.

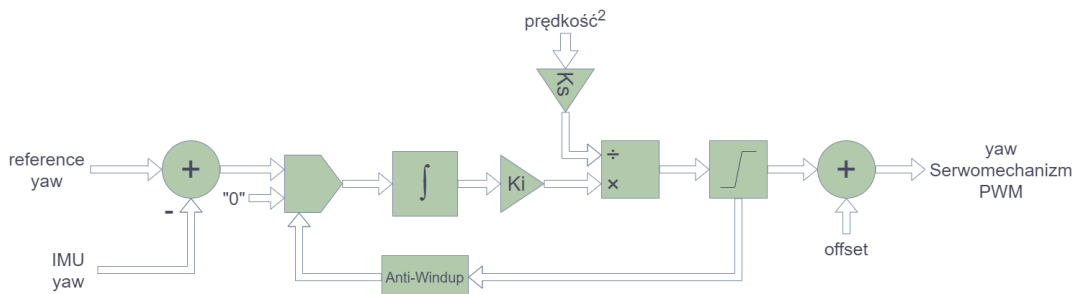
Sterowanie *yaw* odpowiada za kontrolę kursu samolotu (kierunek). Komputer pokładowy wykorzystuje dane z GPS oraz magnetometru do monitorowania aktualnego kursu. Jeśli kurs różni się od zadanego, algorytm całkujący regulatora oblicza odpowiednie korekty i zadaje odpowiednie wartości serwomechanizmom odpowiedzialnym za stery kierunku. Dzięki temu samolot może precyzyjnie utrzymywać zadany kurs, nawet przy dużym wietrze bocznym, czy innych niesprzyjających warunkach pogodowych. Realizację tego sterowania wyrażono za pomocą schematu ideowego przedstawionego na rysunku 5.



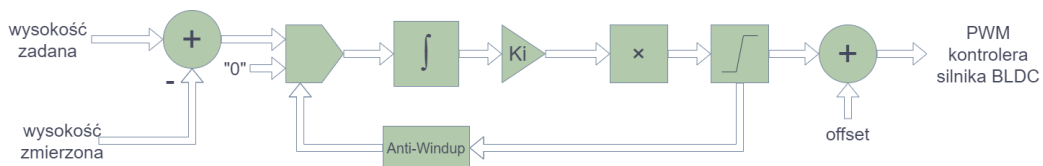
Rys. 3. Schemat ideowy algorytmu sterowania pitch
Źródło: opracowanie własne.



Rys. 4. Schemat ideowy algorytmu sterowania roll
Źródło: opracowanie własne.



Rys. 5. Schemat ideowy algorytmu sterowania yaw
Źródło: opracowanie własne.



Rys. 6. Schemat ideowy sterowania silnikiem BLDC
Źródło: opracowanie własne.

Dokładne sterowanie silnikiem BLDC jest kluczowe dla realizacji misji lotniczych. Komputer pokładowy na podstawie odczytów wysokości z barometru, układu GPS oraz lidarów połączonych z wykorzystaniem filtru kalmana monitoruje aktualną wysokość. Wykorzystanie wielu źródeł danych pozwala na wykrycie błędnie działających sensorów oraz dostosowanie poziomu ich oddziaływania na wynik pomiaru wysokości. Jeśli wysokość odbiega od zadanej, algorytm regulatora całkującego wysterowuje silnik w taki sposób, aby przez zmianę prędkości lotu wymusić na sterowniku pitch samolotu zmianę kąta nachylenia a tym samym zmianę wysokości.

INTEGRACJA SYSTEMU FLY-BY-WIRE Z AUTOPILOTEM

System FBW w połączeniu z autopilotem tworzy zaawansowany układ sterowania, który pozwala na autonomiczne wykonywanie złożonych misji lotniczych. Autopilot, wykorzystując zaprogramowane algorytmy wyznaczania trasy lotu, generuje odpowiednie komendy sterujące, które są następnie realizowane przez system FBW. W przypadku wykrycia jakichkolwiek odchyłeń od zadanych parametrów lotu, lub zakłóceń system FBW dokonuje korekt, zapewniając stabilność i precyzję.

Regulatory całkujące odgrywają kluczową rolę w prezentowanym systemie sterowania, zapewniając:

- stabilność – przez eliminację długotrwałych błędów, regulatory całkujące przyczyniają się do stabilności lotu, co jest istotne zwłaszcza w zmieniających się warunkach atmosferycznych,
- precyzję – dzięki precyzyjnemu sterowaniu powierzchniami sterowymi i silnikiem, regulatory całkujące umożliwiają realizację skomplikowanych manewrów i utrzymanie dokładnej trajektorii lotu,
- efektywność energetyczną – stosując optymalizację prędkości lotu, regulatory całkujące przyczyniają się do efektywnego zarządzania energią, co jest kluczowe dla wydłużenia maksymalnego czasu misji,
- bezpieczeństwo – eliminuje długotrwałe odchylenia od zadanych parametrów, co zwiększa bezpieczeństwo operacji lotniczych i minimalizuje ryzyko niekontrolowanych sytuacji.

PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono szczegółowy opis układu autopilota i kontrolera fly-by-wire małego samolotu bezzałogowego. Omówiono kluczowe komponenty mikroprocesorowego układu elektronicznego, algorytmy wyznaczania trasy lotu oraz algorytmy sterowania. Zaprezentowane rozwiązania technologiczne zapewniają precyzyjne i niezawodne sterowanie UAV, co ma kluczowe znaczenie dla ich efektywnego wykorzystania w różnych zastosowaniach.

Rozwój technologii UAV będzie zmierzał w kierunku jeszcze większej autonomii i precyzji, co pozwoli na ich jeszcze szersze zastosowanie w wielu dziedzinach. Kontynuacja badań i rozwój zaawansowanych systemów sterowania i nawigacji będą kluczowe dla dalszego postępu w tej dynamicznie rozwijającej się branży. Dzięki temu możliwe będzie realizowanie coraz bardziej skomplikowanych misji, co przyczyni się do dalszego rozwoju technologicznego i zwiększenia efektywności w różnych dziedzinach życia.

