

Politechnika Śląska
Wydział Mechaniczny Technologiczny
Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn

Redakcja pracy zbiorowej
Marek Wyleźoń

**PRZEGLĄD
OSIĄGNIĘĆ
STUDENCKICH
KÓŁ NAUKOWYCH
DZIAŁAJĄCYCH
PRZY KPKM**

Tom 1

Gliwice 2023

Recenzenci

Dr hab. inż. Andrzej Katunin, prof. PŚ - Politechnika Śląska

Dr hab. inż. Piotr Przystałka, prof. PŚ - Politechnika Śląska

Dr hab. inż. Marek Wyleżoł, prof. PŚ - Politechnika Śląska

Redaktor zeszytów

Marek Wyleżoł

Redaktor techniczny

Marek Wyleżoł

Projekt okładki

Wojciech Cholewa, Marek Wyleżoł

Zeszyt Naukowy Katedry Podstaw Konstrukcji Maszyn

BibTeX

```
@BOOK{, title = {Przegląd osiągnięć studenckich kół naukowych  
działających przy KPKM, Tom I}, publisher = {Politechnika  
Śląska, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn}, year = {2023,  
author = {Wyleżoł, M. (red.)}, volume = {156}, series =  
{Zeszyty Naukowe}, address = {Gliwice}}
```

ISBN 978-83-60759-31-8

Wydawca

Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn

Wydział Mechaniczny Technologiczny

Politechnika Śląska

ul. Konarskiego 18a

44-100 Gliwice

Tel. (32) 237-14-67

<https://kpkm.polsl.pl>

Spis treści

Wyleżoł M.: Wprowadzenie.....	5
Kępa R., Grabowski J.: LEGO Mindstorms jako wprowadzenie do robotyki mobilnej.....	7
Zientek R., Bogacki Sz., Jałowiecki A.: Projekt i konstrukcja układu skręcania do zastosowania w łożyku planetarnym Phoenix III	17
Stawczyk P., Bręczewski J., Domagała D., Jałowiecki A.: Projekt i konstrukcja bezpowietrznych kół do zastosowania w łożyku planetarnym Phoenix III	29
Gurgul J., Krafczyk W., Bdzionek B.: Koncepcja systemu wizyjnego do zastosowania w mobilnej platformie eksploracyjnej.....	41
Gurgul J., Krafczyk W., Jałowiecki A.: Koncepcja systemu nawigowania platformą mobilną z wykorzystaniem czujników.....	51
Mertin K., Jałowiecki A.: Przegląd możliwości zastosowania materiałów polimerowych jako elementów wibroizolujących.....	63
Wilk K., Gałęczka Ł., Markusik D., Muzalewska M.: Tablica interaktywna „Rzep-CHECK” do wspomaganie edukacji wczesnoszkolnej oraz terapii logopedycznej.....	73
Nowak J., Kramarz M., Muzalewska M.: Modułowe urządzenie terapeutyczne z funkcją gratyfikacji sygnałem dźwiękowym - DiscoBulbulator.....	87
Hudziak Sz., Jurasz K., Sroczyński Z., Muzalewska M.: Urządzenia wspomagające naukę alfabetu Braille’a.....	99
Kozyra Sz., Machula R., Czempas D., Konieczko K., Patyński P., Andrysiak F., W. Skarka: Gondola pomiarowa do bezzałogowych statków powietrznych.....	113
Sujkowski M., Macha M., Sikorski M., Skarka W., P. Zenowicz, K. Zenowicz: Stanowisko badawcze symulatora lotniczego.....	121

Wprowadzenie

Jednym z zadań realizowanych przez nauczycieli akademickich w ramach ponadprogramowego kształcenia studentów jest sprawowanie opieki nad Studenckimi Kołami Naukowymi (SKN).

Studenckie Koła Naukowe stanowią więc dodatkową inicjatywę skierowaną do aktywnych i ambitnych studentów. Celem działania SKN jest rozwijanie zainteresowań, pogłębianie wiedzy, a także działalność na wielu płaszczyznach związanych z daną dziedziną nauki. Zapisując się do wybranego koła naukowego Student może więcej czasu poświęcić temu, co jest dla niego szczególnie interesujące i pasjonujące.

Koła naukowe to nie tylko Studenci, ale również Opiekunowie. Są nimi ludzie, którzy posiadają własne pasje naukowe a dodatkowo chcą i potrafią się nimi dzielić ze Studentami.

Aktualnie przy Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn działają następujące naukowe koła studenckie:

- SKN „Modelowania Konstrukcji Maszyn”,
- SKN „Zastosowań Metod Sztucznej Inteligencji AI-METH”,
- SKN „Projektowania i konstruowania innowacyjnych obiektów technicznych”,
- SKN Politechniki Śląskiej „Aerospace Engineering”.

Efekty działalności członków SKN często doprowadzają m.in. do powstania prac o wyjątkowych wartościach użytkowych lub nawet naukowych. Prace takie często są podstawą do publikowania w punktowanych czasopismach, do wygłaszania prezentacji w ramach konferencji naukowych lub też są zgłaszane do tematycznych konkursów.

Tak więc, wychodząc naprzeciw możliwości jak najlepszego wykorzystania osiągnięć studentów-członków SKN oraz ich opiekunów - rozpoczynamy serię Zeszytów Naukowych poświęconych wybitnym osiągnięciom, które powstały w ramach działalności poszczególnych SKN.

Niniejszy Zeszyt Naukowy jest pierwszym tomem z tej serii.

Marek Wyleżoł

Rozdział 1

LEGO® MINDSTORMS® JAKO WPROWADZENIE DO ROBOTYKI MOBILNEJ

Radosław Kępa¹, Jakub Grabowski²

^{1,2} SKN Zastosowania Metod Sztucznej Inteligencji AI – METH, zespół Silesian Phoenix

1.1. Wstęp

Robotyka mobilna to jeden z najszybciej rozwijających się obszarów z zakresu robotyzacji. Mobilne i często autonomiczne roboty zaczynają otaczać nas nie tylko na halach produkcyjnych, ale także w domach i innych miejscach życia codziennego. Bardzo podobna sytuacja miała miejsce, kiedy komputery wchodziły do powszechnego użytku. Wymusiło to na społeczeństwie dostosowanie się do nowej technologii oraz poskutkowało to powstaniem nowej gałęzi nauki – informatyki.

Porównując te sytuacje, również w przypadku robotyki mobilnej potrzebne jest przeszkolenie społeczeństwa - przynajmniej tego młodego - z zakresu działania robotów mobilnych. Dzięki zrozumieniu sposobu działania robotów mobilnych, jako społeczeństwo, będziemy w stanie świadomie korzystać z osiągnięć robotyki mobilnej, przez co stanie się ona bardziej użyteczna.

Sama robotyka mobilna jest zaawansowaną dziedziną nauki, zawierającą w sobie wiedzę z zakresu działania napędów, czujników, mikrokontrolerów, programowania oraz algorytmiki. Do tych zagadnień należy dodać również automatyzację, sztuczną inteligencję, materiałoznawstwo oraz komunikację bezprzewodową. Skupienie takiej ilości wiedzy w formie przedmiotu przekazującego podstawy wiedzy na temat robotyki mobilnej jest sporym wyzwaniem. Lecz tutaj z pomocą może przyjść rozwiązanie z pozoru nieoczywiste jakim są zestawy LEGO® MINDSTORMS®.

1.2. LEGO® MINDSTORM®

LEGO® MINDSTORMS® to seria zestawów wykonana w celach edukacyjnych, pozwalająca na tworzenie zarówno prostych jak i zaawansowanych robotów. Zestawy te spełniają wszystkie podstawowe założenia robotyki mobilnej, przez co idealnie nadają się do przekazania podstawowej wiedzy z zakresu tej dziedziny.

Typowy zestaw LEGO® MINDSTORMS® zawiera:

Klocki LEGO TECHNIC

Działają one jako elementy konstrukcyjne. Różnorodność tych części pozwala na utworzenie dowolnego układu. Stanowią szkielet oraz poszycie robota, służą jako osie, przekładnie, mechanizmy oraz wiele innych elementów. Są podstawą każdego projektu, dodatkowo są kompatybilne z innymi klockami LEGO®. Wykonane są w wysokiej klasy tworzywa ABS, co zapewnia dużą wytrzymałość mechaniczną oraz odporność na ścieranie. Klocki są również wielorazowe, co pozwala na zbudowanie wielu robotów za pomocą jednego zestawu oraz poprawę błędów konstrukcyjnych. Sam proces budowy jest intuicyjny i nie wymaga żadnych dodatkowych narzędzi. Dostępne są również liczne instrukcje budowy.

Kostka LEGO MINDSTORMS

„Mózg” całego zestawu. Kostka to minikomputer zasilany bateriami bądź za pomocą akumulatora (Rys. 1.1 a). Posiada wyjścia typu RJ-12, za pomocą których łączy się z silnikami lub/i sensorami, wyświetlacz oraz przyciski służące do bezpośredniej komunikacji. Nowsze kostki obsługują również komunikację bezprzewodową w standardzie Bluetooth i WiFi. Kostka ma własny system operacyjny, przez co można ją programować bez używania komputera. Z poziomu komputera natomiast można ją programować blokowo w dedykowanym oprogramowaniu lub wykorzystaniem języka programowania Python (tylko dla modelu EV3). Kostka sprawia, że roboty zbudowane z zestawu LEGO® MINDSTORMS® mogą rzeczywiście być mobilne. W swojej pamięci może posiadać kilka programów, które można uruchamiać zdalnie lub w interfejsie

kostki. Istnieje również możliwość wykonania zdalnego sterowania. Kostki mogą również się ze sobą komunikować, co pozwala na tworzenie bardziej zaawansowanych układów oraz synchronizowania robotów w jeden duży system.

Serwonapędy

Jedyny element napędowy całego zestawu (Rys. 1.1 b). Serwonapędy w zestawie LEGO® MINDSTORMS® są niezbędnym podzespołem każdego robota mobilnego. Oprócz standardowego trybu włącz/wyłącz mają możliwość wykonywania konkretnej liczby obrotów, obrotu o zadaną wartość kątową oraz kontroli z jakim momentem obrotowym mają się obracać. Serwomotory mogą działać również w trybie enkodera, pozwalając na odczytywanie wartości przemieszczenia kąтового.

Czujniki dotyku

Podstawowa forma kontaktu robota ze światem (Rys. 1.1 c). Może działać jako czujnik krańcowy, zderzak interaktywny oraz wiele innych. Ma tylko dwa stany: wciśnięty albo wyciśnięty (reprezentowane jako logiczne 1 i 0).

Czujnik koloru

Podstawowy czujnik odbicia światła (Rys. 1.1 d). Posiada krótki zasięg działania, można zastosować go w robotach typu linefollower. Dodatkowo, może działać jako doświetlacz.

Czujnik ultradźwiękowy

Podstawowy czujnik odległości (Rys. 1.1 e). Pozwala na określenie odległości od obiektu. Zasięg działania wynosi od 10 cm do 2 m. Dzięki wykorzystaniu technologii ultradźwiękowej, sensor nie potrzebuje światła widzialnego do prawidłowego działania. Należy jednak pamiętać o wielkości wykrywanego obiektu, fala dźwiękowa generowana przez sensor musi odbić się od powierzchni. Wykrywanie powierzchni o nieregularnym kształcie lub małym rozmiarze może dawać błędne odczyty.

Standardowy zestaw LEGO® MINDSTORMS® może być powiększony o dodatkowe klocki oraz sensory. Są również firmy tworzące nieoryginalne części

zastępcze, współpracujące z zestawami LEGO® MINDSTORMS®. To pozwala na tworzenie bardziej wyspecjalizowanych konstrukcji.



a) Kostka LEGO MINDSTORMS



b) Serwonapęd



c) Czujnik dotyku



d) Czujnik kolorów



e) Ultradźwiękowy czujnik odległości

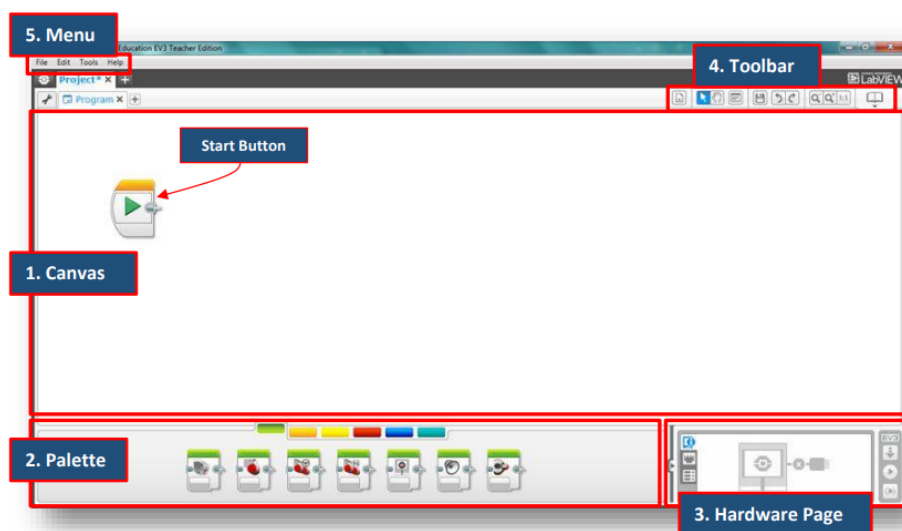
Rys 1.1 Podstawowe elementy zestawu LEGO® MINDSTORMS®

1.3. Programowanie blokowe

Poza umiejętnościami mechanicznymi i elektronicznymi związanymi z zaprojektowaniem i złożeniem robota mobilnego, istotnym aspektem jest jego zaprogramowanie. W przypadku zestawów LEGO® MINDSTORMS® można je programować w prosty sposób bezpośrednio wykorzystując kostkę lub wgrać opracowany na komputerze bądź tablecie program [1, 2, 3, 4].

W celu ułatwienia rozpoczęcia przygody z programowaniem robotów mobilnych, w ręce użytkowników oddane zostało intuicyjne środowisko programowania LEGO® MINDSTORMS® EV3, które umożliwia zarówno programowanie blokowe jak i klasyczne programowanie poprzez dedykowane IDE (ang. Integrated development environment) [1].

W przypadku osób, które zaczynają programowanie zaleca się wykorzystanie programowania blokowego, które sprowadza się do ustalenia sekwencji wykonawczych bloków programowanych. Pozwala się to skupić użytkownikowi na tym co chce osiągnąć, bez konieczności skupiania się na składni języka programowania i metodach koniecznych do realizacji danego działania. Ekran środowiska programowania blokowego LEGO® MINDSTORMS® EV3 przedstawiono na Rys. 1.2.

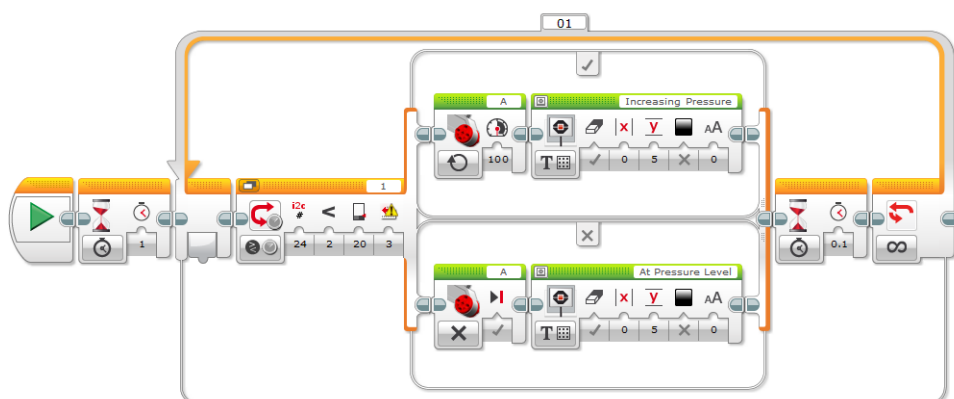


Rys. 1.2 Środowisko programowania LEGO® MINDSTORMS® EV3[1]

Dedykowane środowisko programowania umożliwia wykorzystanie wszystkich podstawowych narzędzi programistycznych takich jak: wprowadzanie

wartości stałych oraz zmiennych, stosowanie pętli warunkowych, odczyt danych z czujników, sterowanie aktuatorami i wiele innych.

Dzięki zastosowaniu takiego podejścia nawet osoby, które wcześniej nie miały styczności z programowaniem, są w stanie w krótkim czasie tworzyć proste programy do sterowania robotem, jednocześnie rozwijając umiejętności związane z logicznym i algorytmicznym podejściem do realizacji określonych zadań. Przykładowy program opracowany w środowisku blokowym zaprezentowano na Rys. 1.3.



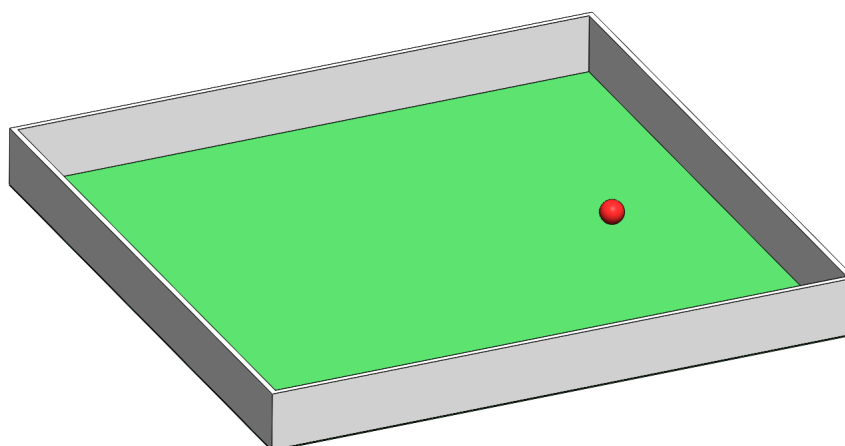
Rys. 1.3 Przykładowy program zapisany jako program blokowy [1]

1.4. Projekt LET's GO

Celem projektu LET's GO jest popularyzacja robotyki mobilnej wśród młodzieży licealnej za pomocą zestawów LEGO® MINDSTORMS®. Zagadnienia te realizowane są z użyciem podejścia PBL (ang. Project Base Learning). Podejście to ma na celu rozbudzenie wśród licealistów kreatywności i uświadomienie im jak bardzo w pracy nad problemem ważne są kompetencje miękkie. Głównym powodem, dla którego warsztaty zostały zorganizowane, jest fakt, że w szkołach średnich uczniowie bardzo często zdobywają tylko wiedzę teoretyczną, której później nie umieją wykorzystać w zadaniach praktycznych. Warsztaty LET's GO umożliwiają licealistom uwolnienie drzemiącego w nich potencjału. Na atrakcyjność warsztatów wpłynęło również założenie, że wykonane roboty będą ze sobą konkurować.

Problem postawiony przed uczestnikami warsztatów

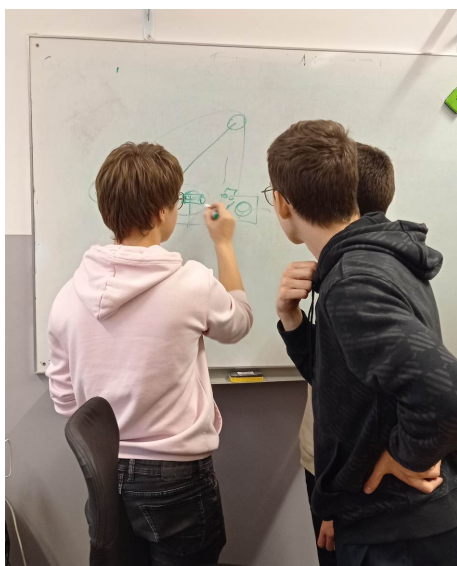
Problem stworzony na potrzeby warsztatów polegał na zaprojektowaniu robota mobilnego, zdolnego do przemieszczenia piłki za barierę. Bariera, o której mowa, ma kształt prostopadłościanu bez górnej podstawy. Podstawą prostopadłościanu jest kwadrat o długości ściany wynoszącej 1 m. Wysokość ścian bocznych to 10 cm. Wizualizację obszaru zadania przedstawiono na Rys. 1.4. Sposób w jaki robot ma wykonać zadanie jest dowolny.



Rys. 1.4 Obszar realizacji zadania

Plan warsztatów

Warsztaty zostały podzielone na trzy części. Pierwsza część zakładała zapoznanie się z grupą, przedstawienie planu zajęć, podzielenie się na grupy projektowe oraz omówienia podejścia PBL. Następna część zakładała samodzielną pracę licealistów we wcześniej wybranych grupach. W tym czasie prowadzący byli do pełnej dyspozycji uczestników, służąc radą i własną wiedzą. Na Rys. 1.5 do 1.6 przedstawiono grupy projektowe w trakcie realizacji zadania. Ostatnia część zajęć to prezentacja ukończonych projektów, wraz z prezentacją zastosowanych rozwiązań. Na Rys. 1.8 zaprezentowano jednego z opracowanych robotów.