LITERATURA

- [1] <https://www.britannica.com/technology/unmanned-aerial-vehicle>
- [2] Sutherland J.P., *Fly-by-wire Flight Control Systems*, Air Force Flight Dynamics Laboratory Wright Patterson Air Force Base, Ohio, 1968

www.viacarpatia.pro

-
- [3] https://soyter.pl/pl/menu/moduly-lora-710.html?srsltid=AfmBOopI4I3mAmw2fkxdfcq7K3_Iz9KiokqJTPisFWCLaXdolLqWtKt7
- [4] Orzechowski Z., Prywer J., Zarzycki R., *Mechanika Płynów w inżynierii i ochronie środowiska*. WNT, Warszawa, 2009
- [5] <https://www.metrolog.net/inclinometer.php?lang=en>
- [6] Taylor S.T., *Introduction to Laser Science and Engineering*. CRC Press, 2019

System operacyjny MicrOS – projekt i implementacja protokołów sieciowych

SUMMARY

MicrOS is an operating system project developed by the Student Computer Science Club "Kod" at the Rzeszów University of Technology. Designed for IA-32 architecture, it supports multitasking, protected mode, both 32-bit and 16-bit applications via Virtual 8086 mode. Built as a monolithic kernel with modular expandability, MicrOS provides drivers for devices like hard disk drives, mouse, and VGA graphic card, and includes a command-line shell for user interaction. MicrOS further supports C standard libraries and POSIX standards, facilitating portability for software. As part of the ongoing work, mechanisms of selected network protocols were implemented in MicrOS. Key achievements include: implementation of drivers for Realtek RTL8139 and VirtIO-Net network cards, design and development of a module for managing network interfaces, enabling data exchange between system layers, implementation of IP, ICMP, UDP, and TCP protocols, creation of applications leveraging the designed protocols and interfaces. The conducted tests yielded satisfactory results.

Key words – operating system, computer networks, network protocols

WSTĘP

System operacyjny MicrOS rozwijany jest jako projekt Studenckiego Koła Naukowego Informatyków „Kod”, działającego przy Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej. System operacyjny jest oprogramowaniem, które zarządza zasobami komputera, takimi jak procesor, pamięć i urządzenia peryferyjne. Umożliwia uruchamianie programów i koordynuje ich działanie. Praca przy projektowaniu, tworzeniu i rozwijaniu własnego systemu operacyjnego daje autorom możliwość zdobycia unikalnych umiejętności w zakresie programowania niskopoziomowego, zarządzania pamięcią i obsługi urządzeń sprzętowych. Znajomość szczegółów architektury systemu MicrOS i jego implementacji jest przydatna przy realizacji różnego rodzaju badań. Można bowiem precyzyjnie określić wpływ systemu operacyjnego na ich wyniki. Z kolei elastyczność związana z dostępnością kodu źródłowego i jego łatwej modyfikacji przekłada się na szeroki zakres potencjalnych badań i zastosowań. System operacyjny MicrOS udostępniany jest publicznie w ramach licencji The GNU General Public License v3.0.

ARCHITEKTURA SYSTEMU MICROS

Każdy system operacyjny musi zostać dostosowany do platformy sprzętowej, na której będzie uruchamiany. W przypadku MicrOS jako platformę docelową wybrano IA-32 [1], będącą 32-bitowym rozszerzeniem architektury x86 zaprojektowanym przez firmę Intel, co oznacza możliwość jego zastosowania w prawie wszystkich komputerach osobistych. Do utworzenia systemu wykorzystano język C, a niektóre elementy zaprogramowano z użyciem asemblera. Jądro MicrOS zostało zbudowane

¹ Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Studenckie Koło Naukowe Informatyków „Kod”

² Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Katedra Informatyki i Automatyki

na podstawie architektury monolitycznej [2]. System pracuje w 32-bitowym trybie chronionym, podobnie jak większość systemów operacyjnych opracowanych na platformę IA-32.

System MicrOS jest wielozadaniowy, co oznacza możliwość uruchamiania wielu programów jednocześnie. Czas procesora przydzielany jest według algorytmu karuzelowego (rotacyjnego) [3].

Zaimplementowano wsparcie dla następujących urządzeń peryferyjnych:

- dyski twarde ATA,
- klawiatura,
- mysz PS/2,
- porty magistrali szeregowej COM,
- zegar czasu rzeczywistego,
- stacja dyskietek lub jej emulator,
- programowalny licznik,
- programowalny kontroler przerwań (PIC),
- karta graficzna typu Video Graphics Array,
- VESA BIOS Extension¹.

Mimo swojej 32-bitowej architektury, MicrOS potrafi uruchomić aplikacje zarówno 32-bitowe jak i 16-bitowe. Tryb rzeczywisty procesora wprowadzono do systemu operacyjnego przez implementację trybu Virtual 8086, w którym procesor pracuje jak 16-bitowy Intel 8086 oraz dostępne są wywołania podsystemu BIOS (*Basic Input/Output System*) na płycie głównej komputera [4].

System dysponuje mechanizmami ochrony oddzielające kluczowe elementy, takie jak obsługa sprzętu czy zarządzanie pamięcią, od programów uruchamianych przez użytkownika. Oznacza to, że błędnie działający program nie powinien spowodować awarii całego systemu. MicrOS udostępnia przestrzeń użytkownika, czyli specjalny obszar pamięci operacyjnej przeznaczony dla uruchamianych programów. Programy w tej przestrzeni nie mają pełnego (bezpośredniego) dostępu do sprzętu. Aby skorzystać z urządzeń oraz z funkcji BIOS (dostępnych jedynie w trybie rzeczywistym) z poziomu trybu chronionego, konieczne jest użycie funkcji udostępnianych przez jądro systemu. W przypadku systemu MicrOS wywołania funkcji jądra możliwe są dzięki zastosowaniu mechanizmu przerwań programowych. Jądro systemu odpowiada również za przydzielanie zasobów programom uruchomionym w przestrzeni użytkownika.

Do dyspozycji użytkowników systemu utworzono tekstową powłokę (*shell*) umożliwiającą podstawową interakcję z systemem, w tym uruchamianie programów zapisanych formacie ELF (*Executable and Linkable Format*). Działa ona w przestrzeni użytkownika, a jej wygląd zaprezentowano na rysunku 1.

Z poziomu powłoki dostępnych jest kilkanaście poleceń, w tym:

- *cat*, program wypisujący zawartość pliku w postaci tekstowej,
- *touch*, tworzy nowy pusty plik,
- *rename*, zmiana nazwy pliku,
- *mkdir*, tworzy nowy katalog,
- *ls*, wyświetla zawartość katalogu,
- *tasks*, wyświetla informacje na temat uruchomionych procesów i użycia zasobów,
- *snake*, interaktywna gra korzystająca z trybu tekstowego.