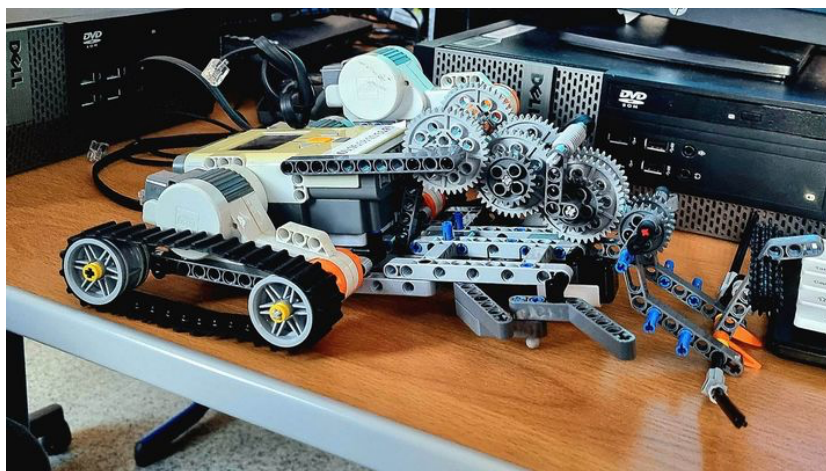
Rys. 1.5 Grupa licealistów w trakcie tworzenia koncepcji robota mobilnego



Rys. 1.6 Grupa zapoznająca się z podstawowymi elementami zestawu LEGO® MINDSTORM®



Rys. 1.7 Grupa podczas budowy prototypu robota mobilnego



Rys. 1.8 Robot mobilny opracowany przez grupę licealistów

1.4. Podsumowanie

Robotyka mobilna jest niezwykle rozbudowaną dziedziną techniki, która wymaga szerokiej wiedzy teoretycznej jak również umiejętności praktycznych związanych z pracami warsztatowymi. Możliwość obcowania z robotami już na wczesnych etapach nauczania, umożliwi uczniom na lepsze poznanie techniki, która nas otacza i świadome jej wykorzystywanie.

Zestawy LEGO® MINDSTORMS® stanowią idealny wstęp do nauki robotyki, głównie dlatego, że większość z nas na jakimś etapie dzieciństwa zetknęła się z klockami LEGO® i wie, w jaki sposób tworzyć z nich przeróżne budowle. Dodając do tego elementy mechatroniczne oraz proste elementy programowania blokowego - oddajemy w ręce uczniów dodatkowe narzędzia, które poprzez zabawę pozwalają na opanowanie wielu przydatnych umiejętności zarówno tych twardych, jak i miękkich.

Spośród tych umiejętności jednymi z najcenniejszych jest myślenie algorytmiczne, pozwalające na zaplanowanie kolejnych kroków działania w taki sposób, aby zrealizować zamierzony cel. Rozwój kreatywności i subiektywnej oceny swoich pomysłów to kolejne z umiejętności miękkie niezwykle ceniowane na rynku pracy.

Jak wynika z opinii uczestników projektu LEt's GO, wskazują oni na zainteresowanie dalszymi tego typu warsztatami. Szczególnie wysoko zostało ocenione podejście PBL oraz możliwości jakie daje podstawowy zestaw LEGO® MINDSTORMS®. Najbardziej jednak uczniowie docenili możliwość pracy

z fizycznymi obiektami oraz możliwość zobaczenia, że program, który napisali daje fizyczne rezultaty, a nie tylko działa „na ekranie komputera”, do czego zwykle prowadzą się zajęcia szkolne. Po uczestnictwie w warsztatach, część uczestników podkreśla, że chciałoby rozpocząć studia związane z robotyką mobilną.

BIBLIOGRAFIA

1. LEGO® MINDSTORMS®.
<https://www.lego.com/en-pl/themes/mindstorms/about>
[Data uzyskania dostępu: 05.02.2023]
2. Afari, Ernest, and Myint Swe Khine. "Robotics as an educational tool: Impact of lego mindstorms." *International Journal of Information and Education Technology* 7, no. 6 (2017): 437-442.
3. Ferrari, Mario, and Guilio Ferrari. *Building robots with lego mindstorms*. Elsevier, 2001.
4. Parsons, Simon, and Elizabeth Sklar. "Teaching AI using LEGO mindstorms." In *AAAI Spring Symposium*. 2004.

Rozdział 2

PROJEKT I KONSTRUKCJA UKŁADU SKRĘCANIA DO ZASTOSOWANIA W ŁAZIKU PLANETARNYM PHOENIX III

Rafał Zientek¹, Patryk Stawczyk² Szymon Bogacki³, Andrzej Jałowiecki⁴

^{1,2,3} SKN Zastosowania Metod Sztucznej Inteligencji AI – METH, zespół Silesian Phoenix

⁴ Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn

2.1. Wstęp

Projektując łazik planetarny należy wziąć wiele aspektów technicznych pod uwagę. Jednym z takich aspektów jest to, w jaki sposób projektowana platforma będzie skręcała. Na pierwszy rzut oka może wydawać się to dość prostym zagadnieniem, ale są to jedynie pozory.

Ze względu na to, że jednym z podstawowych zadań realizowanych w trakcie zawodów łazików marsjańskich, jest przemieszczanie się po polu mającym imitować powierzchnię Marsa, uzyskanie odpowiednich własności jezdnych jest niezwykle istotne.

Postać pola marsjańskiego zaprezentowano na Rys. 2.1. Posiadając dobrze zaprojektowany układ skręcania możliwe jest realizowanie precyzyjnego nawigowania do kolejnych celów i utrata mniejszej ilości czasu.



Rys 2.1 Widok z góry na ple marsjańskie wykorzystywane w trakcie zawodów ERC [1]

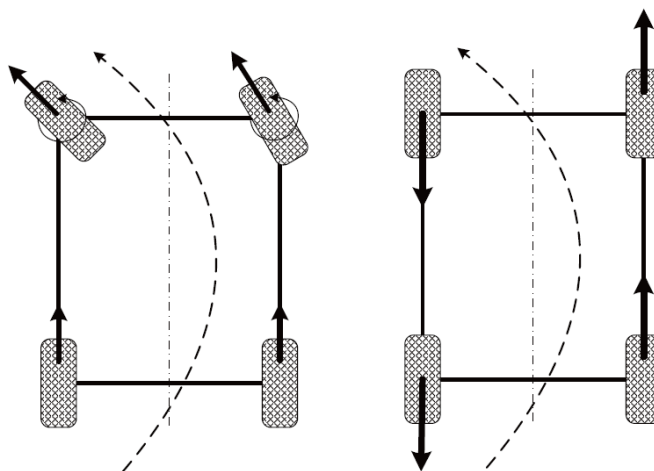
Aktualnie większość rozwijanych konstrukcji łazików planetarnych, zarówno tych komercyjnych jak i konstrukcji studenckich, bazują na skręcaniu poprzez różnicowanie prędkości i kierunku obrotu poszczególnych kół. Lecz rozwiązanie to ma szereg wad, które należy brać pod uwagę planując misję. W związku z czym w ramach projektu Silesian Phoenix postanowiono rozeźnić się w możliwych rozwiązaniach układu skręcania i wybrać optymalne rozwiązanie, które zostanie zastosowane w rozwijanej platformie Phoenix III [2].

2.2. Przegląd możliwych rozwiązań układu skręcania

Skręcanie różnicowe

Tak jak wspomniano we Wstępie, jednym z najczęściej spotykanych rozwiązań układu skręcania stosowanym w studenckich rozwiązaniach łazików planetarnych jest skręcanie z wykorzystaniem różnych kierunków obrotu. W odróżnieniu od klasycznego układu skręcania, stosowanego między innymi w samochodach, czyli układu Ackermana, skręcanie różnicowe jest znacznie trudniejsze zarówno w sterowaniu jak i symulowaniu [3, 4]. Związane jest to głównie z tym, że w przypadku układu Ackermana ruch pojazdu może być symulowany z uwzględnieniem jedynie toczenia się kół. W przypadku skręcania różnicowego koła zarówno się toczą jak i ślizgają po nawierzchni co zmienia

charakter ruchu. Ideowy schemat obu systemów skręcania przedstawiono na Rys. 2.2.



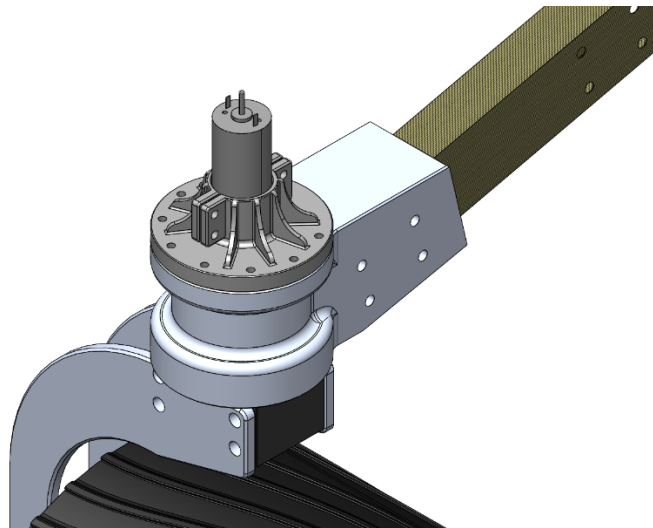
Rys. 2.2 Schematy działania układów skręcania, po lewej układ Ackermana, po prawej układ z skręcaniem różnicowym [3]

Sterowanie różnicowe jest niezwykle proste w implementacji na platformie mobilnej, ponieważ nie wymaga żadnych dodatkowych elementów mechanicznych, a cały proces skręcania jest realizowany na poziomie sterowania napędami. Ma on jedną podstawową wadę, a mianowicie jest on mało precyzyjny. Dodatkowym problemem związanym z tego typu skręcaniem jest możliwość „zakopania się” w luźniej nawierzchni; związane jest to z problemem ślizgania się kół, co powoduje odsypywanie się warstw materiału i tworzenie kolein.

Oś skrętna napędzana silnikiem DC

Kolejną możliwością realizowania skręcania w łażyku planetarnym jest zastosowanie układu wykorzystującego osie skrętne, tj. układ mechatroniczny, który jest w stanie skręcić wybranym kołem o zadaną wartość kąta. Jest to rozwiązanie bardziej złożone, ale dające większe możliwości kontroli nad platformą, w szczególności w przypadku, gdy wszystkie koła są skrętne [5].

W ramach układu osi skrętnej istnieje wiele rozwiązań tego w jaki sposób poruszać kołem. Jednym z nich jest zastosowanie standardowego silnika prądu stałego jako elementu wykonawczego. Koncepcję układu z wykorzystaniem silnika DC przedstawiono na Rys. 2.3.



Rys. 2.3 Koncepcja osi skrętnej wykorzystującej silnik DC

Zastosowanie silnika DC umożliwia proste sterowanie za pośrednictwem standardowych kontrolerów takich jak Raspberry Pi czy Arduino, jednak do poprawnego działania konieczne jest zastosowanie silnika wraz ze zintegrowaną przekładnią w celu uzyskania odpowiedniej wartości momentu obrotowego.

Dodatkowo, aby poprawnie sterować położeniem kątowym silnika konieczne jest zastosowanie enkodera obrotowego, a tak naprawdę dwóch enkoderów. Pierwszy, mierzący położenie wału silnika, a drugi mierzący położenie kątowe koła w osi pionowej. Konieczność dodatkowego określania położenia pozycji koła spowodowane jest tym, że w trakcie jazdy koło może uderzyć o jakąś przeszkodę i nieznacznie zmienić swoje położenie, które może nie zostać zarejestrowane na enkoderze silnika ze względu na zastosowane przełożenie.

Oś skrętna napędzana silnikiem krokowym

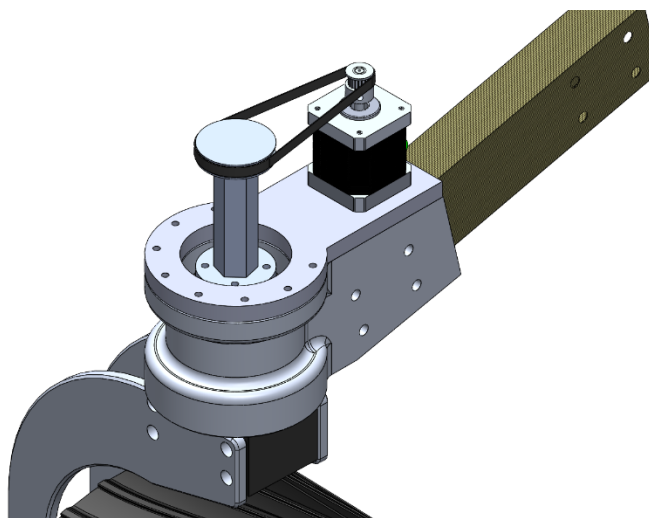
W celu wyeliminowania konieczności stosowania układów nadzorujących w postaci enkoderów, postanowiono opracować koncepcję z wykorzystaniem silników krokowych. Zastosowanie silnika krokowego wymaga zastosowania odpowiedniego układu sterowania, ale pozwala to na sterowanie położeniem kątowym silnika z dużą dokładnością, sięgającą nawet dziesiątych części stopnia kątowego.

Jedną z podstawnych wad stosowania silników krokowych, są ich niskie wartości momentów obrotowych. W celu uzyskania większych wartości momentów konieczne jest zastosowanie odpowiednio większych silników, co wiąże się z znacznym wzrostem kosztu zakupu lub zastosowaniem przekładni.

Na Rys. 2.4 przedstawiono opracowaną koncepcję wykorzystującą silnik krokowy wraz z przekładnią pasową synchroniczną.

Ze względu na sposób montażu silnika krokowego, zaprojektowanie zintegrowanej przekładni, na przykład przekładni planetarnej, jest niezwykle trudne. Stąd też postanowiono zastosować przekładnię paskową synchroniczną.

Opracowane rozwiązanie umożliwia dokładne sterowanie położeniem koła, ale ze względu na postać konstrukcyjną, zajmuje dużo miejsca. Dodatkowo wykorzystanie paska powoduje jego naciągania się z czasem użytkowania, a tym samym zmniejszenie sprawności i dokładności działania układu osi skrętnej. Innym istotnym aspektem stosowania paska zębatego jest wprowadzanie dodatkowych obciążeń związanych z momentami gnącymi, co dodatkowo zwiększa zużycie łożysk.



Rys. 2.4 Koncepcja układu osi skrętnej z wykorzystaniem silnika krokowego

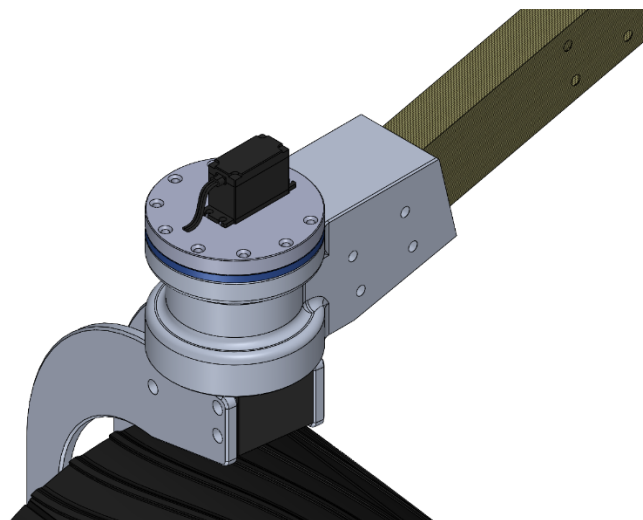
Oś skrętna napędzana serwomechanizmem

Kolejnym rozważanym rozwiązaniem konstrukcyjnym układu osi skrętnej, jest konstrukcja wykorzystująca serwomechanizm. Standardowy serwomechanizm modelarski jest układem zawierającym silnik prądu stałego wraz ze zintegrowaną przekładnią redukcyjną oraz układ enkodera, pozwalający na dokładne pozycjonowanie położenia wału serwomechanizmu.

Na Rys. 2.5 zaprezentowano koncepcję układu osi skrętnej wykorzystującą serwomechanizm modelarski. Dużą zaletą stosowania serwomechanizmów modelarskich jest ich kompaktowa budowa i możliwość uzyskiwania dużych

wartości momentów obrotowych, nawet do 20 Nm, przy wymiarach zewnętrznych serwomechanizmu rzędu 50 mm x 80mm x 45 mm. Dodatkowym atutem stosowania serwomechanizmu jest prostota jego sterowania za pomocą standardowych kontrolerów typu Raspberry Pi Pico oraz programowa pętla sprzężenia zwrotnego. Zastosowana pętla sprzężenia zwrotnego powoduje, że po wychyleniu serwomechanizmu z zadanego programowo położenia, samoistnie wraca on do pozycji zadanej, dzięki czemu nie ma potrzeby monitorowania położenia koła, tak jak miało to miejsce w przypadku zastosowania silników DC.

Wykorzystanie serwomechanizmu niesie ze sobą również pewne ograniczenia, których należy być świadomym. Jednym z podstawowych ograniczeń jest zakres kątowy, który może być realizowany przez serwomechanizm. Standardowe mechanizmy pracują w zakresie $0^{\circ} \div 180^{\circ}$. Ma to istotne znaczenie w przypadku, gdy w ramach projektu przewiduje się zastosowanie dodatkowej przekładni redukującej, która dodatkowo będzie zmniejszała zakres ruchu kątowego. W rozpatrywanym przypadku nie stanowi to problemu, ponieważ wymagany zakres ruchu ogranicza się do 90° i zakłada się dobór serwomechanizmu o momencie obrotowym pozwalającym na niestosowanie dodatkowych przekładni.



Rys. 2.5 Koncepcja układu osi skrętnej z wykorzystaniem serwomechanizmu

2.3. Docelowe rozwiązanie

W ramach prac rozwojowych nad platformą Phoenix III opracowano prototypy trzech rozwiązań osi skrętnej, zaprezentowanych we wcześniejszej części rozdziału. Każdy z opracowanych układów został przetestowany na platformie rozwojowej w celu określenia ich możliwego zastosowania na docelowym łaziku.

Na podstawie przeprowadzonych testów do dalszego rozwoju przyjęto rozwiązanie wykorzystujące serwomechanizm jako element wykonawczy osi skrętnej. Układ ten okazał się najbardziej kompaktowy i najmniej zawodny w trakcie testów. Dodatkowo sposób sterowania układu z serwomechanizmem okazał się niezwykle prosty i łatwy do zaimplementowania w aktualnie stosowanym systemie sterowania operatorskiego platformą.

Ze względu na to, że punkt montażowy osi skrętnej na platformie rozwojowej oraz na docelowej platformie się różnią, konieczne było zaprojektowanie całego węzła, wraz z łożyskowaniem, jak również wprowadzić odpowiednie poprawki do modelu ramienia zawieszenia łazika.

Do testów działania osi skrętnej początkowo zastosowano serwomechanizm modelarski STR DL5020 (Rys. 2.6) o momencie obrotowym wynoszącym 2,0 Nm przy napięciu zasilającym 6,0 V. W trakcie testów moment obrotowy generowany przez serwomechanizm był wystarczający, natomiast postanowiono w docelowej konstrukcji osi przewidzieć serwomechanizm dysponujący większym momentem obrotowym, aby mieć pewność, że oś będzie w stanie wykonać obrót również w trudnych warunkach terenowych.



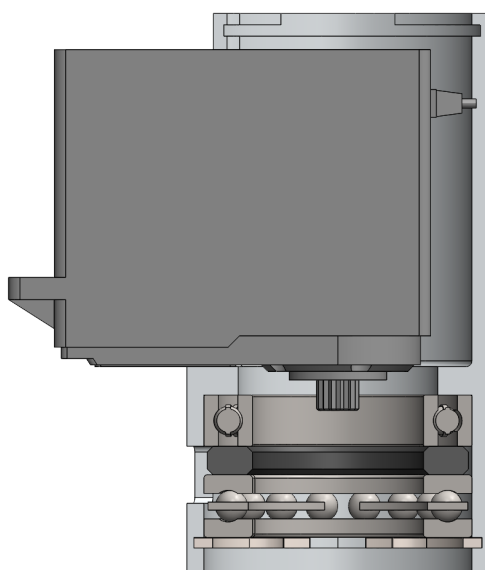
Rys. 2.6 Serwomechanizm modelarski STR DL5020 [6]

W ostatecznej wersji osi skrętej postanowiono zastosować serwomechanizm PowerHD WH-65KG (Rys. 2.7), dysponujący momentem obrotowym o wartości 6,5 Nm przy napięciu zasilania 8,4 V. Pomimo nieco większych wymiarów gabarytowych udało się zwiększyć ponad trzykrotnie moment obrotowy osi, a tym samym zwiększyć niezawodność całego układu.



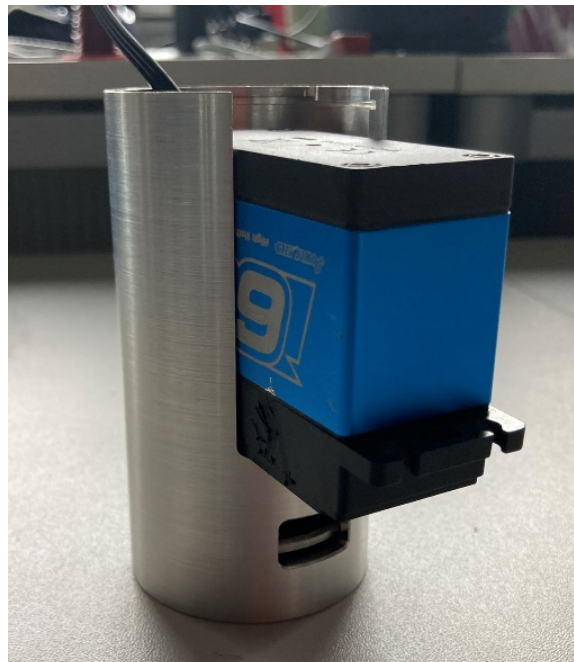
Rys. 2.7 Docelowy serwomechanizm PowerHD WH-65KG [7]

Na Rys. 2.8 zaprezentowano opracowany układ osi skrętej. Układ ma postać aluminiowej tulei, w której zamknięte jest łożyskowanie osi skrętej wraz z elementami osadzającymi. W opracowanym rozwiązaniu postanowiono zastosować zestaw łożysk składający się z łożyska kulkowego zwykłego oraz łożyska kulkowego wzdłużnego. Układ taki pozwala na przenoszenie zarówno sił promieniowych jak i osiowych działających na oś skrętną w trakcie jazdy.

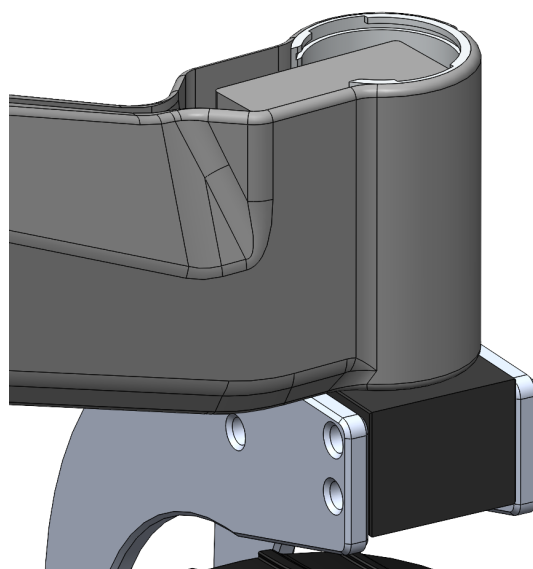


Rys. 2.8 Wirtualny model opracowanej osi skrętej

W ramach opracowanego rozwiązania zadbano o to, aby cały układ osi skrętnej był kompaktowy i łatwy w montażu i demontażu. Po wykonaniu prototypu docelowego za pomocą technologii przyrostowej i zweryfikowaniu działania osi, przystąpiono do wykonania ostatecznych elementów. Na Rys. 2.9 przedstawiono fizyczny model docelowego układu osi skrętnej. Natomiast na Rys. 2.10 zaprezentowano sposób zamontowania osi skrętnej w ramieniu zawieszenia łożyska.



Rys. 2.9 Docelowy model osi skrętnej



Rys. 2.10 Wizualizacja kompletnej osi skrętnej

2.4. Podsumowanie

W ramach prowadzonych prac badawczych nad platformą mobilną Phoenix III, postanowiono opracować system pozwalający na swobodne manewrowanie łożkiem w trakcie zawodów. W tym celu dokonano przeglądu możliwych rozwiązań konstrukcyjnych takich układów.

Na podstawie przeprowadzonego przeglądu, udało się określić podstawowe wady i zalety poszczególnych rozwiązań, co przyczyniło się do wyboru ostatecznej wersji osi skrętnej bazującej na sterowaniu położeniem koła za pomocą serwomechanizmu modelarskiego.

Przed wyborem zastosowania serwomechanizmu, wykonano prototypy poszczególnych rozwiązań konstrukcyjnych, aby fizycznie zweryfikować ich działanie. Tutaj również okazało się, że układ z serwomechanizmem wykazywał się najlepszym działaniem - co potwierdziło wcześniejsze przypuszczenia.

Przeprowadzone testy pozwoliły na dopracowanie ostatecznej wersji układu osi skrętnej, które zostało szczegółowo opisane i przekazane do produkcji i montażu na platformie Phoenix III.

Projekt finansowany w ramach dofinansowania projektów realizowanych w ramach studenckich kół naukowych Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza

BIBLIOGRAFIA

1. European rover challenge. <https://roverchallenge.eu>.
[Data uzyskania dostępu: 06.01.2023]
2. Silesian Phoenix – AI-METH. <https://sknaimeth.polsl.pl/silesian-phoenix/> [Data uzyskania dostępu: 06.01.2023]
3. Wu, X., Xu, M., & Wang, L. “Differential speed steering control for four-wheel independent driving electric vehicle.” W 2013 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2013, s 1-6.
4. Tchoń, K., Zadarnowska, K., Juskiewicz, Ł., & Arent, K. “Modeling and control of a skid-steering mobile platform with coupled side wheels”. [W] Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences, 2015, s. 807-818.
5. Oftadeh, R., Aref, M. M., Ghabcheloo, R., & Mattila, J. “Mechatronic design of a four wheel steering mobile robot with fault-tolerant odometry feedback.” W IFAC Proceedings Volumes, 2013, vol. 46(5), s. 663-669.
6. RC-Team.pl Modele zdalnie sterowane.
<https://rc-team.pl/serwa/99858-serwo-bezsztotkowe-dl5020-lv-65g-20kg-016sec-wodoodporne-bezrdzeniowe-6969005002010-011011.html> [Data uzyskania dostępu: 05.02.2023]
7. Botland. <https://botland.com.pl/serwa-typu-standard/16493-serwo-powerhd-wh-65kg-standard-6929130065656.html>
[Data uzyskania dostępu: 05.02.2023]

Rozdział 3

PROJEKT I KONSTRUKCJA BEZPOWIETRZNYCH KÓŁ DO ZASTOSOWANIA W ŁAZIKU PLANETARNYM PHOENIX III

Patryk Stawczyk¹, Jakub Bręczewski¹, Dawid Domagała¹, Andrzej Jałowicki²

¹ SKN Zastosowania Metod Sztucznej Inteligencji AI – METH, zespół Silesian Phoenix

² Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn

3.1. Wstęp

Jednym z kluczowych elementów mobilnej platformy jezdnej jest układ jezdny, którego to jednym z elementów jest koło. To właśnie koło odpowiada za przeniesienie momentu obrotowego generowanego przez napęd na nawierzchnię i tym samym wprowadza platformę w ruch. Jako, że jednym z głównych zadań w trakcie zawodów z serii Rover Challenge jest przemieszczanie się po polu marsjańskim, zapewnienie odpowiednich własności trakcyjnych może decydować o uzyskaniu przewagi w trakcie zawodów [1].

Aktualnie w kontekście kół zespoły wykorzystują jedno z dwóch rozwiązań: koła pneumatyczne lub konstrukcje bezpowietrzne. Przykłady poszczególnych rozwiązań przedstawiono na Rys. 3.1. Zastosowanie klasycznych opon pneumatycznych ma tą przewagę, że są one ogólnodostępne w różnych rozmiarach i zapewniają dobre własności jezdne, jak również stanowią element amortyzujący konstrukcję łazika. Pomimo swoich licznych zalet opony pneumatyczne mogą w łatwy sposób ulec przebiciu na ostrych kamieniach. Dodatkowo należy mieć na uwadze fakt znacznie niższego ciśnienia atmosferycznego na Marsie, jest to jedynie ok. 1% ziemskiego ciśnienia, co również stanowi przeszkodę dla opon wypełnionych powietrzem.



Rys. 3.1 Po lewej przykład koła pneumatycznego, po prawej przykład koła bezpowietrznego [2, 3]

Biorąc pod uwagę wspomniane problemy z oponami pneumatycznymi, w ramach prac rozwojowych nad platformą Phoenix III [4], postanowiono opracować autorskie rozwiązanie bezpowietrznego koła, które nie tylko będzie zapewniało odpowiednie własności trakcyjne, ale również będzie stanowiło element wibroizolacji platformy. W celu opracowania docelowego rozwiązania dokonano przeglądu możliwych rozwiązań stosowanych przez inne zespoły i na tej podstawie opracowano własną koncepcję modułowego koła, które zostało opisane w ramach niniejszego rozdziału.

3.2. Przegląd możliwych rozwiązań bezpowietrznych kół

Koncepcje bezpowietrznych kół wielokrotnie pojawiały się w łazikach drużyn z innych uczelni. Każda z nich charakteryzuje się innym wykonaniem oraz wykorzystanymi materiałami. Dzięki dostępowi do informacji na temat zachowania tych rozwiązań podczas jazdy łazików, zespół projektowy mógł dokonać porównania oraz oceny jakie materiały oraz rozwiązania konstrukcyjne gwarantują bezproblemową jazdę po trudnych powierzchniach.

Scorpio-7 (Politechnika Wroclawska)

Cztery koła wyposażone są w opony wykonane z tkaniny Cordur, która zapewnia odpowiednią przyczepność łazikowi. Koła z tkaniny Cordur zostały

wypełnione pianką z własnością pamięci kształtu. Poza poprawą przyczepności zastosowana technologia poprawia stabilność i amortyzację łożyska. Koła posiadają średnicę około 300 mm [5]. Postać i sposób montażu opracowanego koła zaprezentowano na Rys. 3.2.



Rys. 3.2 Bezpowietrzna opona z tkaniny Cordur wypychana gąbką [5]

Sirius II (Politechnika Warszawska)

Koła wykonane są w postaci elastycznej opony wydrukowanej w technologii FDM, najprawdopodobniej z termoplastycznego poliuretanu (TPU). Opony te zostały zaprojektowane oraz wprowadzone w celu poprawy żywotności poprzednich opon z tkaniny i pianki, jednocześnie zapewniając zbliżone właściwości jezdne. Łazik wyposażony we wspomniane rozwiązanie jest zdolny do pokonywania powierzchni o różnym stopniu kohezji [6]. Postać opracowanych kół została zaprezentowana na Rys. 3.3.



Rys. 3.3 Koła z sztywnymi szprychami oraz pokryciem wykonanym TPU [6]

Kalman (AGH w Krakowie)

Koła zostały wydrukowane za pomocą technologii FDM z elastycznego TPU o strukturze plastra miodu. Struktura ta powinna zapewnić dodatkową amortyzację wstrząsów. Wysokoprofilowy bieżnik na wszystkich czterech kołach łożnika zwiększa własności jezdne na luźnej nawierzchni. Koła mają średnicę około 280 mm [7]. Postać opracowanych kół zaprezentowano na Rys. 3.4.



Rys. 3.4 Elastyczne koła wykonane tylko z wykorzystaniem technologii FDM [7]

Porównanie rozwiązań

Na podstawie wykonanego przeglądu zastosowanych rozwiązań innych zespołów, określono zbiór cech, na podstawie których można scharakteryzować konstrukcję koła. Są to:

- twardość koła – rozumiana jako zdolność do zachowania pierwotnego kształtu przez koło w trakcie przejazdu. Zbyt „miękkie” koło będzie się charakteryzowało dużą powierzchnią kontaktu koła z podłożem, ale nadmierne odkształcenie będzie powodować nierównomierną jazdę i generowało bicie promieniowe. Zbyt „twarde” koło będzie cechowało się gorszymi własnościami jezdny. Odpowiedni dobór twardości koła pozwala uzyskać optymalne własności jezdne, poprzez zapewnienie odpowiedniego kontaktu pomiędzy kołem, a nawierzchnią.
- elastyczność bieżnika – rozumiana jako możliwość lokalnego odkształcenia się bieżnika pod wpływem najazdu na przeszkodę typu kamień lub inne elementy otoczenia. Zapewniając odpowiednią elastyczność bieżnikowi, nawet w trakcie jazdy po przeszkodach koło ma dużą powierzchnię styku z podłożem.
- poziom tłumienia drgań – nie jest to cecha niezbędna w opracowywanej koncepcji koła, lecz koło zaprojektowane z myślą o częściowym tłumieniu drgań pozwala uprościć system wibroizolacji łazika.
- wytrzymałość na gwałtowne uderzenia – w trakcie przejazdu, jednym z możliwych zdarzeń jest osunięcie się fragmentu podłoża lub wpadnięcie koła w krater. Udarowy charakter takich zdarzeń wymusza aby konstrukcja koła była w stanie znieść chwilowe przeciążenie, bez uszkodzenia samego koła lub innych elementów łazika, takich jak oś skrętna czy układ napędowy.
- szybkość wykonania – ze względu na fakt, że koło stanowi element podlegający zużyciu, możliwość szybkiego wykonania nowego koła jest niezwykle istotna. Poza czasem samego wykonania istotny jest łatwy dostęp do technologii koniecznych do ich wykonania.
- odporność na ścieranie – kolejną kluczową cechą kół jest ich odporność na ścieranie. Ze względu na to, że nawierzchnia na polu marsjańskim jest silnie erozyjna, konieczne jest zapewnienie jak najdłuższej żywotności kołu, aby uniknąć sytuacji starcia się bieżnika w trakcie zawodów.

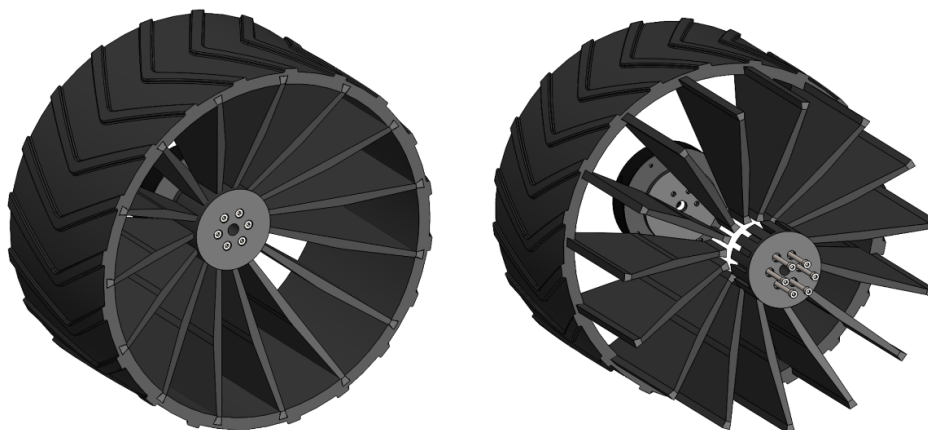
Zestawienie poszczególnych cech, dla omawianych wcześniej konstrukcji kół przedstawiono w Tab. 3.1

Tab. 3.1 Zestawienie cech kół konkurencji

Kryterium	Scorpio 7	Sirius II	Kalman
Twardość koła	Niska	Wysoka	Średnia
Elastyczność bieżnika	Bardzo duża	Niska	Duża
Poziom tłumienia drgań	Duże	Niskie	Duże
Wytrzymałość na gwałtowne uderzenia	Duża	Niska	Średnia
Szybkość wykonania	Krótki czas wykonania	Krótki czas wykonania	Długi czas wykonania
Odporność na ścieranie	Niska, istnieje ryzyko przetarcia	Średnia	Średnia

3.3. Docelowe rozwiązanie

Mając na uwadze coroczne zmiany w ukształtowaniu pola marsjańskiego w trakcie zawodów, podjęto próbę opracowania koła w taki sposób, aby umożliwić dopasowanie charakterystyki koła do zastanej nawierzchni. W tym celu dokonano podziału koła na trzy główne elementy: bieżnik, szprychy oraz piastę, które są ze sobą łączone kształtowo, przy wykorzystaniu połączenia na tak zwany jaskółczy ogon. Tak opracowane modułowe koło pozwoli na szybką zmianę poszczególnych komponentów, w celu uzyskania optymalnych własności jezdnych. Opracowany wirtualny model koła zaprezentowano na Rys. 3.5. Opracowane koło ma średnicę 300 mm (rozmiar ten jest najczęściej spotykany wśród konstrukcji łożników) i szerokości 150 mm.



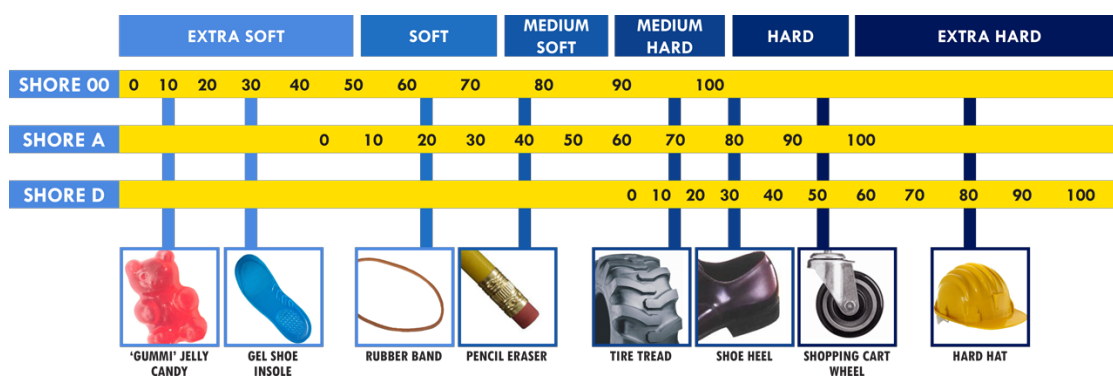
Rys. 3.5 Opracowany model modułowego koła

Kolejnym etapem w opracowaniu koła, był dobór materiałów, z których zostaną wykonane poszczególne elementy. Dzięki podziałowi koła na elementy możliwe było dobranie różnych tworzyw na różne elementy, co dało dużą swobodę w doborze cech charakteryzujących gotowe koło.

Spośród rozpatrywanych tworzyw, skupiono się na materiałach, które umożliwiały zastosowanie prostych procesów technologicznych, takich jak techniki przyrostowe czy odlewanie. Spośród rozpatrywanych tworzyw do etapu prototypowania zakwalifikowano:

- poliuretan termoplastyczny (TPU)
- poliuretan odlewniczy o twardości 60A w skali Shore'a
- poliuretan odlewniczy o twardości 70D w skali Shore'a
- silikon odlewniczy RTV

Orientacyjną twardość w skali Shore'a zaprezentowano na Rys. 3.6.



Rys. 3.6 Skala twardości Shore'a, wg której zostały dobrane żywice poliuretanowe [8]

Mając wstępnie dobrane tworzywa, przystąpiono do procesu doboru technologii wykonania poszczególnych elementów. W przypadku bieżnika zdecydowano, że będzie on odlewany z żywicy odlewniczych. Decyzja ta była podyktowana tym, że element ten jest dość duży i wymagane jest, aby charakteryzował się pewną elastycznością, co efektywnie wykluczyło zastosowanie technologii przyrostowych z wykorzystaniem TPU: po pierwsze ze względu na brak dostępu do urządzenia o odpowiednio dużym polu roboczym i możliwością drukowania z tworzyw elastycznych i po drugie ze względu na bardzo długi czas wykonania pojedynczego elementu.

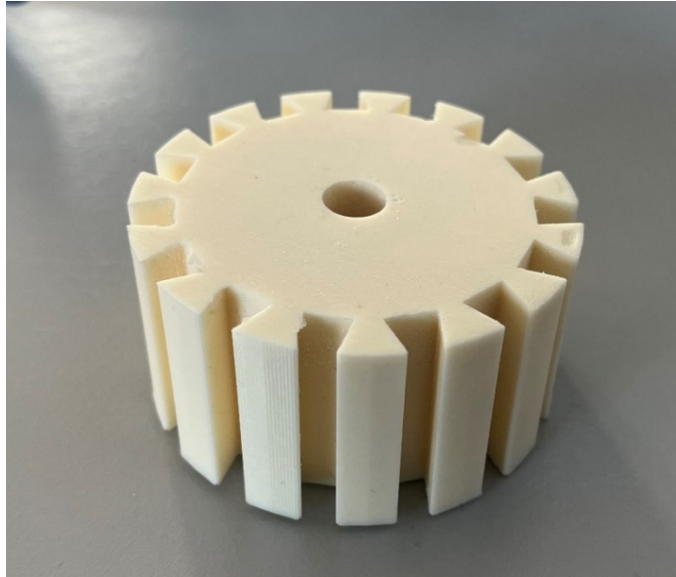
W celu wykonania bieżnika postanowiono wykonać silikonową formę, która posłuży do odlania elementu z elastycznego poliuretanu o twardości 60A w skali Shore'a. Wykonany prototyp bieżnika przedstawiono na Rys. 3.7.



Rys. 3.7 Prototyp bieżnika

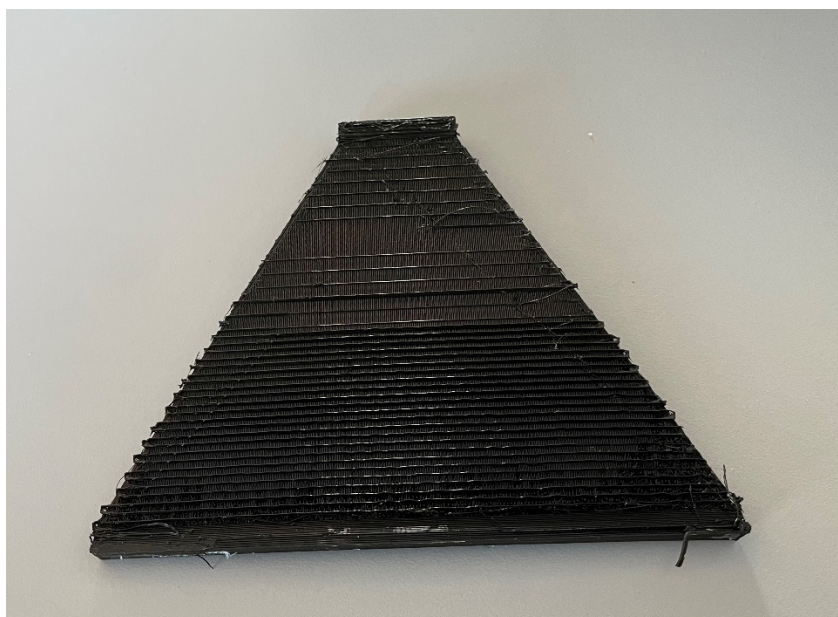
Kolejnym elementem, który rozpatrywano była piasta. Ze względu na nieduże wymiary gabarytowe oraz brak specyficznych wymagań, element piasty może być wykonany za pośrednictwem technik przyrostowych oraz odlewniczych. Po wykonaniu prototypów piasty zarówno jako model przyrostowy wykonany z ABS oraz odlew z żywicy poliuretanowej o twardości 70D w skali Shore'a, zdecydowano, że piasta będzie wykonywana jako element odlewany z żywicy. Na tą decyzję miały wpływ dwa czynniki: po pierwsze czas wykonania elementu jako

odlewanego wynosi około 2 godzin (w przypadku wydruku było to około 4.5 godziny), po drugie element odlewany cechuje się większą jednorodnością strukturalną i nie ma ryzyka uszkodzenia elementu pomiędzy warstwami. Wykonany element piasty zaprezentowano na Rys. 3.8.