¹ VESA — konsorcjum odpowiedzialne za standaryzację grafiki komputerowej
www.viacarpatia.pro

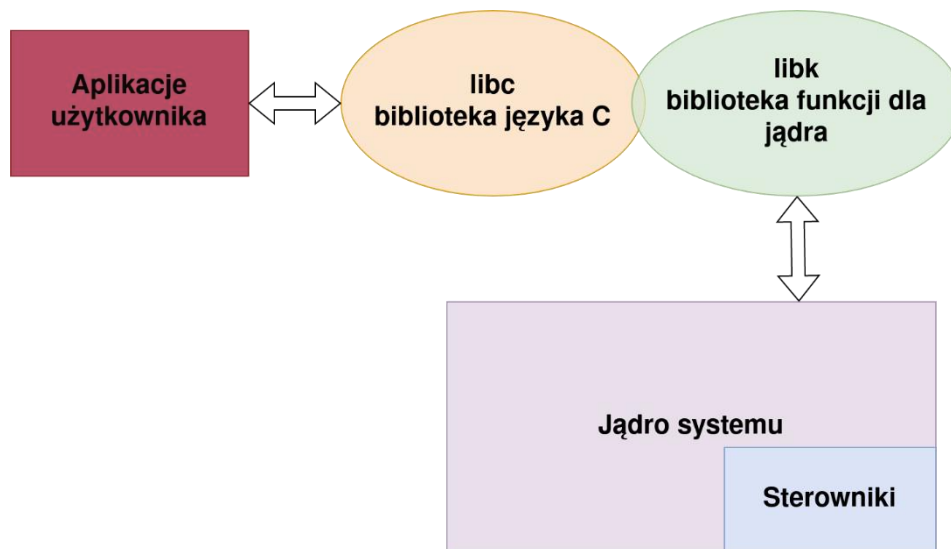

```

/ KERNEL.BIN
/ TC.COM
/ DATA/
A: /> cd DATA
A: /DATA> ls
/ DATA/HELP.TXT
A: /DATA> cat HELP
Invalid path
A: /DATA> cat A: /DATA/HELP.TXT
MicrOS HELP
cat [filename] - display file content
help - display help text
ls [path] - display list of files
mkdir [dirname] - create new directory
reboot - reboot emulator
rename [path] [newname] - rename file or the directory
rm [path] - delete file or the directory
shutdown - power off emulator
snake - run Snake game
space - display space stats
tasks - display running tasks
time - display current time
touch [filename] - create new file A: /DATA>
File not found
A: /DATA>

```

Rys. 1. Powłoka systemu MicrOS z przykładową sesją użytkownika
Źródło: Opracowanie własne.

Jak pokazano na rysunku 2, system MicrOS zaprojektowano w formie powiązanych modułów. Głównym zadaniem podczas rozwijania systemu była przede wszystkim praca nad głównym modułem, czyli jądrem (*kernel*). Monolityczne jądro opracowano z założeniem jego dalszego rozwoju dzięki zastosowaniu odpowiednich interfejsów programistycznych. Możliwa jest rozbudowa jądra o nowe elementy, na przykład wsparcie dla nowego typu dysków twardej lub dodatkowe formaty przechowywania plików. Rozbudowa nie wpływa na zachowanie pozostałych elementów systemu, w szczególności na aplikacje użytkownika, wobec czego rozwój systemu może przebiegać wielotorowo.



Rys. 2. Struktura systemu MicrOS
Źródło: Opracowanie własne.

W ramach prac nad systemem operacyjnym MicrOS opracowano również własną implementację biblioteki standardowej języka C (*libc*). Pozwala to uruchomić w systemie wiele programów napisanych w tym języku dla innych platform. Dostępne są m.in. funkcje zadeklarowane w elementach standardu takich jak:

- *stdio.h* – obsługa strumieniowego wejścia/wyjścia,
- *ctype.h* – klasyfikacja znaków,
- *string.h* – obsługa łańcuchów znakowych,
- *stdlib.h* – różne funkcje, w tym alokacja pamięci, konwersje typów, liczby pseudolosowe i in.
- *math.h* – funkcje arytmetyczne.

Niektóre z elementów standardowej biblioteki języka C zostały zaadaptowane w specjalnej bibliotece *libk* w celu współdzielenia ich z jądrem systemu (rys. 2).

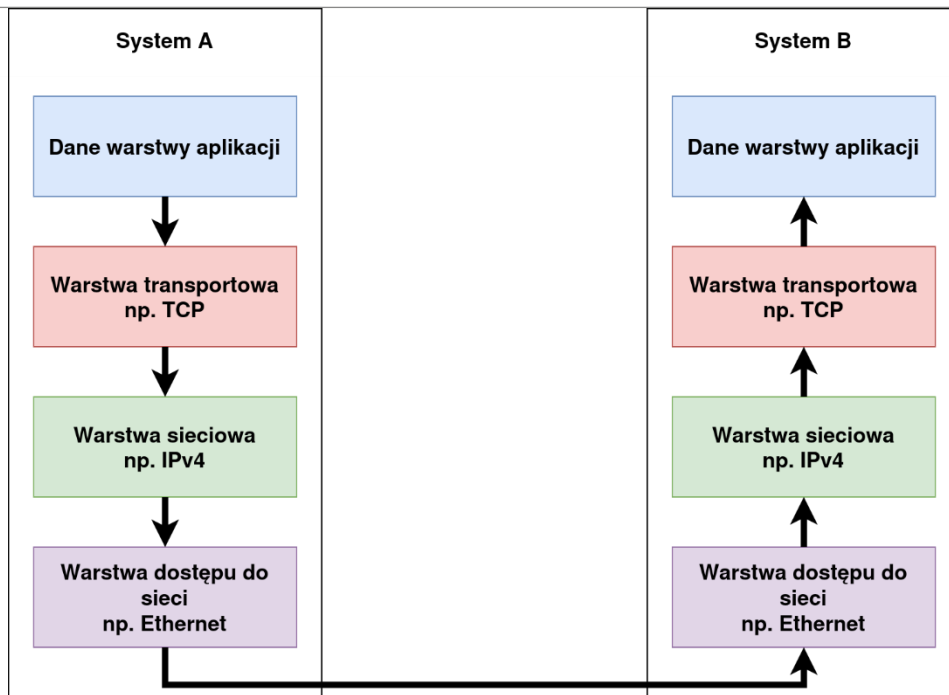
Obsługa kart i trybów graficznych spowodowała, że zaimplementowano w MicrOS programowy silnik renderujący dla grafiki 3D [5]. W celu uzyskania dodatkowej kompatybilności udostępniono także funkcje opisane w standardzie programistycznym POSIX [6]. POSIX to zbiór standardów definiujących interfejsy dla twórców oprogramowania oraz użytkowników systemu operacyjnego. Standard POSIX zapewnia przenośność oprogramowania między systemami na poziomie kodu źródłowego, ale nie na poziomie binarnym (konieczne jest skompilowanie programu). Interfejs POSIX w systemie MicrOS wykorzystywany jest głównie do tworzenia aplikacji sieciowych.