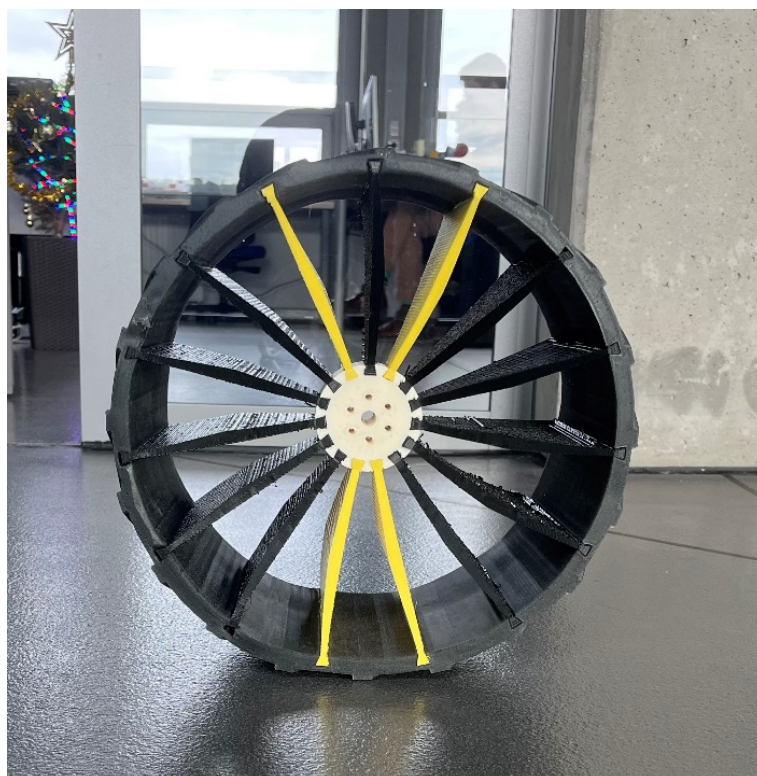
Rys. 3.8 Prototyp piasty

Ostatnim opracowanym elementem jest szprycha. Jest to element dający najwięcej możliwości przy doborze materiału. W zależności od zastosowanego tworzywa możliwym jest uzyskanie różnej sztywności szprychy, co znacząco wpływa na zachowanie się gotowego koła. Dla szprychy również rozważano wykonanie jej jako elementu odlewanych lub z wykorzystaniem techniki przyrostowej. W tym przypadku zdecydowano się na zastosowanie technik przyrostowych. Głównym czynnikiem mającym na to wpływ były kształty szprychy, głównie części jaskółczego ogona, który powodował konieczność opracowania skomplikowanej formy odlewniczej. W przypadku zastosowania technologii przyrostowej FDM, kształt szprychy nie stanowił istotnego ograniczenia, a uzyskane w ten sposób elementy mają zadawalającą sztywność. W przypadku konieczności zwiększenia lub zmniejszenia sztywności szprychy, technologia przyrostowa, umożliwia wykorzystanie filamentu TPU o różnej twardości w skali Shore'a oraz różnego rodzaju i poziomu wypełnienia modelu, co jest niemożliwe w przypadku odlewanych elementów. Na Rys. 3.9 przedstawiono szprychę wykonaną w technologii przyrostowej FDM.



Rys. 3.9 Prototyp wykonanej szprychy

Po wykonaniu wszystkich elementów, dokonano złożenia pierwszego prototypu koła. Uzyskane w ten sposób koło, zachowuje swój kształt przy obciążeniu oraz nie ulega zniszczeniu w trakcie uderzeń. Gotowy prototyp modułowego bezpowietrznego koła przedstawiono na Rys. 3.10.



Rys. 3.10 Prototyp bezpowietrznego koła stworzony przez zespół Silesian Phoenix

3.4. Podsumowanie

Jednym z kluczowych elementów platformy jezdnej są koła, które będą zapewniały odpowiednie własności jezdne w różnych warunkach terenowych. Opracowanie odpowiednich kół nie jest prostym zadaniem i wymaga wielu prób w celu osiągnięcia zadawalającego efektu końcowego.

W celu ograniczenia konieczności wykonania wielu prototypów kół, dokonano przeglądu rozwiązań stosowanych przez konkurencyjne zespoły, startujące w zawodach łązików marsjańskich. Na tej podstawie opracowano szereg wymagań jakie muszą spełniać opracowane koła.

W ramach prac nad platformą Phoenix III opracowano koncepcję modułowego koła, w którym można zmieniać sztywność koła poprzez zmianę poszczególnych elementów, takich jak szprychy.

W kolejnym kroku dobrano materiały i procesy technologiczne dla poszczególnych elementów koła, w celu opracowania prototypu koła, które będzie można przetestować. Zgodnie z wstępnymi testami prototypu koła, przyjęte założenia projektowo-konstrukcyjne zostały spełnione i można przystąpić do wykonania kompletu kół i przetestowania ich na platformie rozwojowej.

Projekt finansowany w ramach dofinansowania projektów realizowanych w ramach studenckich kół naukowych Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza

BIBLIOGRAFIA

1. European rover challenge. <https://roverchallenge.eu>.
[Data uzyskania dostępu: 06.01.2023]
2. Vestil. <https://www.vestil.com/product.php?FID=1261>
[Data uzyskania dostępu: 07.01.2023]
3. Michelin. <https://www.michelin.com/en/innovation/vision-concept/airless/> [Data uzyskania dostępu: 07.01.2023]
4. Silesian Phoenix – AI-METH. <https://sknaimeth.polsl.pl/silesian-phoenix/> [Data uzyskania dostępu: 06.01.2023]
5. Team Scorpio report. Anatolian rover challenge.
https://www.anatolianrover.space/_files/ugd/f61dd5_b50265249b78430bbc4331cc994938f2.pdf [Data uzyskania dostępu: 12.01.2023]
6. SKA Robotics report. Anatolian rover challenge
https://www.anatolianrover.space/_files/ugd/f61dd5_dcb510c4a7a34bebbc81dec3230f3f5c.pdf [Data uzyskania dostępu: 12.01.2023]
7. AGH Space System report. Anatolian rover challenge
https://www.anatolianrover.space/_files/ugd/f61dd5_8f7b96aaf7004c39a1d3de8de6df1876.pdf [Data uzyskania dostępu: 12.01.2023]
8. Smooth-On. <https://www.smooth-on.com/page/durometer-shore-hardness-scale/> [Data uzyskania dostępu: 13.01.2023]

Rozdział 4

KONCEPCJA SYSTEMU WIZYJNEGO DO ZASTOSOWANIA W MOBILNEJ PLATFORMIE EKSPLORACYJNEJ

Jakub Gurgul¹, Witold Krafczyk¹, Bartosz Bdzionek¹

¹ SKN Zastosowania Metod Sztucznej Inteligencji AI – METH, zespół Silesian Phoenix

4.1. Wstęp

Bardzo ważnym elementem nowoczesnych konstrukcji robotycznych [1] jest możliwość sterowania zdalnego: operatorskiego lub autonomicznego. Sterowanie zdalne realizowane jest za pośrednictwem przesyłania dwustronnego danych z i do platformy, najczęściej z wykorzystaniem komunikacji bezprzewodowej, zazwyczaj radiowej. W wariancie operatorskim do robota wysyłamy polecenia definiowane na podstawie informacji przysyłanych z czujników oraz kamer. W wariancie autonomicznym platforma podejmuje działania bez udziału operatora na podstawie informacji z czujników oraz kamer. Przykładem takiego zadania może być autonomiczne podążanie za człowiekiem [2].

W obydwu przypadkach system wizji jest bardzo ważnym elementem, mającym duży wpływ na sposób realizacji zadania. W zależności od ilości i jakości danych wizyjnych, zarówno operator jak i algorytmy autonomiczne, będą w równy sposób podejmować decyzje, co będzie przekładać się na efektywność w realizowaniu zadania.

Aktualnie w ramach projektu Silesian Phoenix, realizowana jest budowa nowej platformy robotycznej – Phoenix III [3]. W związku z tym koniecznym było opracowanie dedykowanego dla tej konstrukcji systemu wizyjnego, pozwalającego na jej operatorską oraz autonomiczną pracę. Opracowywana platforma przeznaczona jest do udziału w studenckich zawodach z serii Rover Challenge, które są zawodami tzw. łazików marsjańskich. Największymi europejskimi zawodami są European Rover Challenge [4]. W ramach zawodów

dużą rolę odgrywa poruszanie się robota po nieznanym terenie, często bez bezpośredniego kontaktu wzrokowego pomiędzy operatorem a platformą. W związku z tym właściwie opracowany system wizyjny jest jednym z kluczowych systemów łazika.

4.2. Koncepcja systemu wizyjnego

W budowanym systemie zakłada się wykorzystanie zestawu trzech kamer: dookolnej, szerokokątnej z możliwością ruchu oraz stereoskopowej. Taki zestaw został wybrany ze względu na zapewnienie odpowiedniej widoczności całej platformy dla operatora jak i prostych algorytmów sztucznej inteligencji. Poniżej przedstawiono bardziej szczegółowy opis każdego z typów kamer.

Kamera dookolna

Głównym zadaniem kamery dookolnej jest obserwacja bliskiego otoczenia łazika, w szczególności obszaru przy kołach. Jest to niezwykle istotne ze względu na sterowanie platformą, w szczególności przeciwdziałanie zakopywaniu się kół w luźnej nawierzchni, jak również omijanie przeszkód terenowych, takich jak kamienie czy kratery.

Kamera dalekiego widzenia

Zadaniem drugiej kamery jest dostarczanie bardziej szczegółowych informacji na temat dalszego otoczenia łazika. Jest to niezbędne do określenia położenia celów misji oraz planowania optymalnej ścieżki przejazdu. Kamera ta powinna być wyposażona w obiektyw szerokokątny oraz możliwość niezależnego od platformy obrotu. Możliwość takiego zmieniania położenia obiektywu, jest istotną cechą w trakcie tworzenia mapy otoczenia, bez dodatkowego wydatku energetycznego na manewrowanie łazikiem.

Kamera stereoskopowa

Widok z ostatniej z kamer, jest głównie przeznaczony dla algorytmów sztucznej inteligencji [5]. Dostarcza ona dane dotyczące profilu przestrzennego dla obserwowanego obszaru. Ten typ kamery jest szczególnie istotny w przypadku wykonywania misji wymagających manipulowania elementami otoczenia. Mogą

one również być wykorzystywane do tworzenia przestrzennej mapy przejazdu robota.

W Tab. 4.1 przedstawiono parametry oraz kryteria, które decydowały o wyborze poszczególnych kamer.

Tab. 4.1 Tabela zawierająca spis kryteriów oraz parametrów dla kamer

Parametr	Kryterium dla kamer IP	Kryterium dla kamery stereoskopowej
Kąt widzenia	360° lub co najmniej 110°	Co najmniej 110°
Zasilanie	IEEE 802.3af [6]	USB
Typ komunikacji	Przewodowy	
Prędkość transmisji	Co najmniej 50 Mb/s	-
Protokół komunikacyjny	TCP/IP, HTTP(S), FTP oraz IEEE 802.1x	USB
Rozdzielczość obrazu	Co najmniej Full HD (1920 na 1080 pikseli)	Co najmniej 2x Full HD (1920 na 1080 pikseli)
Ilość klatek na sekundę	Co najmniej 20 klatek na sekundę	Przy Full HD co najmniej 20 klatek na sekundę
Rozdzielczość matrycy	Co najmniej 1.8 Mpx	Co najmniej 2.0 Mpx
Typ matrycy	CMOS lub CCD	
Zasięg wykrywania głębi	-	0.2 – 10 metrów

4.3. Opracowane rozwiązanie

Na podstawie założeń koncepcyjnych dobrano następujące elementy systemu wizyjnego.

Pierwszą dobraną kamerą jest kamera IP DS-2CD2935FWD-IS, zaprezentowana na Rys. 4.1. Jest to urządzenie przeznaczone do użytku wewnętrznego, wyposażone w soczewkę typu rybie oko o rozdzielczości 3 MP. Dzięki temu możliwa jest jednoczesna obserwacja większego obszaru. Dołączone do kamery oprogramowanie, umożliwia przełączanie się pomiędzy konkretnymi strefami wizji, a widokiem sferycznym. Daje to operatorowi możliwość nadzoru

całości konstrukcji, a w razie potrzeby przełączenie się na konkretne koło i dokładniejsze zweryfikowanie jego statusu. Kamera została również wyposażona w oświetlacz IR (ang. Infrared, podczerwień), pozwoli on na efektywniejszą pracę robota w warunkach słabego oświetlenia lub całkowitej ciemności.



Rys. 4.1 Kamera IP DS-2CD2935FWD-IS [7]

Drugą wybraną kamerą była Kamera IP DS-2DE2C400MW-DE, zaprezentowana na Rys. 4.2. Urządzenie jest wyposażone w obiektyw stałogniskowy 2,8 mm oraz przetwornik o rozmiarze 1/3" i rozdzielczości 4 MP. Poza tym konstrukcja kamery umożliwia ruch w dwóch osiach – pionowej oraz poziomej. Dzięki temu możliwa jest zmiana obserwowanego miejsca bez poruszania się łazikiem, co zmniejsza ryzyko zablokowania się robota w trudniejszym terenie oraz pozwala na oszczędzanie energii. Podobnie jak w przypadku pierwszej kamery, ta również została wyposażona w oświetlacz IR,

Rys. 4.2 Kamera IP DS-2DE2C400MW-DE [8]

dotatkowo posiada oświetlacz LED (ang. Light-emitting diode, dioda elektroluminescencyjna) o zasięgu do 30 m.



Rys. 4.2 Kamera IP DS-2DE2C400MW-DE [8]

Jako kamera stereoskopowa zostało wybrane urządzenie ZED 2 firmy StereoLabs, przedstawione na Rys. 4.3. Urządzenie wyposażone jest w dwa szerokokątne obiektywy z przetwornikiem o rozmiarze 1/3" oraz rozdzielczości 4 MP. Dodatkowo kamera dzięki wbudowanym sztucznym sieciom neuronowym, umożliwia przestrzenne śledzenie obiektów, wykrywanie głębi oraz przygotowywanie mapy przestrzennej obserwowanego obszaru. Kolejną cechą, która przesądziła o wyborze tego konkretnego modelu są dodatkowe czujniki – IMU, barometr oraz magnetometr, z których dane mogą zostać wykorzystane przez kolejne podsystemy łazika, np. do jego nawigacji przestrzennej.

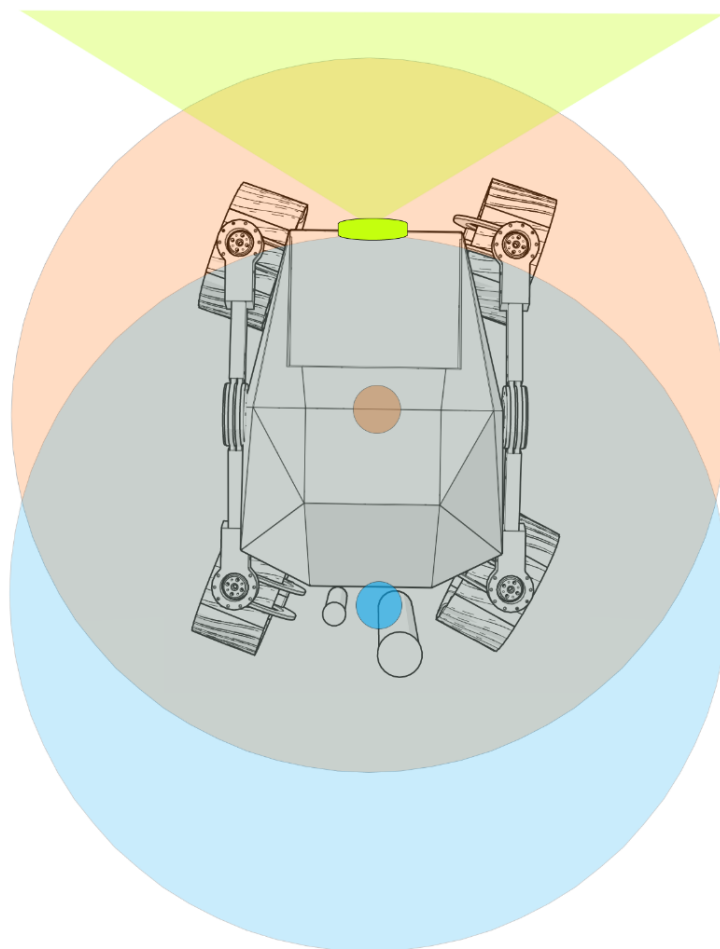


Rys. 4.3 Kamera stereoskopowa ZED 2 [9]

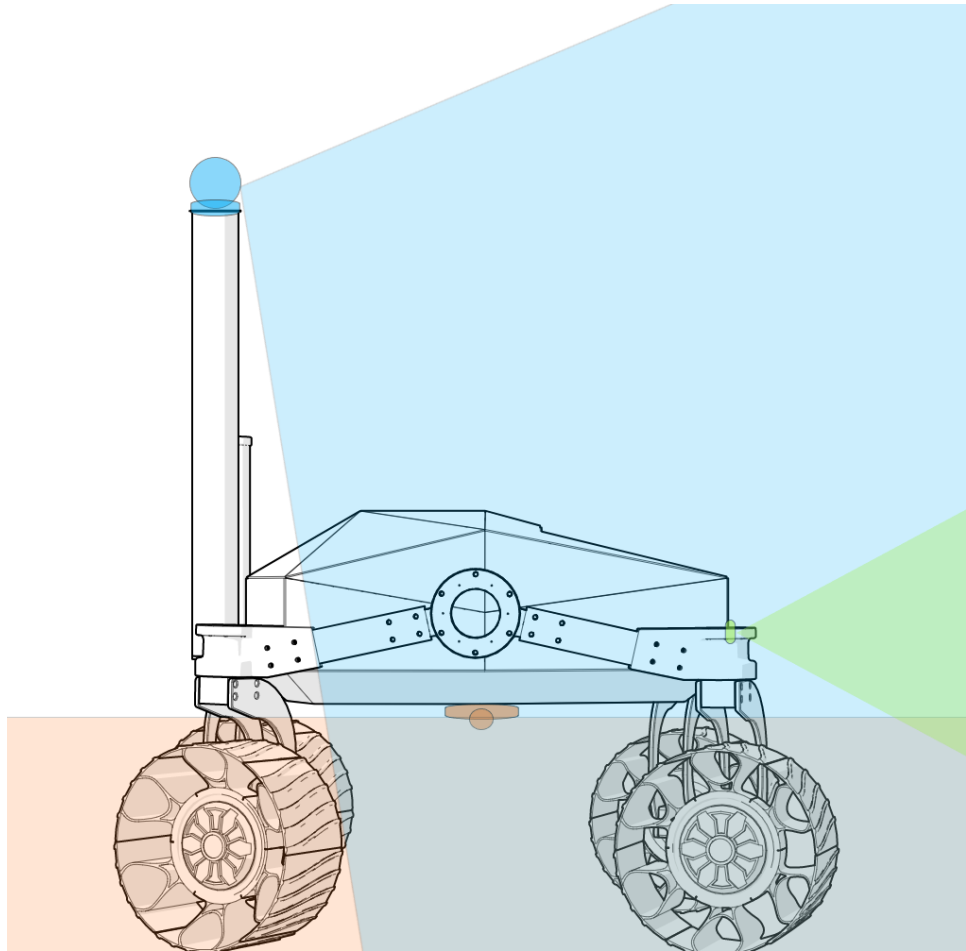
W celu uzyskania optymalnego zakresu pola widzenia, tj. takiego które pokrywa jak największy obszar w bliskim otoczeniu łazika, jak również umożliwia widzenie w dalszym horyzoncie, zdecydowano się na zweryfikowanie kilku koncepcji umiejscowienia kamer na platformie.

Po przeprowadzeniu szeregu prób środowiskowych, najbardziej zadowalające efekty uzyskano przy rozmieszczeniu kamer w sposób przedstawiony na Rys. 4.4. oraz Rys. 4.5. Kamera dookólna (na rysunkach oznaczona kolorem pomarańczowym) została umieszczona pod spodem konstrukcji, dzięki czemu możliwe jest jednoczesne obserwowanie bliskiego otoczenia łazika oraz nadzorowanie pracy poszczególnych kół. Widok z tej kamery został przedstawiony na Rys. 4.6. Druga kamera (oznaczona kolorem niebieskim) została zamontowana na dodatkowym maszcie obok anten radiowych. Takie umiejscowienie nie wpłynęło negatywnie na siłę sygnału anten, a ze względu na niezależne od platformy poruszanie się kamery, pozwoliło operatorom na

uzyskanie lepszego ogólnego widoku całej konstrukcji i środowiska. Obraz z kamery został przedstawiony na Rys. 4.7. Kamera stereoskopowa (oznaczona kolorem zielonym) została zamontowana na przodzie łożyska, umożliwiając dokładne zapoznanie się z otoczeniem, znajdującym się przed robotem. Takie umiejscowienie związane jest ze zdolnością kamery do mierzenia głębi. Są to niezwykle przydatne odczyty do jazdy operatorskiej w ciasnych przestrzeniach oraz do przejazdów autonomicznych z omijaniem przeszkód. Z obrazem otrzymywanym przez tę kamerę można się zapoznać na Rys. 4.8.



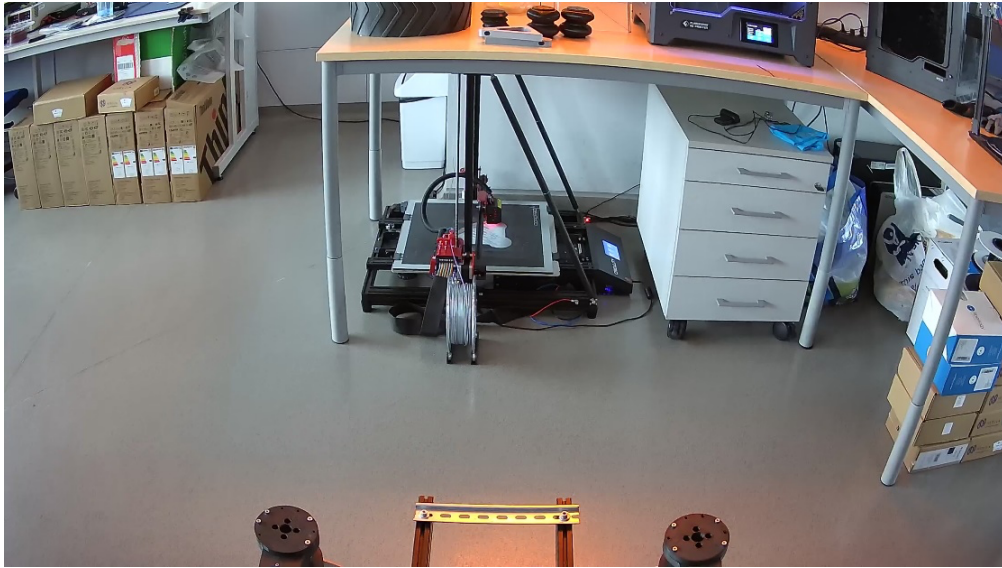
Rys. 4.4 Pola widzenia kamer (horyzontalnie)



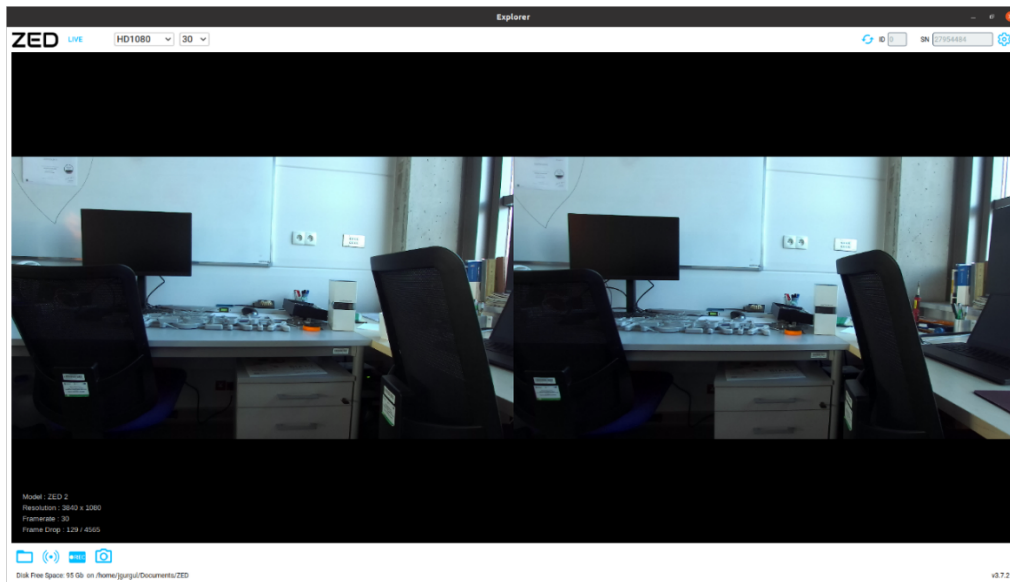
Rys. 4.5 Pola widzenia kamer (wertykalnie)



Rys. 4.6 Obraz otrzymywany z kamery dookolnej



Rys. 4.7 Obraz otrzymywany z drugiej kamery



Rys. 4.8 Obraz otrzymywany z kamery stereoskopowej

4.4. Podsumowanie

Podsumowując, na podstawie przyjętych założeń udało się zaprojektować oraz wykonać system wizyjny oparty na trzech kamerach, przeznaczony do łazika Phoenix III.

Zgodnie z przyjętymi założeniami zdecydowano się na opracowanie systemu składającego się z kamery dookolnej, kamery z możliwością niezależnej zmiany pozycji oraz kamery stereoskopowej. Po przeprowadzonym rozpoznaniu rynku zdecydowano się na zastosowanie Kamery IP DS-2CD2935FWD-IS, Kamery IP DS-2DE2C400MW-DE oraz kamery stereoskopowej ZED 2. Sprawdzone kilka koncepcji umiejscowienia kamer w celu znalezienia jak najlepszego ich ułożenia. Ostateczny montaż pozwala na nadzór platformy, w jej bliskim jak i dalszym otoczeniu, oraz wykorzystywanie sztucznych sieci neuronowych, zaimplementowanych w kamerę stereoskopową do mierzenia głębi oraz wykrywania obiektów.

Aktualny system pozwala na komfortowe warunki pracy podczas sterowania operatorskiego platformom, jak również pozwala na testowanie i ulepszanie algorytmów autonomicznych. W przyszłości warto rozważyć budowę nowego systemu lub ulepszenie aktualnego o nowe kamery. Mógłby zostać one zamontowane z boków łazika, aby dostarczać ciągły podgląd otoczenia z tej perspektywy. Dodatkowo system mógłby zostać wzbogacony o kolejne kamery stereoskopowe, umożliwiające tworzenie map głębi, które dostarczają istotnych danych o otaczającym konstrukcję otoczeniu.

Projekt finansowany w ramach dofinansowania projektów realizowanych przez studenckie koła naukowe Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza.

BIBLIOGRAFIA

1. F. Rubio, F. Valero, and C. Llopis-Albert, "A review of mobile robots: Concepts, methods, theoretical framework, and applications," *Int. J. Adv. Robot. Syst.*, vol. 16, no. 2, p. 172988141983959, 2019.
2. J. Gurgul i P. Przyszałka, „Platforma testowa do rozwoju algorytmów autonomicznego sterowania”, w *Metody komputerowe - 2022. Studencka konferencja naukowa*, Gliwice, czerwiec 2022, 2022, s. 33–36.
3. Silesian Phoenix – AI-METH. <https://sknaimeth.polsl.pl/silesian-phoenix/> [Data uzyskania dostępu: 06.02.2023]
4. European Rover Challenge. <https://roverchallenge.eu> [Data uzyskania dostępu: 06.02.2023]
5. L. R. Ramírez-Hernández et al., "Stereoscopic vision systems in machine vision, models, and applications," in *Machine Vision and Navigation*, Cham: Springer International Publishing, 2020, pp. 241–265.
6. Standard IEEE 802.3af <https://www.ieee802.org/3/af/> [Data uzyskania dostępu 06.02.2023]
7. Promitel. <https://promitel.pl/sklep-telewizja-przemyslowa/monitoring-ip/kamery/kopulkowa/hikvision-ds-2cd2935fwd-i-1-16mm/> [Data uzyskania dostępu: 06.02.2023]
8. EC System Sklep. <https://sklep-ecsystem.pl/ds-2de2c400mw-de-kamera-szybkoobrotowa-kopulkowa-ip-4mpix-2-8mm-poe-hikvision.html> [Data uzyskania dostępu: 06.02.2023]
9. RobotShop. <https://www.robotshop.com/products/zed-2-stereo-camera> [Data uzyskania dostępu 06.02.2023]

Rozdział 5

KONCEPCJA SYSTEMU NAWIGOWANIA PLATFORMĄ MOBILNĄ Z WYKORZYSTANIEM CZUJNIKÓW

Jakub Gurgul¹, Witold Krafczyk², Andrzej Jałowiecki³

^{1,2} SKN Zastosowania Metod Sztucznej Inteligencji AI – METH, zespół Silesian Phoenix

³ Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn

5.1. Wstęp

Na zawodach tzw. łazików marsjańskich organizowanych w ramach różnych edycji Rover Challenge, jednym z głównych zadań jest nawigowanie platformą po obszarze mającym imitować powierzchnię Marsa. W zależności od formatu zawodów to w jaki sposób będzie realizowany przejazd może być różnie oceniane przez panel sędziowski [1, 2].

Sterowanie platformą w trakcie zawodów może odbywać się na dwa sposoby: autonomicznie, gdzie odpowiednie algorytmy sztucznej inteligencji wyznaczają trasę przejazdu i samodzielnie dobierają odpowiednie parametry przejazdu. Drugim sposobem jest zdalne sterowanie operatorskie, w ramach którego to operator kontroluje platformę nie mając bezpośredniego kontaktu wzrokowego. W obu przypadkach niezwykle istotnym jest określenie aktualnej pozycji i orientacji platformy na symulowanym polu marsjańskim.

Standardowo informację o położeniu można uzyskiwać za pośrednictwem systemu GPS (ang. *Global Positioning System*), w ramach którego jesteśmy w stanie określić w miarę dokładne położenie platformy, jak również wyznaczyć prędkość z jaką się porusza. Natomiast w ramach zawodów z serii Rover Challenge korzystanie z nawigacji GPS jest zabronione i konieczne jest opracowanie innego sposobu nawigowania.

Większość zespołów skupiło się na wykorzystaniu systemów wizyjnych w celu nawigowania. Bazując na obrazie pozyskiwanym z wielu kamer możliwe jest

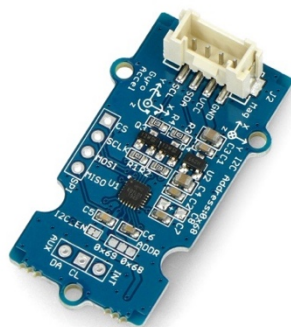
określenie położenia platformy na polu marsjańskim i wyznaczenie ścieżki, którą powinna podążać platforma. Niestety są to jedyne informacje, które można uzyskać z takiego systemu nawigacji, co w niektórych sytuacjach może się okazać niewystarczające. Dodatkowym problemem może być opóźnienie w przesyłanym obrazie oraz zabrudzenia osadzające się na soczewkach kamer w czasie przejazdu.

W związku z tym, w ramach prac rozwojowych nad platformą Phoenix III, realizowaną w ramach aktywności zespołu Silesian Phoenix [3], postanowiono rozpocząć prace nad systemem nawigowania bazującym na układzie czujników typu IMU (ang. *Inertial measurement unit*). W ramach rozdziału została przedstawiona podstawa teoretyczna oraz koncepcja utworzenia inercyjnego układu nawigacji.

5.2. Podstawy teoretyczne działania

Ze względu na brak możliwości korzystania z systemu GPS podczas nawigowania, postanowiono podjąć próbę opracowania systemu, który umożliwi określenie pozycji łazika na symulowanym polu marsjańskim, jak również pozwoli określić podstawowe parametry jazdy, takie jak prędkość oraz kierunek. Po przeprowadzeniu przeglądu możliwych rozwiązań [4], najbardziej obiecującym rozwiązaniem wydaje się być nawigowanie inercyjne na podstawie odczytu z czujników typu IMU [5, 6].

Zastosowany moduł IMU jest to układ elektroniczny wyposażony w zestaw czujników umożliwiających pomiar wartości przyspieszeń (3-osiowy akcelerometr) oraz prędkości kątowych (3-osiowy żyroskop). Bardzo często układ ten wyposażony jest również w magnetometr pozwalający na pomiar wartości pola magnetycznego w trzech osiach. Przykładowy czujnik IMU przedstawiono na Rys. 5.1.



Rys 5.1 Układ IMU o 9 stopniach swobody bazujący na układzie MPU-9250 [7]

Bazując na odczytach z IMU możliwe jest wyznaczenie poszczególnych składowych oraz wypadkowego wektora przyspieszenia w danej chwili. Zgodnie z równaniem (1) wiemy, że przyspieszenie jest pochodną prędkości po czasie, tak więc możliwe jest całkowanie wartości przyspieszenia w celu wyznaczenia wartości prędkości. Operację tą przedstawiono za pomocą równania (2), gdzie wprowadzono dodatkową stałą odpowiadającą za prędkość początkową platformy.

Całkując ponownie otrzymaną wartość możliwe jest wyznaczenie przemieszczenia, jakiego dokonała platforma w danym czasie, co przedstawiają równania (3) oraz (4).

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (1)$$

$$v = v_0 + \int a dt \quad (2)$$

$$d = \frac{dv}{dt} \quad (3)$$

$$d = d_0 + \int v dt \quad (4)$$

gdzie:

a – przyspieszenie $\left[\frac{m}{s^2}\right]$;

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

d – przemieszczenie [m];

t – czas [s];

v_0 – prędkość początkowa $\left[\frac{m}{s}\right]$;

d_0 – przemieszczenie początkowe [m].

Otrzymane dane pomiarowe oraz dane wyznaczone na ich podstawie, zawsze będą obarczone pewnymi niedokładnościami. Niedokładności te wynikają z ograniczonej dokładności stosowanych czujników, jakości kalibracji oraz innych

zakłóceń pomiarowych. Aby zwiększyć jakość uzyskiwanych wyników, można skorzystać z procesu filtrowania. W tym celu można zastosować między innymi filtr Kalmana, będący jednym z najczęściej wykorzystywanych filtrów w kontekście zadań nawigacyjnych.

Filtr Kalmana

Filtr Kalmana jest to algorytm rekurencyjny, którego celem jest wyznaczenie minimalno-wariancyjnej estymaty wektora stanu dla modelu opisującego liniowy dyskretny układ dynamiczny. Algorytm ten bazuje na pomiarze wartości wejściowych i wyjściowych do układu oraz zakłada, że zarówno proces pomiaru jaki i przetwarzania danych pomiarowych jest obciążony błędem o rozkładzie gaussowskim [8, 9].

W praktyce filtr Kalmana jest optymalnym obserwatorem stanu układu. Tak więc jest to algorytm, który jest w stanie estymować stan obserwowanego układu. Filtr Kalmana modelowany jest za pomocą równań stanu zapisanych w postaci przedstawionej jako równanie (5) oraz (6).

$$x(t + 1) = Ax(t) + Bu(t) + v(t) \quad (5)$$

$$y(t) = Cx(t) + w(t) \quad (6)$$

gdzie:

t – dyskretna chwila czasu;

$x(t)$ – chwilowa wartość wektora stanu;

A – macierz systemowa układu (macierz przejścia);

B – macierz wejścia;

C – macierz wyjścia;

$v(t)$ – wektor szumu przetwarzanego;

$w(t)$ – wektor szumu pomiarowego;

$y(t)$ – wektor pomiarowy;

Na podstawie równań stanu filtr Kalmana realizuje dwa podstawowe zadania. Pierwszym jest predykcja stanu układu na chwilę t , bazując na estymacie stanu na chwilę $t - 1$. W tym celu wykorzystywane są równania aktualizacji czasu (7) oraz (8) [8, 9, 10].

$$\hat{x}(t|t - 1) = A\hat{x}(t - 1|t - 1) + B\hat{u}(t - 1) \quad (7)$$

$$P(t|t-1) = AP(t-1|t-1)A^T + Q \quad (8)$$

gdzie:

$\hat{x}(t|t-1)$ – stanowi wektor estymaty wektora stanu *a priori* (przed pomiarem);

$\hat{x}(t-1|t-1)$ – stanowi wektor estymaty wektora stanu *a posteriori* (po pomiarze);

$P(t|t-1)$ – stanowi macierz kowariancji *a priori* dla wektorów stanowiących różnicę pomiędzy rzeczywistą wartością stanu, a jego estymatą, zapisywanymi jako (9) oraz (10);

$P(t-1|t-1)$ – stanowi macierz kowariancji *a posteriori*;

Q – to macierz kowariancji szumów przetwarzania.

$$\tilde{x}(t|t-1) = x(t) - \hat{x}(t|t-1) \quad (9)$$

$$\tilde{x}(t-1|t-1) = x(t-1) - \hat{x}(t-1|t-1) \quad (10)$$

Drugim zadaniem filtru Kalmana jest aktualizowanie wyliczonej wcześniej predykcji stanu. Działanie to jest realizowane za pomocą równań aktualizacji pomiaru (11) [8, 9, 10].

$$\hat{x}(t|t) = \hat{x}(t|t-1) + K(t)e(t) \quad (11)$$

$$e(t) = y(t) - C\hat{x}(t|t-1)$$

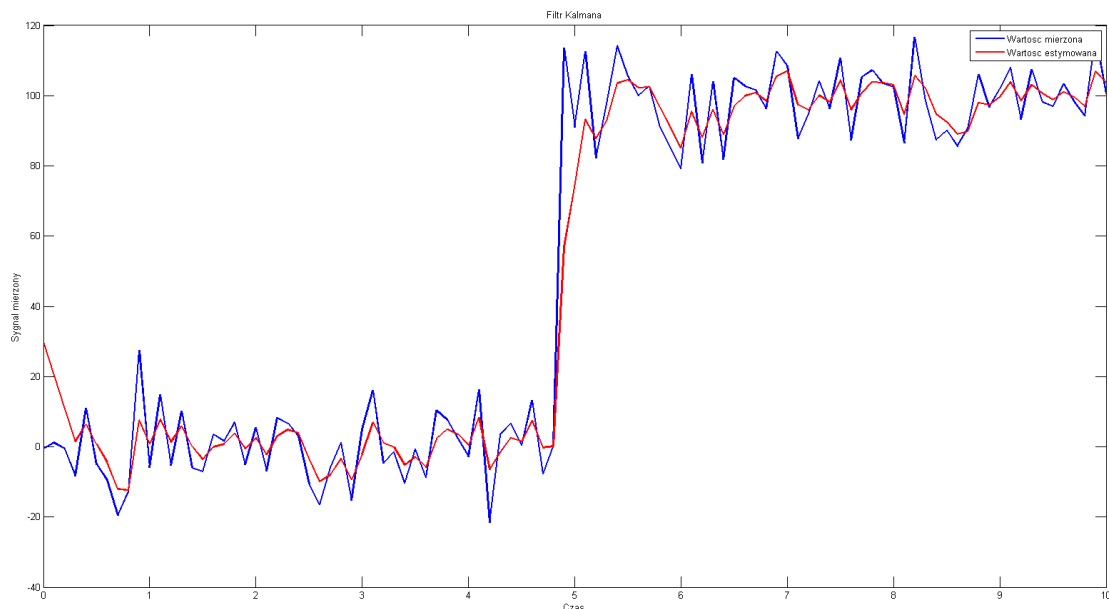
$$K(t) = P(t|t-1)C^T S^{-1}(t)$$

$$S(t) = CP(t|t-1)C^T + R$$

$$P(t|t) = P(t|t-1) - K(t)S(t)K^T(t)$$

W równaniu (11) macierz $K(t)$ nazywana jest macierzą wzmocnienia Kalmana. Wartość wzmocnienia Kalmana decyduje o tym czy bardziej „ufamy” ocenie stanu *a priori* czy informacji z pomiaru. Zerowe wzmocnienie będzie oznaczać, że zupełnie ignorujemy dane pomiarowe, natomiast wzmocnienie na poziomie $(C^T)^{-1}(t)$ powoduje, że estymata *a posteriori* wektora stanu opiera się wyłącznie na pomiarze wyjścia z układu. Wektor $e(t)$ to wektor innowacyjny, którego wartość niesie informacje o procesie. Natomiast macierz R jest macierzą kowariancji szumu pomiarowego [8, 9, 10].

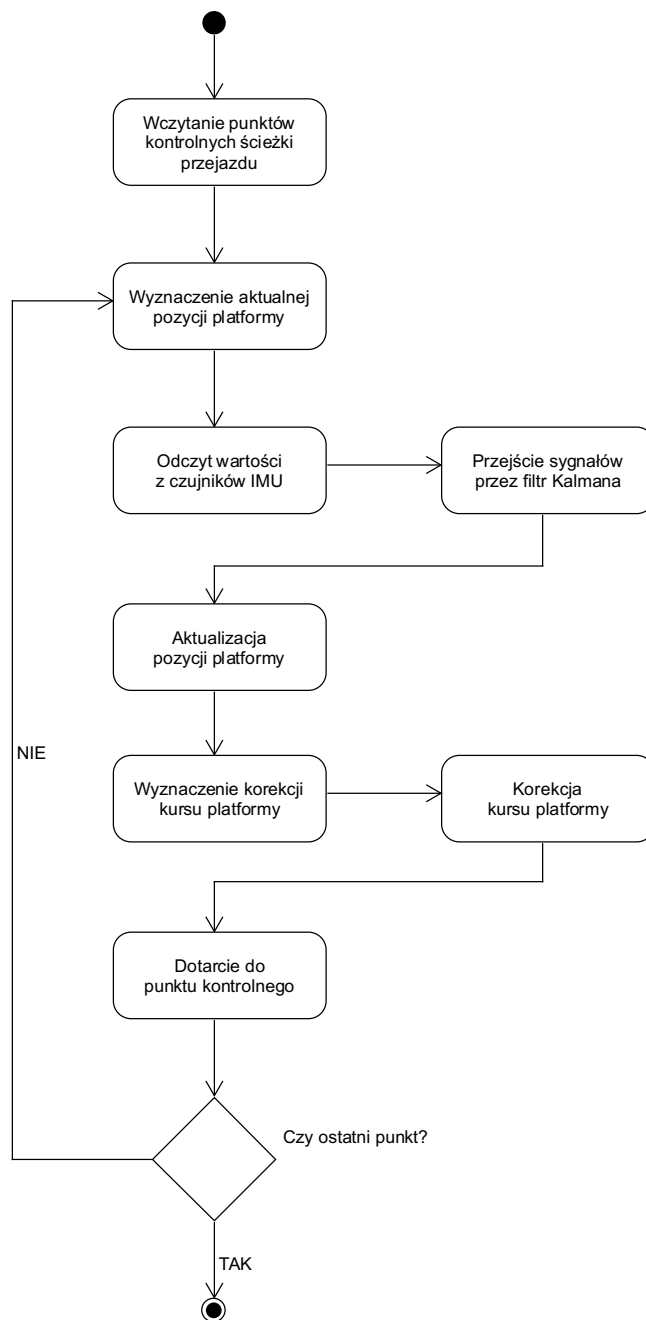
Przykład działania filtru Kalmana zaprezentowano na Rys. 5.2. Jak można zauważyć działanie filtru Kalmana z dużą dokładnością jest w stanie przewidywać przebieg sygnału, jednocześnie filtrując składowe sygnału związane z szumem.