ARCHITEKTURA KOMUNIKACJI SIECIOWEJ W MICROS

Komunikacja sieciowa jest istotnym elementem systemu operacyjnego, ponieważ umożliwia wymianę danych między komputerami, urządzeniami sieciowymi (np. drukarki, skanery), serwerami. Dzięki komunikacji za pośrednictwem sieci użytkownicy mogą udostępniać pliki, korzystać ze współdzielonych zasobów oraz uzyskiwać dostęp do zasobów sieciowych, takich jak serwery plików, bazy danych itp. Komunikacja sieciowa jest również ważna dla działania systemu operacyjnego, który może pobierać aktualizacje zainstalowanego oprogramowania czy automatycznie synchronizować zegar komputera dzięki internetowym serwerom czasu NTP (*Network Time Protocol*).

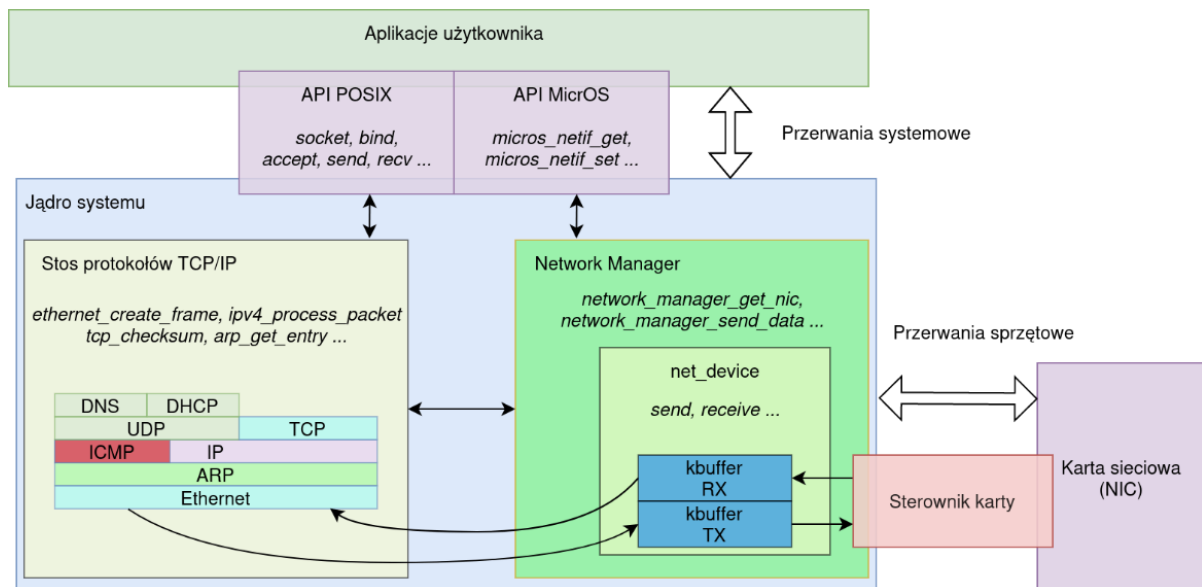
Sieci komputerowe zbudowane są z wielu różnorodnych elementów, w tym systemy operacyjne i urządzenia sieciowe. Komunikacja w środowisku heterogenicznym jest możliwa dzięki istnieniu wspólnego zestawu protokołów, pozwalających na komunikację pomiędzy komputerami lub aplikacjami systemu operacyjnego. Zestaw protokołów implementuje funkcjonalności na różnym poziomie komunikacji, od wymiany ciągu bitów za pośrednictwem medium transmisyjnego, do serwowania interaktywnej strony WWW w przeglądarce.

Możliwości, jakie daje dostęp do sieci, sprawiają, że systemy operacyjne, które nie posiadają wsparcia dla komunikacji sieciowej, stają się mało użyteczne. Komputery osobiste najczęściej wyposażone są w karty sieciowe pozwalające komunikować się w standardzie Ethernet. Z powodu ogromnej powszechności tego rozwiązania w systemie MicrOS w pierwszej kolejności zaimplementowano obsługę komunikacji w sieciach Ethernet. Oprócz obsługi sprzętu konieczne było utworzenie wewnętrznych mechanizmów pozwalających na zarządzanie oraz obsługę połączeń na poziomie logicznym. Jednym z modeli opisujących mechanizmy komunikacji komputerów jest stos sieciowy TCP/IP [7] opracowany przez DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*). Mechanizm wymiany informacji według modelu sieciowego TCP/IP zamieszczono na rysunku 3.



Rys. 3. Komunikacja w modelu TCP/IP
Źródło: Opracowanie własne.

Wewnątrz systemu operacyjnego implementacja poszczególnych warstw stosu protokołów wymaga wykonania zarówno niskopoziomowych sterowników urządzeń, jak również implementację mechanizmu gniazd komunikacyjnych w bibliotece standardowej. Rysunek 4 przedstawia architekturę stosu sieciowego TCP/IP, który został zaimplementowany w systemie MicrOS. Warstwa transportowa oraz internetowa stosu protokołów sieciowych TCP/IP są częścią modułu programowego o nazwie Network Manager. Moduł ten jest integralną częścią jądra systemu. W skład modułu wchodzi też implementacje protokołów warstwy aplikacji DHCP oraz DNS.



Rys. 4. Obsługa TCP/IP w MicrOS
Źródło: Opracowanie własne.

Warstwa dostępu do sieci realizowana jest w osobnych modułach programowych – sterownikach interfejsów sieciowych. Z racji, że każde z urządzeń sieciowych wymaga innego podejścia do implementacji warstwy dostępu do sieci, zostały one wyodrębnione jako osobne sterowniki urządzeń, które implementują wspólny interfejs programistyczny wykorzystany w Network Manager. W skład interfejsu wchodzi następujące funkcje implementowane przez sterowniki urządzeń:

- *send*, wysyłanie danych z kolejki wyjściowej TX,
- *receive*, przetwarzanie danych z kolejki wejściowej RX.

Ważną część interfejsu stanowi funkcja *get_receive_buffer* implementowana wewnątrz jądra systemu, która zwraca adres bufora kolejki wejściowej RX. Komunikacja pomiędzy kartą sieciową, a systemem operacyjnym przebiega za pośrednictwem przerwań sprzętowych obsługiwanych przez kontroler przerwań PIC [8]. W momencie nadejścia danych do karty sieciowej z medium transmisyjnego, kontroler karty wysyła przerwanie, które następnie zostaje obsłużone przez układ PIC.