Rys. 5.2 Przykład działania filtru Kalmana. Niebieska przebieg reprezentuje sygnał rzeczywisty, natomiast czerwony przebieg przedstawia sygnał estymowany [9]

5.3. Implementacja programowa systemu nawigowania

Znając podstawowe zależności i zasadę działania inercyjnego systemu nawigowania, opracowano podstawowych schemat blokowy działania opracowywanego systemu. Opracowany schemat blokowy przedstawiono na Rys. 5.3.



Rys. 5.3 Schemat blokowy działania inercyjnego systemu nawigacji

Zakłada się, że pierwszym etapem opracowanego systemu będzie wczytanie listy punktów, przez które planowany jest przejazd platformy. Punkty te nazywane są punktami kontrolnymi (ang. *waypoints*). W zależności od zagęszczenia punktów kontrolnych przejazd łazika przez symulowane pole marsjańskie będzie bardziej lub mniej płynny.

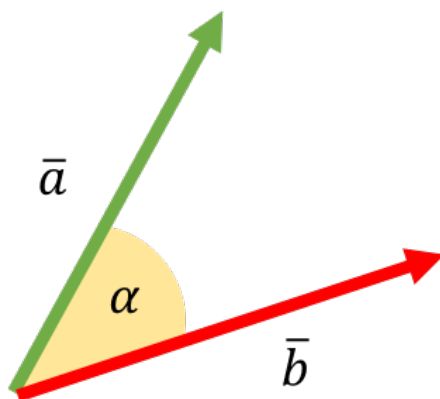
W momencie rozpoczęcia jazdy łazika gromadzone są pomiary z serii czujników IMU zainstalowanych na platformie. Zebrane dane pomiarowe są

w czasie rzeczywistym przetwarzane przez filtr Kalmana w celu usunięcia zakłóceń i uzyskania dokładniejszych odczytów. Następnie na podstawie odczytów z akcelerometru, żyroskopu oraz magnetometru, wyliczane są wektory prędkości, zarówno liniowych jak i kątowych, oraz wartości przemieszczeń względem poprzedniej znanej pozycji. W przypadku przemieszczeń również wyznaczane są wektory dla przemieszczeń liniowych oraz kątowych.

Na podstawie wyliczonych wektorów prędkości i przemieszczeń aktualizowana jest pozycja łożyska na symulowanym polu marsjańskim. Bazując na nowej pozycji oraz najbliższym punkcie kontrolnym wyznaczany jest, zgodnie z równaniem (12), współczynnik kierunkowości. Idea wyznaczania współczynnika kierunkowości została zaprezentowana na Rys. 5.4.

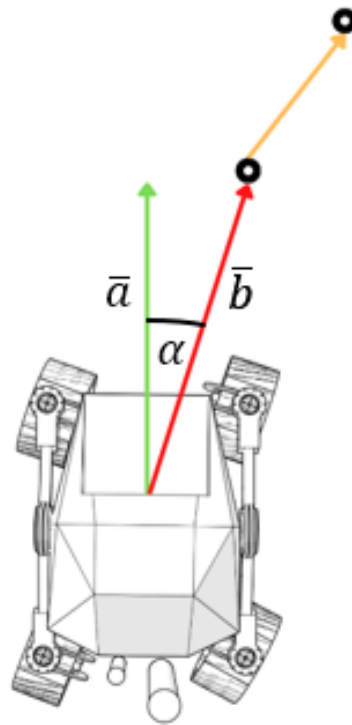
$$\cos(\alpha) = \frac{\bar{a} \cdot \bar{b}}{|\bar{a}| \cdot |\bar{b}|} \quad (12)$$

gdzie: \bar{a} i \bar{b} to odpowiednio aktualny kierunek jazdy oraz docelowy kierunek jazdy.



Rys. 5.4 Graficzne wyznaczanie współczynnika kierunkowości

Po osiągnięciu punktu kontrolnego, system sprawdza czy osiągnięty punkt jest punktem końcowym zaplanowanego przejazdu. Jeśli nie jest to ostatni punkt, wówczas procedura rozpoczyna się ponownie od wyznaczenia aktualnego położenia platformy. Natomiast w przypadku osiągnięcia docelowego punktu przejazdu następuje zakończenie działania systemu. Schemat podążania łożyska do punktów kontrolnych zaprezentowano na Rys. 5.5.



Rys 5.5 Schemat podążania łazika marsjańskiego do punktu kontrolnego

Opracowany schemat działania może również z powodzeniem stanowić bazę do rozwoju algorytmu sztucznej inteligencji do nawigowania robotem, który zostanie ulepszony o dodanie algorytmu omijania przeszkód na podstawie systemu wizyjnego oraz ciągłą modyfikację planowanej ścieżki wykorzystując pola sił i algorytmy mrówkowe [10].

5.4. Podsumowanie

W ramach prac rozwojowych nad platformą Phoenix III, podjęto próbę opracowania alternatywnego systemu nawigowania platformą mobilną w trakcie zawodów z serii Rover Challenge. Ze względu na brak możliwości korzystania z nawigacji GPS, podjęto próbę opracowania koncepcji systemu nawigacji inercyjnej.

W wyniku przeglądu aktualnie stosowanych rozwiązań, udało się ustalić, że możliwym jest określanie pozycji łazika na podstawie przebiegów sygnałów pozyskiwanych z czujników IMU.

Ze względu na charakterystykę działania czujników IMU, okazało się koniecznym zastosowanie dodatkowych technik przetwarzania sygnałów w celu poprawienia dokładności uzyskiwanych pomiarów. W tym celu postanowiono zaimplementować algorytm filtru Kalmana.

Bazując na odczytach z IMU planuje się wprowadzanie bieżących korekt kierunku jazdy łazika, tak aby możliwym było poruszanie się pomiędzy wyznaczonymi punktami kontrolnymi.

Przedstawiony system, został na ten moment jedynie opracowany na poziomie koncepcyjnym. W ramach dalszych działań planuje się, że zostaną próby utworzenia fizycznego układu rejestrowania sygnałów przebiegów z czujników IMU i ich obróbka w czasie rzeczywistym na platformie.

BIBLIOGRAFIA

1. European Rover Challenge: <https://roverchallenge.eu>.
[Data uzyskania dostępu: 06.02.2023]
2. Anatolian Rover Challenge: <https://www.anatolianrover.space/>
[Data uzyskania dostępu 06.02.2023]
3. Silesian Phoenix – AI-METH: <https://sknaimeth.polsl.pl/silesian-phoenix/> [Data uzyskania dostępu: 06.02.2023]
4. Borenstein, J., Everett, H.R., Feng, L. and Wehe, D.: (1997), Mobile robot positioning: Sensors and techniques. J. Robotic Syst.
5. K. R. Britting, Inertial Navigation Systems Analysis. Boston, Massachusetts: Artech House, 2010.
6. G. G. Samatas and T. P. Pachidis: "Inertial measurement units (Imus) in Mobile Robots over the last five years: A Review," Designs, vol. 6, no. 1, p. 17, 2022.
7. Seeed Studio: <https://www.seeedstudio.com/Grove-IMU-9DOF-v2-0.html> [Data uzyskania dostępu: 06.02.2023]
8. Filtr Kalmana. Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Kalman_filter
[Data uzyskania dostępu: 06.02.2023]
9. Franklin W.: „Kalman Filter Made Easy” Opublikowano niezależnie, 2022.
10. Maślanka, K., and J. Janusz.: „Fuzja sensoryczna IMU metodą filtra Kalmana." Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej (2017).
11. R. J. Mullen, D. Monekosso, S. Barman, and P. Remagnino: "A review of ant algorithms," Expert Systems with Applications, vol. 36, no. 6, pp. 9608–9617, 2009.

Rozdział 6

PRZEGLĄD MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA MATERIAŁÓW POLIMEROWYCH JAKO ELEMENTÓW WIBROIZOLUJĄCYCH

Karolina Mertin¹, Andrzej Jałowiecki²

¹ SKN Zastosowania Metod Sztucznej Inteligencji AI – METH, zespół Silesian Phoenix

² Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn

6.1. Wstęp

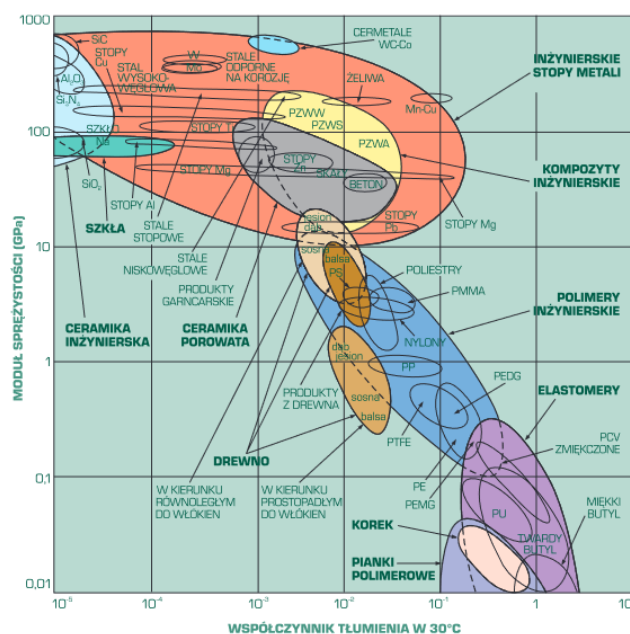
Łaziki planetarne są urządzeniami, których zadaniem jest eksploracja Układu Słonecznego. Są one wyposażone w zaawansowane technologicznie czujniki i kamery, a niektóre z nich mają możliwość pobierać próbki i dokonywać analiz jakościowych. W związku z tym, już na etapie projektowania należy wziąć pod uwagę trudności jakie mogą wystąpić i wyeliminować możliwe jak najwięcej problematycznych rozwiązań. Jednym z nich jest problem występowania drgań mechanicznych. Są one niepożądane, gdyż mogą wpływać na niestabilność konstrukcji, kontrolę położenia, trwałość czy wydajność urządzenia.

Redukcja drgań możliwa jest do osiągnięcia poprzez zwiększenie zdolności tłumienia i/lub zwiększenie sztywności układu. Drgania można tłumić metodami pasywnymi lub aktywnymi. Metody pasywne wykorzystują własność niektórych materiałów do pochłaniania energii, dzięki czemu energia układu jest rozpraszana. Metody aktywne natomiast wykorzystują elementy, takie jak czujniki i aktuatory do wykrywania drgań, a następnie do tłumienia układu w czasie rzeczywistym. Niniejszy artykuł stanowi przegląd materiałów polimerowych możliwych do zastosowania w celu zminimalizowania drgań łazika.

6.2. Określenie własności tłumiących drgania

Aby wytłumić drgania wykorzystuje się m.in. materiały o lepko-sprężystym charakterze. Mogą to być polimery, które zwykle traktuje się jako materiały pośrednie pomiędzy ciałami sprężystymi, a lepкими [1]. Stan lepko-sprężysty polimeru jest odpowiedzią materiału na przyłożoną do niego siłę. W zależności od szybkości z jaką ciało jest odkształcane, materiał może zachowywać się bardziej sprężysto - jeśli odkształcanie następuje odpowiednio szybko - lub jak materiał lepki - jeśli odkształcanie jest odpowiednio powolne.

W celu wytypowania materiałów, które mogłyby pracować jako amortyzator drgań, należy określić kryteria jakie materiał powinien spełniać. Dla danego przypadku materiał musi się charakteryzować odpowiednim współczynnikiem tłumienia, sprężystości, dostępnością na rynku oraz ceną. Na Rys. 6.1 porównano własności grup materiałów możliwych do zastosowania jako tłumik drgań. Na tej podstawie można określić, że największym modułem sprężystości wykazują się: ceramika inżynierska, stopy metali, kompozyty inżynierskie oraz ceramika porowata. Nie wykazują one jednak wystarczających własności tłumiących. Natomiast duże wartości współczynnika tłumienia mają materiały wykazujące niższy moduł sprężystości. Są to przede wszystkim materiały polimerowe oraz drewno. Najniższy moduł sprężystości, w temperaturze 30°C, wykazują elastomery oraz pianki polimerowe.



Rys. 6.1 Porównanie modułu sprężystości i współczynnika tłumienia różnych grup materiałów [2]

6.3. Proces doboru materiałów tłumiących

Naprężenia i odkształcenia w materiałach lepkosprężystych

Próbka wykonana z materiału polimerowego, poddana drganiom o zmiennym w czasie przebiegu sinusoidalnym, wykazuje wartość naprężenia powstającego w ciele jako przesunięte w fazie, w stosunku do wywołanego odkształcenia [3].

Jeżeli odkształcenie będzie zmieniało się w czasie zgodnie z równaniem (1), to przebieg naprężenia w czasie może być opisany zgodnie z wzorem (2).

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad (1)$$

$$\sigma = \sigma_0 \cdot \sin(\omega \cdot t + \delta) \quad (2)$$

Wówczas moduł Younga, określany metodą DMA, opisywany jest w postaci modułu zespolonego E^* zgodnie z wzorem (3).

$$E^* = E' + E'' \quad (3)$$

$$E' = \frac{\sigma_0}{\epsilon_0} \cdot \cos(\delta) \quad (4)$$

$$E'' = \frac{\sigma_0}{\epsilon_0} \cdot \sin(\delta) \quad (5)$$

Gdzie E' to moduł zachowawczy, występujący zgodnie z fazą odkształcenia. Natomiast E'' stanowi moduł stratności, który jest przesunięty o $\frac{\pi}{2}$ względem odkształcenia.

W przypadku ciał idealnie lepkich wartość modułu zachowawczego E' jest równa 0, natomiast dla ciał idealnie sprężystych wartość modułu stratności E'' wynosi 0. W przypadku rzeczywistych materiałów mamy do czynienia z różnymi wartościami obu modułów. Dla materiałów polimerowych oraz kompozytów o osnowie polimerowej zwykle mamy do czynienia z sytuacją, gdzie $E'' < E'$ [3].

Stosunek modułu stratności do modułu zachowawczego w materiale lepkosprężystym definiuje się jako $tg(\delta)$ opisywany równaniem (6).

$$tg(\delta) = \frac{E''}{E'} \quad (6)$$

Za pomocą modułu zachowawczego i modułu strat możliwy jest pomiar energii zmagazynowanej – reprezentowaną przez część elastyczną – oraz energii rozpraszanej w postaci ciepła – reprezentowaną przez część lepka.

Materiały polimerowe, których wartość stosunku modułu stratności do modułu zachowawczego znajduje się w przedziale $0,1 \leq tg(\delta) \leq 0,2$ wykazują zdolność do znacznego tłumienia drgań [3].

Materiały możliwe do zastosowania w celu tłumienia drgań łożyska

Przeegląd literaturowy pozwolił wytypować materiały jakie są stosowane w celu amortyzacji i tłumienia drgań. Najczęściej wykorzystuje się [4]:

- politetrafluoroetylen (PTFE),
- poliuretan,
- mieszanekę polipropylenu/kauczuku butylowego,
- mieszanekę polichlorku winylu/chlorowany polietylen/epoksydowany,
- kauczuk naturalny,
- mieszanekę poliimid/poliimid,
- mieszanekę polisulfon/polisulfon,
- mieszanekę nylon-6/polipropylen
- oraz przenikającą się sieć polimerową uretan/akrylan.

Kauczuk chloropropenowy cechuje się wysoką wartością stosunku modułu stratności do modułu zachowawczego (wartość $tg(\delta)$). Jego moduł zachowawczy jest niski, a jego moduł stratności jest najniższy spośród wymienionych w Tab. 6.1 materiałów. Materiały termoplastyczne wymienione w Tab. 6.1 to: polimetakrylan metylu (PMMA), PTFE, poliamid-66 (PA -66) i acetal. PMMA wykazuje najwyższą wartość modułu stratności, podczas gdy PA-66 wykazuje najwyższą wartość modułu zachowawczego. Epoksyd (drumoutwardzalny) i acetal wykazują najniższą wartość modułu stratności. Najwyższą wartość $tg(\delta)$ wykazuje PTFE.

Tab. 6.1 Porównanie własności tłumiących wybranych polimerów [4]

Materiał	$tg(\delta)$	E'	E''
Kauczuk chloroprenowy	0,67	0,0075	0,0067
PTFE	0,189	1,2	0,23
PMMA	0,09	3,6	0,34
PA-66	0,04	4,4	0,19
Acetal	0,03	3,7	0,13
Epoksyd	0,03	3,2	0,11

Poniżej scharakteryzowano te z nich, które uznano za możliwe do zastosowania. Pominięto PMMA z powodu jego kruchości. Ponadto opisano również własności i możliwość zastosowania poliuretanów oraz cieczy magnetoreologicznej.

Kauczuk chloroprenowy

Kauczuk chloroprenowy (CR), znany jest również jako kauczuk chlorobutadienowy oraz jako Neopren (nazwa handlowa koncernu chemicznego DuPoint). Jest to kauczuk syntetyczny otrzymywany w wyniku polimeryzacji polichloroprenu. W porównaniu z kauczukiem naturalnym i tradycyjnymi kauczukami syntetycznymi wykazuje się wyższą odpornością na rozpuszczalniki organiczne i ulega wolniej starzeniu. Główni producenci elastomerów polichloroprenowych to Lanxess, Tosoh i Denka (dawniej DuPoint) [5].

PTFE

Politetrafluoroetylen (PTFE) jest syntetycznym fluoropolimerem. Wykazuje się wysoką temperaturą topnienia (600 K), bardzo dużą lepkością oraz bardzo niskim współczynnikiem tarcia. Cechuje się wysoką odpornością chemiczną, nie reaguje ani nie rozpuszcza się w niczym, nawet w stężonym kwasie fluorowodorowym [5, 6].

Poliamid-66

Poli(heksametylenoadypamid) (PA-66) to syntetyczny polimer zawierający grupę amidową. Charakteryzuje się wysoką wytrzymałością na rozciąganie, wysoką elastycznością, dobrą sprężystością i wysoką udarnością. Cechuje się wysoką temperaturą topnienia (500 – 540 K), niskim współczynnikiem tarcia, dobrą odpornością chemiczną. Jest wrażliwy na wilgoć [5, 7].

Acetal

Poliacetalami nazywana jest grupa tworzyw sztucznych otrzymywanych w wyniku polimeryzacji aldehydów. Jednym z najczęściej stosowanym poliacetalem jest polioksymetylen (POM) określany również poliformaldehydem, poli(tlenkiem metylu) lub poliacetalem. Cechuje się niskim współczynnikiem tarcia, niską gęstością, dobrą odpornością chemiczną [5, 8, 16].

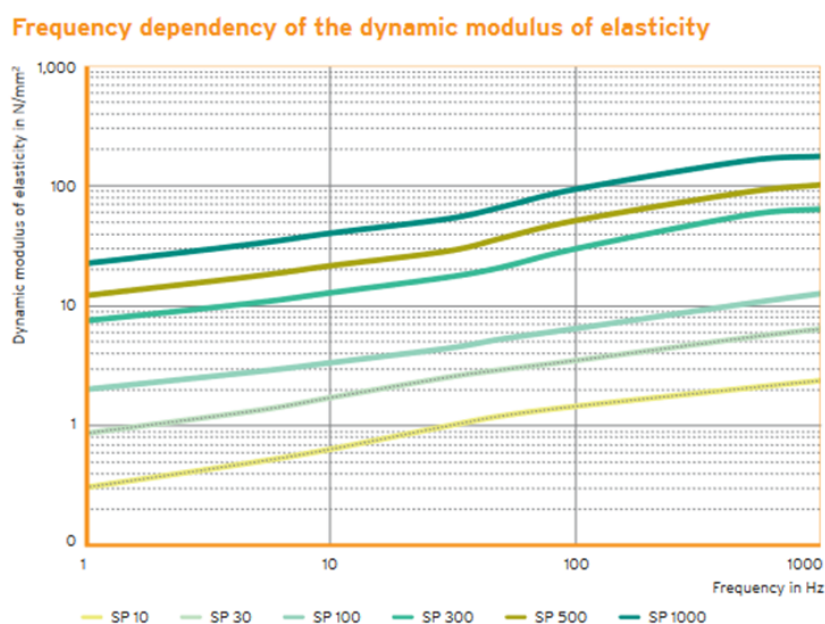
Żywice epoksydowe

Żywice epoksydowe to termoutwardzalne żywice syntetyczne jedno- lub dwuskładnikowe. Mogą reagować same ze sobą (homopolimeryzacja katalityczna) lub ze współreagentami. W zależności od ich masy cząsteczkowej może występować w postaci lepkiej cieczy lub topliwym ciele stałym. Cechują się wysoką odpornością na chemikalia. Po utwardzeniu jej właściwości zależą od rodzaju utwardzacza oraz ilości w jakiej występuje [5, 9].

Poliuretany

Poliuretany to tworzywa sztuczne otrzymywane w wyniku poliaddycji diizocyjanianów aromatycznych lub alifatycznych ze związkami zawierającymi co najmniej dwie grupy hydroksylowe. Właściwości otrzymanych materiałów zależą od ich składu, masy cząsteczkowej, a także warunków prowadzenia reakcji. Stosuje się je do wyrobu lakierów, pianek, klejów, włókien, kauczuków czy żywic. Do tłumienia drgań wykorzystuje się je w postaci pianek lub kauczuków [5, 10].

Jednym z materiałów poliuretanowych wykorzystywanych do tłumienia drgań jest Sylodamp produkowany przez austriackie przedsiębiorstwo Getzner [11]. Na Rys. 6.2 przedstawiono wykres zależności modułu sprężystości od częstotliwości drgań układu dla materiałów Sylodamp. Materiały różnią się między sobą statycznym zakresem użytkowania.