Układ PIC informuje o tym fakcie procesor, który przechodzi do wykonania odpowiedniej procedury zaimplementowanej w sterowniku interfejsu sieciowego. Wymiana danych pomiędzy systemem a kartą sieciową, następuje za pośrednictwem mechanizmu DMA. Nie ma potrzeby wykorzystywania mechanizmu przerwań do odbioru każdego bajtu danych, gdyż karta sieciowa przesyła ramkę danych automatycznie do docelowego miejsca w pamięci. Wysyłanie ramek z pamięci komputera do karty sieciowej również odbywa się za pośrednictwem mechanizmu DMA. Zaletą takiego podejścia jest możliwość wykonywania innych operacji na procesorze, bez konieczności cyklicznego odpytywania karty sieciowej o nowe dane.

Po przetworzeniu ramki przez moduł Network Manager, dane protokołów warstwy aplikacji trafiają do aplikacji użytkownika za pośrednictwem interfejsu systemowego zaimplementowanego w bibliotece standardowej. Stos sieciowy w systemie operacyjnym MicrOS nie korzysta z czasochłonnych operacji kopiowania pamięci pomiędzy kolejnymi warstwami protokołów, co może mieć pozytywny wpływ na szybkość przetwarzania informacji.

WYBRANE ZAGADNIENIA IMPLEMENTACYJNE

Implementacja protokołów sieciowych została zrealizowana dla rzeczywistego sprzętu oraz maszyny wirtualnej pracującej w środowisku QEmu. W przypadku implementacji sprzętowej wykorzystana została karta sieci Ethernet Realtek RTL8139 [9]. W maszynie wirtualnej została zastosowana parawirtualizowana karta sieciowa – VirtIO-Net [10].

W porównaniu do nowoczesnych kart sieciowych RTL8139 ma ograniczone możliwości, lecz karta jest wspierana przez wiele systemów operacyjnych. Jej zaletą jest prosta budowa oraz łatwy w implementacji interfejs programistyczny. Charakteryzuje się obsługą standardów IEEE 802.3 10Base-T oraz 100Base-TX, automatyczną negocjacją szybkości połączenia, pracą w trybie half/full duplex. Układ może komunikować się z procesorem za pośrednictwem interfejsu PCI lub CardBus. Ma do 128 kB pamięci nieulotnej EEPROM, w której zapisane są dane konfiguracyjne karty, w tym adres MAC. Dane pomiędzy medium transmisyjnym a system operacyjnym wymieniane są za pośrednictwem dwóch kolejek, jednej do wysyłania danych oraz jednej do odbierania. Każda z kolejek ma rozmiar 2kB.

Listing 1 zawiera fragment kodu sterownika odpowiedzialny za uruchomienie karty oraz przywrócenie jej ustawień domyślnych. Funkcja *pci_busmaster_set* pozwala zmienić wartość bitu w rejestrze konfiguracyjnym urządzenia. Funkcja *io_out_byte* wysyła bajt danych do portu wejścia/wyjścia urządzenia [8]. W listingu 1 inicjowana jest procedura restartu programowego oraz oczekiwanie na jego zakończenie. Wprowadzenie urządzenia w tryb pracy odbywa się przez skasowanie

www.viacarpatia.pro

bitu w rejestrze *CONFIG1*. W ostatniej linii wpisanie wartości *0x0C* powoduje ustawienie rejestru poleceń *CHIPCMD* w taki stan, że karta rozpocznie odbieranie ramek.

```
pci_busmaster_set(&pci_rtl8139_device, true);

io_out_byte(rtl8139_device.io_base + CONFIG1, 0x0);

io_out_byte(rtl8139_device.io_base + CHIPCMD, 0x10);
while ((io_in_byte(rtl8139_device.io_base + CHIPCMD) & 0x10) != 0)
;

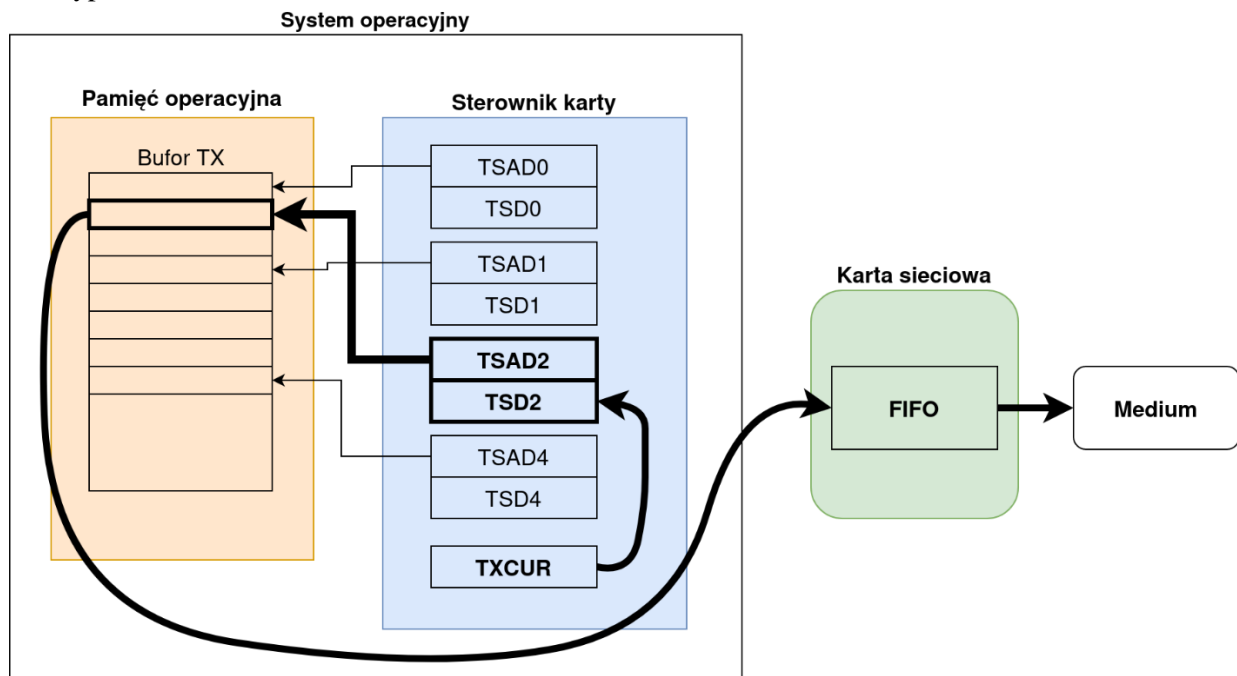
io_out_byte(rtl8139_device.io_base + CHIPCMD, 0x0C);
```

Listing 1. Fragment kodu sterownika RTL8139 odpowiedzialny za uruchomienie karty

Mechanizm komunikacji został zilustrowany na rysunku 5. Przesyłanie danych z pamięci operacyjnej komputera do kolejki wyjściowej karty sieciowej odbywa się za pośrednictwem bufora kołowego składającego się z czterech deskryptorów. Każdy z deskryptorów zawiera:

- *Start Address of Descriptor* – adres pamięci komputera, pod którym znajdują się dane do przesłania,
- *Transmit Status of Descriptor* – pole statusu, które przechowuje informacje o długości przesyłanego bufora oraz jego status.

Zastosowany model komunikacji pozwala zwiększyć szybkość transmisji informacji pomiędzy systemem operacyjnym a kartą sieciową, dzięki możliwości wykonywania wielu operacji jednocześnie. Jeżeli sterownik wskaże adres danych do przesłania, karta zacznie przysyłać dane do wewnętrznej kolejki. W tym samym czasie sterownik może przekazywać kolejny adres w następnym dostępnym deskrytorze.



Rys. 5. Model przepływu danych pomiędzy medium transmisyjnym a systemem operacyjnym
Źródło: Opracowanie własne.

Listing 2 zawiera funkcję sterownika RTL8139 służącą do wysyłania danych do karty sieciowej. Do jej realizacji wykorzystano funkcje korzystające z mechanizmu DMA:

- `io_out_long` – przesyła wartość o długości 4 bajtów pod wskazany adres przestrzeni adresowej komputera,
- `io_in_long` – odczytuje 4 bajty spod adresu przestrzeni adresowej.

Do zmiennej `phys_addr` przypisano fizyczny adres ramki danych. Za pomocą funkcji `io_out_long` do pamięci karty przesyłany jest obliczony adres ramki danych. Następnie sterownik odczytuje status deskryptora (wartość 32-bitowa), skąd można odczytywać informacje o tym, czy dane przesyłane za jego pomocą zostały już przesłane do karty. Jeżeli operacja jest zakończona, to można przesłać kolejną porcję danych. Pętla sprawdza flagę `OWN` [9]. Wartość 1 oznacza, że deskryptor może zostać użyty do przesłania danych. Kolejno wpisywany jest adres ramki oraz ustawiana jest flaga informująca kartę o tym, że dane z deskryptora należy przesłać. Ostatnia linia listingu przesuwa indeks `tx_cur` do kolejnego deskryptora.

```
uint32_t rtl8139_send(nic_data_t *data)
{
    uint32_t phys_addr = GET_PHYSICAL_ADDRESS(data->frame);
    io_out_long(rtl8139_device.io_base + TSAD[rtl8139_device.tx_cur],
phys_addr);

    while (!(io_in_long(rtl8139_device.io_base +
TSD[rtl8139_device.tx_cur]) & 1 << 13))
        ;

    uint32_t status = data->length & 0x1FFF;
    status |= 0 << 13;
    io_out_long(rtl8139_device.io_base + TSD[rtl8139_device.tx_cur],
status);

    rtl8139_device.tx_cur = (rtl8139_device.tx_cur + 1) % 4;
}
```

Listing 2. Funkcja sterownika RTL8139 do wysyłania danych do karty

Implementacja protokołu Ethernet polegała na utworzeniu funkcji interpretującej zawartość ramki i przekazanie jej do protokołu wyższej warstwy. Listing 3 zawiera definicję funkcji `ethernet_process_frame`, która implementuje dekapulację danych. Najpierw wykonywane jest rzutowanie danych na strukturę reprezentującą ramkę protokołu. Instrukcja wielokrotnego wyboru `switch` służy do przekazania ramki protokołom warstw wyższych. Sprawdzana jest tutaj wartość pola `Type` w ramce Ethernet i na jej podstawie wywoływane są funkcje obsługujące protokoły ARP (Address Resolution Protocol) [10] i IP4 (Internet Protocol v4) [11].

```
uint32_t ethernet_process_frame(nic_data_t *data)
{
    ethernet_frame_t frame = *(ethernet_frame_t *)data->frame;
```

```
switch (frame.type)
{
case htons(ARP_PROTOCOL_TYPE):
return arp_process_packet(data);
case htons(IPv4_PROTOCOL_TYPE):
return ipv4_process_packet(data);
};
}
```

Listing 3. Funkcja sterownika RTL8139 do wysyłania danych do karty

W ramach implementacji protokołu Ethernet utworzono funkcję funkcji *ethernet_create_frame* realizującą enkapsulację danych do ramki (listing 4). Alokowany jest tutaj bufor w kolejce wyjściowej urządzenia, z którego ma zostać przesłana ramka. Alokacja jest możliwa dzięki funkcji udostępnionej z modułu *Network Manager*. Dalej następuje uzupełnienie struktury *nic_data* o długość ramki oraz wskaźnik na urządzenie. Do pola *src* zostaje wprowadzony adres źródłowy. Wartością zwracaną jest wskaźnik na bufor w kolejce wyjściowej karty sieciowej. W buforze znajduje się struktura *nic_data* wraz z ramką. Warto zaznaczyć, że fizyczny adres urządzenia docelowego zostanie uzupełniony dopiero, gdy w ramce znajdą się nagłówki protokołów wyższych warstw, co powoli na określenie adresata.

```
nic_data_t *ethernet_create_frame(net_device_t *device, uint16_t type,
uint32_t data_size)
{
nic_data_t *data = network_manager_get_transmitt_buffer(device);
data->length = data_size + sizeof(ethernet_frame_t);
data->device = device;
memcpy(&((ethernet_frame_t *) (data->frame))->src, &device->interface->mac,
sizeof(mac_addr_t));
((ethernet_frame_t *) (data->frame))->type = htons(type);
return data;
}
```

Listing 4. Funkcja sterownika RTL8139 do wysyłania danych do karty

W ramach implementacji protokołów sieciowych w systemie MicrOS zaimplementowano łącznie protokoły Ethernet, ARP, ICMP¹ [12], UDP² [13]. Szczegóły implementacji można poznać w [14].