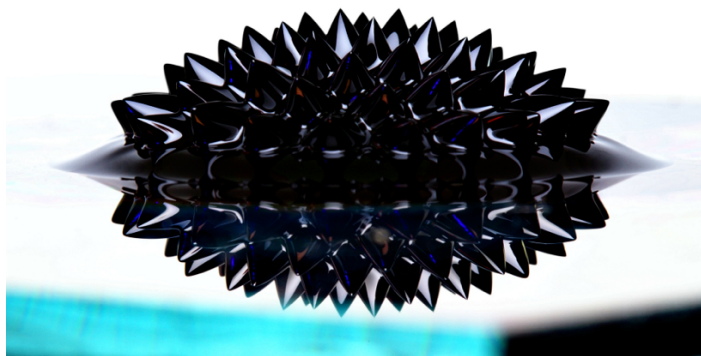
Rys. 6.2 Wykres zależności modułu sprężystości od częstotliwości drgań dla różnych materiałów Sylodamp [12]

Ciecze magnetoreologiczne

Do tłumienia drgań wykorzystuje się również ciecze sterowalne. Przykładem takiego rozwiązania jest ciecz magnetyczna, która jest zawiesiną cząsteczek o ferromagnetycznych własnościach. Ciecze te mogą zmieniać swoje własności fizyczne pod wpływem przyłożonego, zewnętrznego pola magnetycznego (Rys. 6.3). W wyniku działania zewnętrznego pola magnetycznego cząstki ulegają polaryzacji i tworzą uporządkowane łańcuchy dipoli magnetycznych ułożone w sposób równoległy do kierunku zewnętrznego pola magnetycznego. W konsekwencji następuje utrudnienie w przepływie cieczy, a to powoduje wzrost pozornej lepkości, którą można regulować za pomocą zmieniania wartości natężenia pola magnetycznego poprzez sterowanie niskonapięciowymi sygnałami elektrycznymi dostarczonymi do cewki, która wytwarza pole magnetyczne [13, 14, 17].

Ze względu na rozmiar wykorzystanych cząstek, wyróżnia się ciecze ferromagnetyczne – których średnica cząstek jest rzędu kilku nanometrów - oraz magnetoreologiczne (MR) – których rozmiar cząstek jest wielkości kilku mikrometrów.

W branży motoryzacyjnej, w klasycznym amortyzatorze występujący tam olej zastąpiono cieczą MR. Zmodyfikowano tłok tak, aby mógł pomieścić cewkę wytwarzającą pole magnetyczne. Modyfikacja ta pozwoliła na zmianę lepkości cieczy przepływającej w czasie ruchu tłoka przez tę szczelinę. Dzięki temu możliwe jest sterowanie sztywnością układu. Takie amortyzatory znajdują zastosowanie w samochodach takich jak: Cadillac CTS-V, Chevrolet Corvette, Ferrari 488 GTB, Lamborghini Huracán, Audi TT, Audi 88, Ferrari 599GBT [13, 15].



Rys. 6.3 Ciecz ferromagnetyczna poddana działaniu pola magnetycznego [17]

6.4. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonego przeglądu literaturowego, udało się określić jakimi własnościami fizycznymi powinno się odznaczać tworzywo, które małoby posłużyć jako tworzywo elementów tłumiących drgania. Z przeprowadzonego przeglądu wynika, że tworzywa dla których stosunek modułu stratnego oraz zachowawczego powinien się mieścić w przedziale $0,1 \div 0,2$.

Znając zakres poszukiwanych własności tłumienia, udało się wyróżnić pewne grupy materiałów polimerowych, które potencjalnie mogłyby zostać zastosowane przy budowie systemu wibroizolacji dla łazika Phoenix III.

Jednym z ciekawszych rozwiązań jakie udało się odnaleźć jest zastosowanie cieczy ferromagnetycznych jako medium tłumiące o zmiennej charakterystyce tłumienia. W przypadku zastosowania tego typu rozwiązania, konieczne jest opracowanie specjalnego amortyzatora, lecz rozwiązanie to pozostaje ciągle w sferze możliwych implementacji.

Bazując na przeprowadzonym studium literaturowym, kolejnym krokiem jest weryfikacja różnych tworzyw i określenie docelowego rozwiązania, które zostanie zastosowane na platformie Phoenix III. Dodatkowo planuje się opracowanie tłumika drgań bazującego na cieczy ferromagnetycznej w celu weryfikacji działania takiego rozwiązania.

BIBLIOGRAFIA

1. Ward I. M., Sweeney J. "An Introduction to the Mechanical Properties of Solid Polymers"
2. Dobrzański L. A. „Podstawy Nauki o Materiałach i Metaloznawstwo”
3. Sobczak R., Nitkiewicz Z., Koszkuł J. F. „Badania dynamicznych właściwości mechanicznych kompozytów na podstawie polipropylenu wzmocnionych włóknem szklanym”
4. Chung D. D. L. „Review Materials for vibration damping”
5. Szlezyngier W. „Tworzywa Sztuczne Tom 1”
6. Baza danych:
<https://polymerdatabase.com/Polymer%20Brands/PTFE.html>
[Data uzyskania dostępu: 31.01.2023]
7. Baza danych:
<https://polymerdatabase.com/Polymer%20Brands/Nylon.html>
Data uzyskania dostępu: 31.01.2023]
8. Baza danych:
<https://polymerdatabase.com/Polymer%20Brands/Acetals.html>
[Data uzyskania dostępu: 31.01.2023]
9. Bończa-Tomaszewski Z., Czub P., Panczek P., Pielichowski J. „Chemia i technologia żywic epoksydowych”
10. Ryszkowska J., Auguścik M., Leszczyńska M., Mizera K., Wierzbicki Ł., Szymczak T., Lasota P., Lipert K., Półka M. „Poliuretanowe struktury kompozytowe z tkaninami 3D”
11. Getzner <https://www.getzner.com/pl/o-nas/getzner-oryginal-jest-jeden>
[Data uzyskania dostępu: 31.01.2023]
12. Sylodamp® Detailed Data Sheet,
<https://www.getzner.com/en/downloads?downloadTags=en,Sylodamp>
13. Bik T. „Zastosowanie cieczy magnetoreologicznych w przemyśle motoryzacyjnym”
14. Rosiakowski A. „Badania zastosowania przekładni z cieczą magnetoreologiczną do sterowania prędkością obrotową zespołu napędowego”
15. Car and Drive
<https://www.caranddriver.com/features/a15094969/automotive-dampers-explained-how-6-common-types-work-feature/>
[Data uzyskania dostępu 31.01.2023]
16. Król-Morkisz K. „Tworzywa acetalowe modyfikowane hybrydowymi układami nieorganiczno-organicznymi w oparciu o hydroksypatyt”
17. Ferrofluid - Wikipedia <https://pl.wikipedia.org/wiki/Ferrofluid> [Data uzyskania dostępu 31.01.2023]

Rozdział 7

INTERAKTYWNA TABLICA "Rzep - CHECK" DO WSPOMAGANIA EDUKACJI WCZESNOSZKOLNEJ ORAZ TERAPII LOGOPEDYCZNEJ

Karol Wilk¹, Łukasz Gałeczka², Dorian Markusik³, Małgorzata Muzalewska⁴

^{1,2,3} SKN Zastosowania Metod Sztucznej Inteligencji AI – METH, zespół Integral SENSO

⁴ Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn

7.1. Wstęp

Nauczanie dzieci z niepełnosprawnością intelektualną i manualną jest dużym wyzwaniem tak dla rodziców, jak i dla pedagogów. Nauczyciele w szkołach specjalnych radzą sobie na co dzień poprzez stosowanie specjalnych strategii rozwoju, jak i nauczania oraz metod nagradzania starań dziecka. Jest to jednak proces złożony i trudny. W kontekście ułatwienia tego procesu technologia obecnych czasów może znacznie uprościć to zadanie. W niniejszym rozdziale przedstawiono urządzenie pozwalające uprościć terapię logopedyczną, jak i naukę wczesnoszkolną. Rozwiązanie opiera się o zastosowanie kart RFID (ang. *Radio-frequency identification* – System identyfikacji radiowej) w połączeniu z namacalnym interfejsem użytkownika (ang. *Tangible user interface*) [4].

Rozdział monografii przedstawia przegląd obecnych rozwiązań w urządzeniach wspomagających szeroko pojętą terapię logopedyczną opartą o technologię RFID oraz budowę urządzenia i technologię jego wykonania.

7.2. Efekty wykorzystania interaktywnej tablicy Rzep_CHECK w terapii

Nauka czytania jest jednym z kluczowych elementów edukacji, ale dla wielu dzieci może stanowić trudność. Wśród głównych problemów, z jakimi borykają się dzieci podczas nauki czytania, wymienia się:

- Brak odpowiednich umiejętności fonologicznych - odpowiednie rozumienie zasad fonologii (np. jak dźwięki liter łączą się w słowa) jest kluczowe dla skutecznej nauki czytania. Dzieci, które nie rozumieją tych zasad, mogą mieć trudności z rozpoznawaniem słów i ich wymową.
- Niski poziom umiejętności językowych - dzieci, które nie posiadają bogatego słownictwa lub nie rozumieją złożonych zdań, mogą mieć trudności z rozumieniem tekstu czytanego przez siebie lub inną osobę.
- Brak wiedzy na temat liter - niektóre dzieci nie znają alfabetu lub nie rozumieją, jak dane litery wpływają na wymowę słów.
- Brak motywacji – czasami uczniowie nie są zainteresowani nauką czytania lub mogą mieć trudności z utrzymaniem koncentracji podczas tego procesu.
- Problemy z widzeniem - dzieci z problemami ze wzrokiem (np. niedowidzenie lub nadwzroczność) mogą mieć trudności z rozpoznawaniem liter i słów na kartkach.
- Problemy emocjonalne lub behawioralne - niektóre dzieci mogą mieć trudności z nauką czytania ze względu na problemy emocjonalne lub behawioralne, takie jak ADHD lub dysleksja.

W celu pomocy dzieciom z tymi i innymi trudnościami, zostało opracowanych i wytworzonych wiele różnych urządzeń i metod wspomagających naukę czytania. Wśród nich znajdują się m.in. specjalne programy komputerowe, gry edukacyjne, aplikacje na smartfony czy tablety, a także różnego rodzaju tabliczki i kostki z literami

Układanie kostek jest popularną zabawą, która nie tylko sprawia dzieciom radość, ale także wspomaga rozwój ich motoryki małej. Motoryka mała to zdolność precyzyjnego i celowego ruchu rąk i palców, która jest niezbędna do wielu codziennych czynności, takich jak np. jedzenie czy pisanie. Zabawa ta wymaga od dzieci precyzji i skupienia, co pozytywnie wpływa na rozwój ich zdolności motorycznych. Dzieci muszą dokładnie trzymać kostki w rękach, uważać, aby ich nie upuścić, a także umiejętnie je układać, aby uzyskać odpowiedni napis.

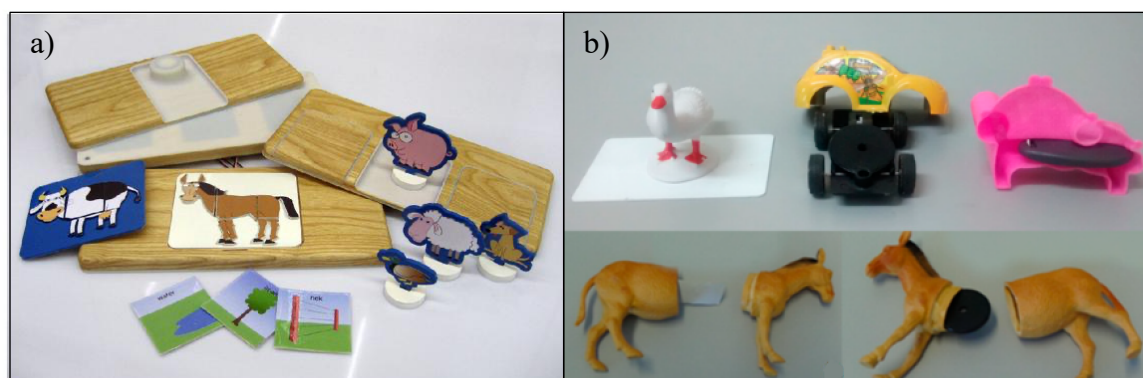
Rzep-CHECK to narzędzie edukacyjne, które pozwala dzieciom na aktywne i samodzielne uczenie się poprzez zabawę. Jest ono szczególnie przydatne w edukacji dzieci z zaburzeniami rozwojowymi, ponieważ pozwala im na rozwijanie ważnych umiejętności i kompetencji. Poniżej przedstawiono kilka zalet urządzenia do interaktywnego układania liter w edukacji dzieci z zaburzeniami rozwojowymi:

1. Urządzenie jest atrakcyjne oraz interesujące dla dzieci, co sprawia, że chętniej się nim bawią i są zaangażowane w proces uczenia się. Rozbudzenie zainteresowań i zaangażowania jest ważne, ponieważ pozwala dzieciom lepiej zapamiętywać i przyswajać nowe informacje.
2. Rzep-CHECK pozwala dzieciom ćwiczyć różne umiejętności poznawcze.
3. Interaktywne układanie liter może być dostosowywane do indywidualnych potrzeb i poziomu zaawansowania dziecka. Dzięki temu można zapewnić dziecku odpowiednio dopasowane wyzwania i zadania, co pozytywnie wpłynie na jego rozwój i motywację do uczenia się.
4. Interaktywne układanie słów może być wykorzystywane do ćwiczenia słuchania i mówienia, co jest szczególnie ważne we wczesnych etapach rozwoju językowego dziecka. Poprzez zabawę z takim narzędziem edukacyjnym dzieci mogą rozwijać swoje umiejętności językowe i lepiej porozumiewać się z otoczeniem.
5. Korzystanie z interaktywnych pomocy terapeutycznych pozwala dzieciom na samodzielne uczenie się i odkrywanie nowych rzeczy bez nadzoru dorosłych. To umożliwia dzieciom rozwijanie ich indywidualnych zainteresowań i kształtowanie ich samodzielności.

Dzięki wykorzystaniu tanich rozwiązań urządzenie to ma szansę stać się popularną pomocą dydaktyczną wykorzystywaną przez dzieci w całej Polsce. Rozwiązuje ono realne problemy z jakimi spotyka się każdy człowiek na początku swojej edukacji.

7.3. Technologia RFID w nowoczesnych urządzeniach wspomagających terapię logopedyczną

Technologia RFID jest głównym czynnikiem pozwalającym na interakcję ze środowiskiem wirtualnym. Szeroki dostęp i łatwa implementacja w narzędziach terapeutycznych czy też czysto rozwojowych wynika z samej budowy czujnika i czytnika. Transpondery mogą być integrowane z obiektami o konkretnej wadze, kształcie i kolorze. Bezpośrednio przekłada się to na zwiększenie bodźca, który odbiera pacjent polepszając jego zdolności przyswajania wiedzy. W obecnie projektowanych narzędziach wykorzystuje się technologie w dwojaki sposób. Najpopularniejszą na rynku metodą wykorzystania jest umieszczenie kształtu,



Rys. 7.1 a) przedstawia wykorzystanie kart RFID w prototypie urządzenia CLICK-IT [5], b) pokazuje możliwości implementacji tagów w obiektach fizycznych [4]

słowa na wierzchu karty wyposażonej w RFID (Rys.7.1.a). Wynika to z czynników, które wpływają na użyteczność tego rozwiązania w urządzeniach terapeutycznych mających kontakt z dziećmi:

- niska cena pojedynczego transpondera,
- łatwość dopasowania nadruku do karty o standardowej wielkości,
- wysoka skuteczność sczytywania kart.

Kolejną metodą jest zmodyfikowanie obiektu o fizycznym kształcie (Rys.7.1.b). W ten sposób zapewniamy dodatkowe bodźce w postaci geometrii, koloru czy faktury jednak często niejednorodność takiego przedmiotu wpływa negatywnie na współpracę z czytelnikiem [2][4][5].

7.4. Technologia pomocnicza w urządzeniach terapeutycznych

Jako środki wspomagające połączenie świata wirtualnego ze światem fizycznym często stosuje się systemy oparte na technologii RFID. Przykładem jest projekt CLICK-IT w którym transpondery używa się jako główny nośnik informacji pozwalającej określić typ zadania [5]. Natomiast interfejs TUI w postaci przycisków pozwala użytkownikowi wybrać konkretną odpowiedź. W zaawansowanych urządzeniach terapeutycznych stosuje się wszelkiego rodzaju ekrany dotykowe pozwalające na wykonywanie dodatkowych czynności podczas wskazywania odpowiedzi co bezpośrednio wpływa na rozwijanie się umiejętności motorycznych użytkownika. W urządzeniu, o którym mowa w rozdziale wykorzystany jest system pomiaru rezystorów umieszczonych w elementach służących jako litery, dzięki czemu można niskim kosztem odtworzyć urządzenie wraz z zestawem liter [1].

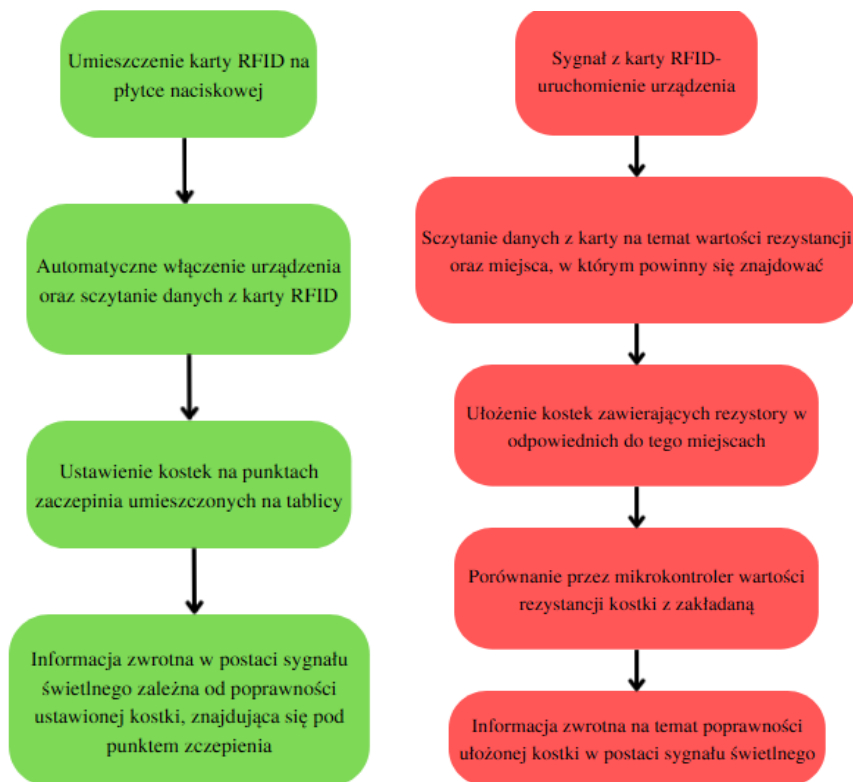
7.5. Budowa interaktywnej tablicy Rzep-CHECK wspomagającej rozwój dzieci

Urządzenie umożliwia naukę polegającą na układaniu liter hasła znajdującego się na karcie RFID. W tym celu urządzenie zostało zaprojektowane na wzór tradycyjnych tablic do układania słów. Dzięki informacji zwrotnej otrzymywanej przy układaniu kostek z literkami tablica ta może być używana do wspomagania procesu nauki czytania, poznawania liter oraz słów. Może być używana zarówno podczas edukacji wczesnoszkolnej (np. w przedszkolach) jak i przez terapeutów w ośrodkach wspomagających dzieci w rehabilitacji oraz dzieci z niepełnosprawnościami. Urządzenie zostało przedstawione na rys. 7.2.



Rys. 7.2 Interaktywna tablica „Rzep – CHECK”

Schemat działania tablicy jest prosty oraz intuicyjny dzięki czemu urządzenie jest proste w obsłudze. Został on przedstawiony na rysunku 7.3.



Rys. 7.3 Schemat działania tablicy RFID oraz schemat technicznego działania

Użytkownik na bieżąco otrzymuje informację o poprawności układanych liter dzięki diodom znajdującym się pod dokładanymi literami (Rys.7.4, 7.5, 7.6). Gdy układane litery nie są w poprawnym miejscu względem karty RFID jest to sygnalizowane czerwoną diodą (Rys.7.8).



Rys. 7.4 Rozpoczęcie układania słowa znajdującego się na karcie RFID



Rys. 7.5 Poprawnie ułożone słowo z karty RFID



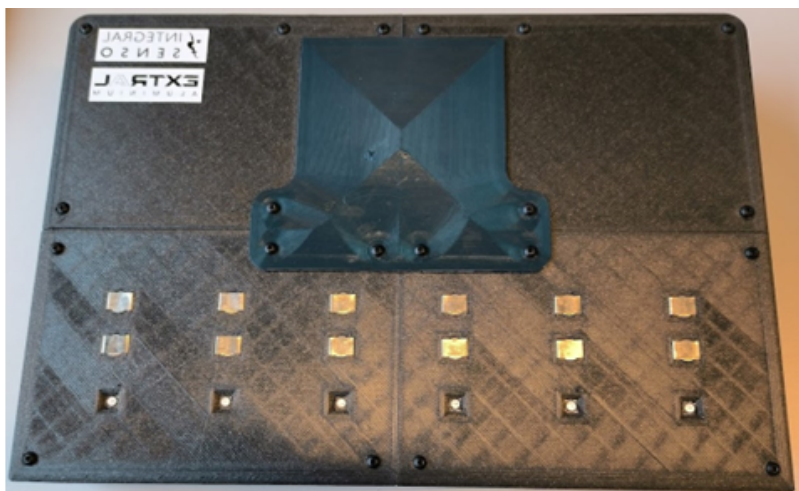
Rys. 7.6 Gdy ułożone kostki nie zgadzają się z aktualną kartą RFID

W ostatnich latach coraz częściej stosuje się technologie generatywne, takie jak druk 3D do produkcji różnego rodzaju urządzeń, w tym również do nauki czytania. Jest to spowodowane wieloma zaletami, jakie niesie ze sobą ta technologia. Z jednej strony, druk 3D pozwala na szybką produkcję prototypów i gotowych produktów, co skraca czas potrzebny na ich opracowanie

i wprowadzenie na rynek. Z drugiej strony, ta technologia pozwala na oszczędność kosztów, ponieważ nie wymaga m.in. form wtryskowych czy narzędzi do obróbki skrawaniem, które są potrzebne w tradycyjnych procesach produkcyjnych. Druk 3D umożliwia również produkcję małych partii produktów, co jest szczególnie przydatne w przypadku produktów specjalistycznych lub dostosowanych do indywidualnych potrzeb klienta. Technologia ta pozwala także na wytwarzanie obiektów o skomplikowanych kształtach, które mogą być trudne do osiągnięcia za pomocą tradycyjnych technologii wytwarzania.