TESTY

W ramach testów opracowanego rozwiązania sprawdzono poprawność obsługi poszczególnych protokołów sieciowych. W przypadku ARP badano zostanie zachowanie się systemu operacyjnego MicrOS w odpowiedzi na żądania otrzymane od pozostałych hostów w sieci lokalnej. Wykonano również test sprawdzający, czy możliwe jest uzyskanie adresu fizycznego wybranego hosta z poziomu systemu MicrOS. Do wykonania testu wykorzystane zostało narzędzie *arping*, które wysyła żądania

¹ Internet Control Message Protocol – protokół do diagnostyki i monitorowania sieci opartych o IP

² User Datagram Protocol – protokół transportowy bez składania pakietów, inaczej niż w TCP

protokołu ARP na zdany adres logiczny, a po uzyskaniu odpowiedzi wypisuje na ekran różnicę czasu pomiędzy nadaniem żądania a uzyskaniem odpowiedzi. Dzięki temu możliwe było sprawdzenie, czy system MicrOS poprawnie udziela odpowiedzi na żądania adresu. Rysunek 6 przedstawia wynik działania programu *arping*. Jak pokazano, program otrzymał poprawne odpowiedzi z systemu MicrOS.

```
> arping -I tap0 192.168.10.199 -S 192.168.10.2
ARPING 192.168.10.199
43 bytes from 00:11:22:33:44:55 (192.168.10.199): index=0 time=136.211 usec
43 bytes from 00:11:22:33:44:55 (192.168.10.199): index=1 time=184.984 usec
43 bytes from 00:11:22:33:44:55 (192.168.10.199): index=2 time=133.172 usec
43 bytes from 00:11:22:33:44:55 (192.168.10.199): index=3 time=271.648 usec
43 bytes from 00:11:22:33:44:55 (192.168.10.199): index=4 time=279.566 usec
43 bytes from 00:11:22:33:44:55 (192.168.10.199): index=5 time=107.576 usec
^C
--- 192.168.10.199 statistics ---
6 packets transmitted, 6 packets received, 0% unanswered (0 extra)
rtt min/avg/max/std-dev = 0.108/0.186/0.280/0.068 ms
```

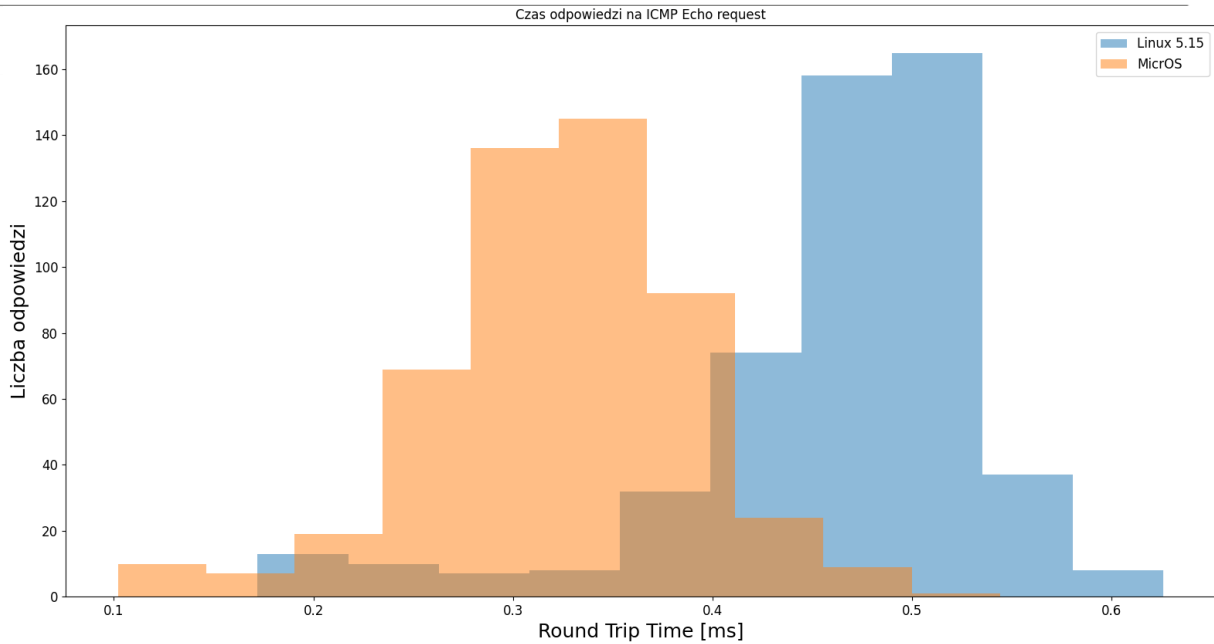
Rys. 6. Wyniki testów z programu *arping*
Źródło: Opracowanie własne.

Program Wireshark umożliwił analizę ruchu sieciowego na wirtualnym interfejsie sieciowym, podłączonym do maszyny wirtualnej z systemem MicrOS. Na rysunku 7 umieszczono wynik takiej analizy. Odpowiedź została poprawnie przesłana, a zawartość poszczególnych pól jest prawidłowa. Jeżeli zawartość pola w nagłówku jest niepoprawna, Wireshark podświetla błędnie uzupełnione pole kolorem czerwonym. Wykonano także próbę uzyskania przez system MicrOS adresu MAC przez wysłanie żądania. Test przeprowadzono z użyciem aplikacji, w której dokonano próby połączenia z hostem w sieci lokalnej, z którym nie wykonano dotychczas połączenia.

```
▶ Frame 24: 43 bytes on wire (344 bits), 43 bytes captured (344 bits)
▶ Ethernet II, Src: CIMSYS_33:44:55 (00:11:22:33:44:55), Dst: 42:4d:d6:1d:34:a4 (42:4d:d6:1d:34:a4)
▼ Address Resolution Protocol (reply)
  Hardware type: Ethernet (1)
  Protocol type: IPv4 (0x0800)
  Hardware size: 6
  Protocol size: 4
  Opcode: reply (2)
  Sender MAC address: CIMSYS_33:44:55 (00:11:22:33:44:55)
  Sender IP address: 192.168.10.199
  Target MAC address: 42:4d:d6:1d:34:a4 (42:4d:d6:1d:34:a4)
  Target IP address: 192.168.10.2
```

Rys. 7. Odpowiedź na żądanie ARP w Wireshark
Opracowanie własne.

Test implementacji protokołu ICMP polegał na wysłaniu do maszyny wirtualnej, w której pracował system operacyjny MicrOS zapytań ICMP *Echo request*. Najprostszym sposobem na wysłanie takich żądań jest wykorzystanie polecenia *ping*. Dodatkowo wykonano próbę porównującą szybkość odpowiedzi na żądania RTT (*Round Trip Time*). Test polegał na wysłaniu 512 żądań ICMP *Echo request* z systemu gospodarza na adres komputera pracującego w maszynie wirtualnej. W pierwszej kolejności na maszynie wirtualnej pracował system operacyjny Debian, następnie był to system MicrOS. Oba emulowane systemy wykorzystywały parawirtualizowaną kartę sieciową VirtIO-Net. Wyniki wskazały, że system operacyjny MicrOS odpowiadał średnio o 0,137 milisekundy szybciej niż system operacyjny Debian. Poszczególne wartości RTT zostały zaprezentowane w formie histogramu na rysunku 8.



Rys. 8. Czas odpowiedzi na żądanie ICMP Echo request
Źródło: Opracowanie własne.

W celu sprawdzenia komunikacji TCP utworzono aplikację powłoki użytkownika, w której możliwe jest nawiązanie połączenia z aplikacją pracującą na innym komputerze. Opracowana aplikacja pozwala przesłać do drugiego komputera tekst wprowadzony przez użytkownika przez standardowe wejście oraz wyprowadzić na standardowe wyjście tekst odebrany od aplikacji z innego komputera. Założeniem testu jest sprawdzenie, czy system MicrOS potrafi poprawnie wysłać i odebrać dane przesłane za pośrednictwem protokołu TCP. W ramach testu uruchomiono w systemie Debian program *netcat* w trybie nasłuchiwania. Komunikacja polegała na przesłaniu komunikatów w następującej sekwencji:

- 1) MicrOS → netcat: Hello from MicrOS!,
- 2) netcat → MicrOS: HelloWorld!,
- 3) netcat → MicrOS: HelloWorld 2!.

Na rysunku 9 po lewej stronie umieszczono okno programu *netcat*, po prawej okno maszyny wirtualnej z systemem MicrOS. Komunikaty zostały odebrane w tej samej kolejności, w jakiej zostały wysłane.

Testy obejmowały także protokół UDP z wykorzystaniem aplikacji powłoki użytkownika, która umożliwia pobranie konfiguracji interfejsu sieciowego z serwera za pośrednictwem protokołu DHCP. Po uruchomieniu aplikacja poprawnie pobrała konfigurację DHCP dla interfejsu sieciowego.

```

root@jp:~# nc -l -p 12345
Hello from MicrOS!HelloWorld!
HelloWorld 2!
^C
root@jp:~#

QEMU
Machine View
MicrOS Shell v1.1 (terminal 0)
Type "help" to list all available applications
Click Ctrl+F1/F2/F3/F4 to switch terminal

A:~/> ping -client 10.0.0.177 12345
Connected to: 10.0.0.177:12345
Hello from MicrOS!12:36:16 [127.0.0.1]> Hello from MicrOS!12:36:21 [10.00.00.177]

J> HelloWorld!
12:36:27 [10.00.00.177]> HelloWorld 2!
    
```

Rys. 9. Komunikacja pomiędzy aplikacją netcat a aplikacją w systemie MicrOS
Źródło: Opracowanie własne.

PODSUMOWANIE

W ramach prowadzonych prac zaimplementowano mechanizmy wybranych protokołów sieciowych w autorskim systemie operacyjnym MicrOS. Wykonano także aplikacje użytkownika korzystające z tych protokołów i interfejsów. Wśród kluczowych osiągnięć można wymienić:

- implementację sterowników kart sieciowych Realtek RTL8139 oraz VirtIO-Net,
- zaprojektowanie i realizację modułu zarządzającego interfejsami sieciowymi, który umożliwia wymianę danych między warstwami systemu,
- implementację funkcji wybranych protokołów IP, ICMP, UDP oraz TCP,
- utworzenie aplikacji wykorzystujących zaprojektowane protokoły i interfejsy,

Przeprowadzone testy dały zadowalające rezultaty. Wprowadzone usprawnienia zwiększają możliwości rozwoju systemu operacyjnego MicrOS. Zastosowanie interfejsu POSIX umożliwia badanie wydajności stosu protokołów w MicrOS oraz porównywanie wyników z innymi systemami operacyjnymi. Praca stanowi punkt wyjścia do dalszej rozbudowy stosu protokołów, np. przez dodanie wsparcia dla fragmentacji pakietów IP.

PODZIĘKOWANIE

Autorzy składają wyrazy uznania i podziękowanie wszystkim obecnym i byłym członkom Studenckiego Koła Naukowego Informatyków „Kod” zaangażowanych w rozwój systemu MicrOS.

LITERATURA

- [1] Intel® 64 and IA-32 Architectures Software Developer Manuals, <https://www.intel.com/content/www/us/en/developer/articles/technical/intel-sdm.html>, dostęp: 31.06.2024.
- [2] Stallings W., *Systemy operacyjne architektura, funkcjonowanie i projektowanie*, Helion, Gliwice 2018.
- [3] Silberschatz A., Gagne G., Galvin P. B., *Operating System Concepts*, Wiley 2002.
- [4] Szatkowski J., Opracowanie wirtualnej maszyny procesora 8086 dla systemu operacyjnego MicrOS. Praca magisterska, Politechnika Rzeszowska, 2022.
- [5] Wojtoń M., Implementacja programowego silnika renderującego 3D w systemie operacyjnym MicrOS, Praca inżynierska, Politechnika Rzeszowska, 2022.
- [6] IEEE Computer Society. *IEEE Standard for Information Technology — Portable Operating System Interface (POSIX) Base Specifications*, Issue 7. Technical report, 2018.
- [7] Postel J., *Transmission Control Protocol. STD 7*, RFC Editor, 1981. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc793.txt>.
- [8] Dandamudi S.P., *Fundamentals of Computer Organization and Design*. Texts in Computer Science. Springer New York, 2003.
- [9] Realtek RTL8139C(L)+ 3.3V *Single-chip Fast Ethernet Controller with Power Management Datasheet*. <http://realtek.info/pdf/rtl8139cp.pdf>, 2004, dostęp: 30.06.2024.
- [9] Przystasz J., Sterowniki parawirtualizowane w systemie MicrOS. Prace kół naukowych Politechniki Rzeszowskiej w roku akademickim 2021/2022. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2022.

-
- [10] Plummer D.C., *Ethernet Address Resolution Protocol: Or converting network protocol addresses to 48.bit Ethernet address for transmission on Ethernet hardware*. STD 37, RFC Editor, 1982. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc826.txt>.
- [11] Postel J., *Internet Protocol. STD 5*, RFC Editor, 1981. <https://www.rfc-editor.org/info/rfc791>.
- [12] Postel J., *Internet Control Message Protocol. STD 5*, RFC Editor, 1981. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc792.txt>.
- [13] Postel J., *User Datagram Protocol. STD 6*, RFC Editor, Sierpień 1980. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc768.txt>.
- [14] MicrOS – Repozytorium GitHub. <https://github.com/skni-kod/MicrOS>, dostęp: 31.06.2024.