Druk 3D charakteryzuje się również oszczędnością materiałów, ponieważ pozwala na precyzyjne dozowanie materiału, co prowadzi do mniejszej ilości odpadów i mniejszych kosztów. Ta technologia jest także elastyczna, ponieważ umożliwia szybką zmianę projektu lub dodanie nowych funkcji do już istniejącego produktu.

Obudowa interaktywnej tablicy Rzep-CHECK (Rys. 7.7) została wydrukowana w 4 częściach ze względu na ograniczone pole robocze drukarki 3D, a następnie została połączona w całość.



Rys. 7.7 Obudowa urządzenia Rzep CHECK

Do obudowy zostały także wydrukowane kostki, dzięki którym możliwe będzie układanie na niej wyrazów używanych podczas korzystania z urządzenia. Kostki te w przeciwieństwie do jednolitej kolorowo obudowy są wydrukowane jako wielokolorowe dzięki zastosowaniu procesu addytywności, którą odznacza się druk 3D (Rys 7.8).



Rys. 7.8 Kostki do urządzenia Rzep-CHECK

Proces wydruku może być wielokrotnie zatrzymywany, aby wymienić szpule odpowiadającą za materiał używany do druku. Kostki można także wytwarzać w różnych kolorach, a jedyne co ogranicza ich kształt i zastosowanie to wyobraźnia oraz możliwości drukarki 3D.

Magnetyczne kontakty stosowane do przyczepiania kostek z literami do tablicy są łatwe w użyciu, ponieważ nie trzeba ich przyciskać lub dociskać, aby się trzymały. Można je łatwo przesuwac lub przenosić z miejsca na miejsce. Same centrują się na przeznaczonych dla nich polach. Kontakty magnetyczne są także bezpieczne dla dzieci, ponieważ nie zawierają ostrych krawędzi (Rys.7.9, Rys.7.10).



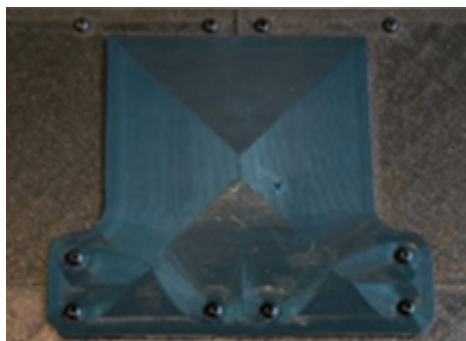
Rys. 7.9 Magnetyczne kontakty umieszczone na obudowie



Rys. 7.10 Budowa kostki do urządzenia Rzep CHECK

Płytką naciskową (Rys. 7.11) służy jednocześnie za włącznik urządzenia. W momencie przyłożenia karty RFID reprezentującej hasło, które chcemy ustawić na tablicy, czytnik danych znajdujący się również w tym samym miejscu syczytuje

dane umieszczone wcześniej na karcie. Dane te reprezentują jakie hasło powinno zostać ułożone z kostek na urządzeniu.



Rys. 7.11 Płytki naciskowa

Każda z kostek ma wbudowany magnes do centrowania ich na odpowiednich miejscach wyznaczonych na tablicy. Oprócz tego każda kostka (Rys.7.10) zawiera także rezystor, dzięki któremu mikrokontroler umieszczony w tablicy jest w stanie „rozpoznać”, jaka litera jest ustawiana w jakim miejscu na tablicy, a następnie porównuje odczytane rezystancje z wartościami zawartymi na karcie RFID. Rezystancje poszczególnych liter znajdują się w tabelicy 1.

Tab. 1. - Wartości rezystancji wykorzystanych w poszczególnych literach

Głoska	ASCII [hex]	ASCII	U _{in} [V]	Obliczone R [Ω]	R1 [Ω]	Układ	R2 [Ω]	Rz [Ω]
a	41	A	0,1	204,1	220		2700	203,4
b	42	B	0,2	416,7	390	+	27	417
c	43	C	0,3	638,3	680		10000	636,7
d	44	D	0,4	869,6	1000		6800	871,8
e	45	E	0,5	1111,1	1200		15000	1111,1
f	46	F	0,6	1363,6	1500		15000	1363,6
g	47	G	0,7	1627,9	1500	+	120	1620
h	48	H	0,8	1904,8	1800	+	100	1900
i	49	I	0,9	2195,1	2200	+	0	2200
j	4A	J	1	2500,0	1500	+	1000	2500
k	4B	K	1,1	2820,5	2700	+	120	2820
l	4C	L	1,2	3157,9	2700	+	470	3170
m	4D	M	1,3	3513,5	3300	+	220	3520
n	4E	N	1,4	3888,9	3900	+	0	3900
o	4F	O	1,5	4285,7	3900	+	390	4290
p	50	P	1,6	4705,9	4700	+	0	4700
q	51	Q	1,7	5151,5	4700	+	470	5170
r	52	R	1,8	5625,0	5600	+	27	5627
s	53	S	1,9	6129,0	3900	+	2200	6100

t	54	T	2	6666,7	12000		15000	6666,7
u	55	U	2,1	7241,4	6800	+	470	7270
v	56	V	2,2	7857,1	8200		180000	7842,7
w	57	W	2,3	8518,5	8200	+	330	8530
x	58	X	2,4	9230,8	10000		120000	9230,8
y	59	Y	2,5	10000,0	10000	+	0	10000
z	5A	Z	2,6	10833,3	15000		39000	10833,3
ą	5B	[2,7	11739,1	12000		560000	11748,2
ć	5C	\	2,8	12727,3	10000	+	2700	12700
ci	5D]	2,9	13809,5	12000	+	1800	13800
ch	5E	^	3	15000,0	15000	+	0	15000
cz	5F	_	3,1	16315,8	18000		180000	16363,6
dz	60	`	3,2	17777,8	18000		1500000	17786,5
dż	61	a	3,3	19411,8	33000		47000	19387,5
dź	62	b	3,4	21250,0	27000		100000	21259,8
dzi	63	c	3,5	23333,3	22000	+	1200	23200
ę	64	d	3,6	25714,3	47000		56000	25553,3
ł	65	e	3,7	28461,5	27000	+	1500	28500
ń	66	f	3,8	31666,7	27000	+	4700	31700
ni	67	g	3,9	35454,5	39000		390000	35454,5
ó	68	h	4	40000,0	39000	+	1000	40000
rz	69	i	4,1	45555,6	39000	+	6800	45800
ś	6A	j	4,2	52500,0	47000	+	5600	52600
si	6B	k	4,3	61428,6	56000	+	5600	61600
sz	6C	l	4,4	73333,3	68000	+	5600	73600
ż	6D	m	4,5	90000,0	68000	+	22000	90000
ź	6E	n	4,6	115000,0	100000	+	15000	115000
zi	6F	o	4,7	156666,7	150000	+	6800	156800
-	70	p	4,8	240000,0	120000	+	120000	240000
-	71	q	4,9	490000,0	390000	+	100000	490000

7.6. Ewaluacja urzędu w SOSW

W ramach współpracy z Specjalnym Ośrodkiem Szkolno-Wychowawczym w Dąbrowie Górniczej urządzenie zostało przekazane do prowadzenia zajęć z dziećmi w przedziale wiekowym 5-14 lat, które mają trudności rozwojowe ze względu na różnego rodzaju niepełnosprawności

Dzięki ciekawej formie grywalizacji zadań edukacyjnych użytkownicy tablicy, wykazują większe zainteresowanie podpisywaniem kolejnych kart. Wprowadzenie nowego rodzaju interaktywności przyniosło także pozytywny efekt w prowadzeniu zajęć nastawionych na integrację grupy dzieci współdzielących opiekuna. Forma walidacji odpowiedzi poprzez kolor światła pozwala na ocenę

problemów jakie doświadcza dziecko z drugiego krańca sali co umożliwia terapeutom sprawniejsze poruszanie się pomiędzy dziećmi w trakcie zajęć.

Dzięki podświetlaniu każdej litery z osobna, urządzenie pomaga przełamywać bariery edukacyjne poprzez podział wyznaczonego zadania na pojedyncze problemy, które sprawiają mniejsze wyzwanie dla użytkownika. Urządzenie Rzep-CHECK jest więc przykładem, że współczesne technologie są wartościowym wsparciem dla rozwoju osób z zaburzeniami rozwojowymi.

7.7. Podsumowanie rozdziału

Interaktywna tablica „Rzep-CHECK” zdecydowanie posiada wiele zastosowań, a korzyści wynikające z jej użytkowania znacząco odróżniają ją od tradycyjnych urządzeń. W rozdziale przedstawiono między innymi, że:

1. Popularyzacja wprowadzania technologii takich jak RFID jak i dostępność mikrokontrolerów bezpośrednio wpłynęła na liczbę narzędzi terapeutycznych pojawiających się w ostatnich latach.
2. Urządzenie przedstawione w rozdziale może zostać rozbudowane, a przez to dostosowane bezpośrednio do konkretnych przedziałów wiekowych.
3. Druk 3D oraz magnetyczne kontakty są cenione ze względu na szybkość produkcji, oszczędność kosztów, możliwość produkcji małych partii, możliwość tworzenia skomplikowanych kształtów, oszczędność materiałów, elastyczność i bezpieczeństwo. Są to więc istotne zalety, które należy brać pod uwagę przy wyborze technologii produkcyjnych do tworzenia urządzeń do nauki czytania.
4. Dzięki wykorzystaniu tanich rozwiązań urządzenie ma szansę stać się popularną pomocą dydaktyczną wykorzystywaną przez terapeutów oraz nauczycieli w całej Polsce. Rozwiązuje ono realne problemy z jakimi spotyka się wiele osób na początku swojej edukacji.

BIBLIOGRAFIA

1. Madeira, R., et. al.: “Designing personalized therapeutic serious games for a pervasive assistive environment”. IEEE 1st International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH), 2011, DOI:10.1109/segah.2011.6165465
2. Burke K.: “Pervasive Rehabilitation of Aphasia with an eXtensible Interactive System”, University of Limerick, Limerick 2007.
3. Jadán-Guerrero, et. al.: “Creating TUIs Using RFID Sensors—A Case Study Based on the Literacy Process of Children with Down Syndrome”. Sensors, 2015, 15(7), 14845–14863. DOI:10.3390/s150714845
4. Hengeveld, B., et. al.: “The Development of LinguaBytes: An Interactive Tangible Play and Learning System to Stimulate the Language Development of Toddlers with Multiple Disabilities. Advances in Human-Computer Interaction”, 2008, 1–13. DOI:10.1155/2008/381086

Rozdział 8

MODUŁOWE URZĄDZENIE TERAPEUTYCZNE Z FUNKCJĄ GRATYFIKACJI SYGNAŁEM DŹWIĘKOWYM - DISCOBULBULATOR

Julia Nowak¹, Martyna Kramarz², Małgorzata Muzalewska³

^{1,2} SKN Zastosowania Metod Sztucznej Inteligencji AI – METH, zespół Integral SENSO

³ Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn

8.1 Wstęp

Kilka ostatnich lat było wyzwaniem dla wszystkich, głównie w związku z pandemią COVID-19. Badania nad tym jak izolacja od społeczeństwa wpłynęła na psychikę dziecka są dalej przeprowadzane, nie mniej można zauważyć pogorszenie ich zdolności psychofizycznych w wielu obszarach życia. Konsekwencje izolacji wzmacniają dotychczasowe problemy związane z niepełnosprawnością, gdyż poprawny przebieg terapii w dotychczasowej formie został utrudniony. W grupach dzieci ze zróżnicowanych przedziałów wiekowych obserwuje się zaburzenia odbioru bodźców.

Sposobem na efektywną pomoc osobom z zaburzeniami integracji sensorycznej jest połączenie wieloletniej wiedzy terapeutów z nowoczesnymi technologiami. Takie połączenie daje możliwość projektowania pomocy edukacyjnych, które jednocześnie bazują na tych już istniejących, przy tym angażując pacjenta w nowy sposób. Jest to opis powstawania urządzenia wspomagającego terapię, będącego częścią rozwiązań z obszaru technologii asystujących (ang. *assistive technologies*, w skrócie AT), które są ciągle rozwijającą się klasą technologii. Obecne wiele rozwiązań jest jednak kosztownych i skomplikowanych, więc powstaje zapotrzebowanie na wyprodukowanie ich w tańszy i bardziej przystępny sposób.

Celem artykułu jest charakterystyka jednego z urządzeń terapeutycznych, zaprojektowanego w ramach projektu Integral SENSO Studenckiego Koła Naukowego Zastosowania Metod Sztucznej Inteligencji AI-METH. Dla realizacji tak postawionego celu przeprowadzono badania literaturowe w obszarze technologii asystujących (urządzeń terapeutycznych). W dalszej części artykułu omówiono założenia projektowe, konstrukcję i zastosowanie interaktywnego urządzenia terapeutycznego - DiscoBulbulatora.

8.2 Technologie asystujące w integracji sensorycznej i terapii motoryki małej

Pionierką teorii terapii sensorycznej była Jean Ayres, która w latach 70 zdefiniowała ją jako proces, dzięki któremu mózg otrzymuje informacje ze wszystkich zmysłów, segreguje je, rozpoznaje, przesiewa, a następnie integruje ze sobą oraz z wcześniejszymi doświadczeniami i odpowiada adekwatną reakcją na działające bodźce [1]. Zachodzi on podświadomie, a początki jego formowania zaczynają się jeszcze przed narodzeniem. Najintensywniejsza faza rozwoju sensoryki następuje do 7 roku życia i tworzy fundamenty dla edukacji oraz zachowań społecznych. Integracja sensoryczna sprawia, że osoba wie, że trzeba słuchać autorytetów takich jak nauczyciele czy przełożeni, a ignorować dystrakcje m.in. szумы i hałasy zewnętrzne.

Osoby posiadające problemy z integracją sensoryczną od najmłodszych lat mogą mieć również problemy w szkole, z powodu zbyt dużej ilości bodźców zewnętrznych takich jak światło, dźwięk czy dotyk. Z wiekiem problemy te mogą przekształcać się w schorzenia somatyczne lub psychomotoryczne [4]. Terapia sensoryczna ma za zadanie angażować różne zmysły pacjenta za pomocą zabaw z różnymi fakturami i dźwiękami. Odbywa się to w odpowiedniej, bezpiecznej sali często za pomocą zabaw edukacyjnych. W parze ze zmysłem dotyku idzie motoryka mała, którą określa się ruchy w niewielkim zakresie, głównie te dotyczące ruchów palców i dłoni. Dobrym obiektem do obserwacji rozwoju motoryki małej są niemowlęta, które z czasem są w stanie łapać coraz mniejsze, mniej wygodne do trzymania przedmioty. Największe znaczenie ma jednak jej rozwój na etapie od 3 do 5 roku życia [6]. Jest to okres, gdy zaczyna się wykształcać u dziecka precyzja i świadomość kolejnych ruchów. Po nim, jeśli

dziecko ma dalej problemy z utrzymaniem w ręce takich rzeczy jak np. długopisy, powinno zostać skierowane na terapię motoryki małej.

W terapii sensorycznej coraz częściej stosowane są różnego rodzaju technologie wspomagające. Termin technologie wspomagające jest terminem ogólnym, używanym dla każdego rozwiązania, elementu wyposażenia lub produktu, który jest wykorzystywany do zwiększania, zachowania lub poprawy możliwości funkcjonalnych osoby z niepełnosprawnością [3]. Zwykle pierwszym skojarzeniem, gdy myśli się o technologiach asystujących, są wózki inwalidzkie lub aparaty słuchowe lecz technologie asystujące to bardzo szeroki dział, który łączy zarówno urządzenia codziennego użytku, urządzenia wspomagające edukację jak i urządzenia terapeutyczne [8]. Jest wiele urządzeń obecnie wykorzystywanych w terapii sensorycznej i terapii motoryki małej. Dużą część stanowią obiekty do stymulacji przedsionkowej, proprioceptywnej i dotykowej, stymulujące zmysły w trakcie ruchu, min. huśtawka, deskorolka, równoważnia [7]. Są to powszechnie stosowane rozwiązania, lecz ciężko sprawić by skupiały one uwagę najmłodszych na tyle długo by ćwiczenie przyniosło wymarzony skutek. Jest to jeden z problemów, który starają się rozwiązać naukowcy pracujący nad technologiami asystującymi. W projektowanie sprzętu do terapii sensorycznej i motoryki małej powinni być zaangażowani doświadczeni terapeuci, gdyż to oni wiedzą jakie wymagania ma spełniać sprzęt by mógł być wykorzystany w terapii, i by z jego pomocą można było wywoływać właściwe reakcje adaptacyjne [5].

Należy jednak nadmienić, że pomimo tak dużego znaczenia i istniejącego zapotrzebowania, technologie asystujące są niedoinwestowane, a w związku z tym rozwijają się relatywnie wolno w stosunku do innych obszarów technologicznych. Większość urządzeń jest tworzonych pod zastosowania komercyjne: do domów prywatnych lub sali zabaw, a nie pod terapie specjalistyczne. W sytuacji, gdy powstają urządzenia, których zadaniem jest pomoc terapeutom, często nie mają, jak spełnić swojego zadania, gdyż ich koszt jest za wysoki dla przeciętnego ośrodka publicznego. Przez to trafiają głównie do ośrodków prywatnych, co działa na niekorzyść dzieci i młodzieży z klasy niższej i średniej.

Urządzenia wspomagające terapię sensoryczną pozwalają na prawidłową ocenę lateralizacji czy stopnia integracji bodźców i reakcji u dziecka. Ważne jest odpowiednie stymulowanie dziecka, by chciało podjąć wysiłek pracy nad pogłębianiem zaburzonych umiejętności – stąd sprzęt i pomoce do terapii przybierają często kształty zabawek zaprojektowanych w taki sposób, by zabawa nimi sprzyjała rozwijaniu konkretnych zdolności [2].

W odpowiedzi na wskazane problemy i wyzwania studenci Politechniki Śląskiej - członkowie koła Ai-METH projektu Integral SENSO podjęli prace nad urządzeniami, które wpisują się we wskazaną lukę. Jednym z takich urządzeń jest modułowe urządzenie terapeutyczne DiscoBulbulator.

8.3 DiscoBulbulator jako modułowe urządzenie terapeutyczne

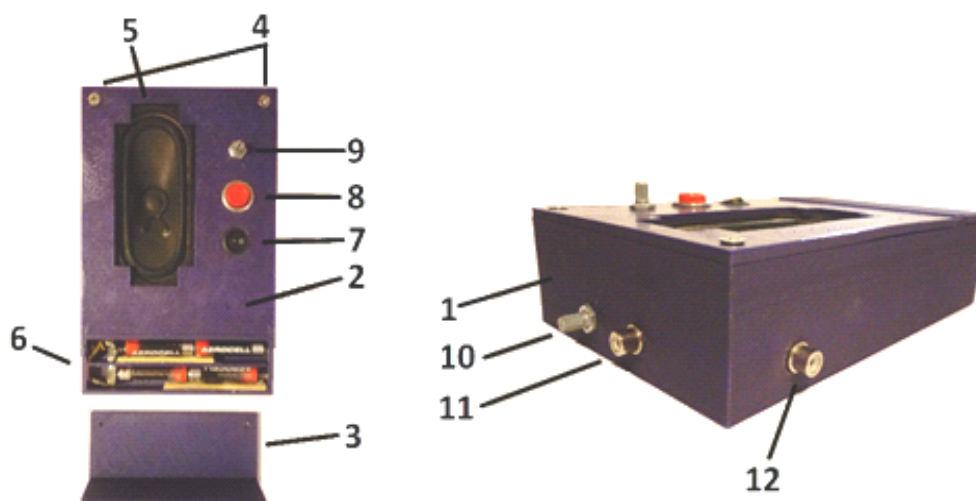
DiscoBulbulator to interaktywne urządzenie terapeutyczne przeznaczone do pracy z dziećmi i służące do stymulacji zmysłów w terapii sensorycznej. Jego głównym celem jest modyfikacja nieinteraktywnych części zajęć i ćwiczeń tak, aby stały się interaktywne. Dzięki urządzeniu zakres tematyki zajęć oraz ćwiczeń terapeutycznych zostaje poszerzony i uatrakcyjniony o elementy zabawy. Składa się to na jego najważniejszą cechę, czyli adaptacyjność do potrzeb użytkownika.

Główna baza urządzenia służy do emisji sygnału gratyfikującego, w tym wypadku sygnału dźwiękowego emitowanego przez wbudowany głośnik. Korzystanie z urządzenia polega na przyłączaniu do bazy modułów, przyłączy interaktywnych oraz wykorzystaniu akcesoriów. Każdy z modułów posiada funkcje rozszerzające, lecz główną funkcją pozostaje obsługa urządzenia za pośrednictwem przyłączy z końcówkami interaktywnymi. Podstawą działania urządzenia jest sygnał gratyfikacyjny - emitowany w momencie zamknięcia obwodu elektrycznego urządzenia.

DiscoBulbulator przedstawiono na rysunku 1, a jego elementy składowe wypisano poniżej:

1. Obudowa zewnętrzna;
2. Pokrywa główna;
3. Pokrywa koszyka na baterię;
4. Śruby montażowe;
5. Emiter sygnału dźwiękowego;
6. Zintegrowany koszyk na baterie;
7. Włącznik główny;
8. Przycisk włączenia trybu manualnego;
9. Potencjometr modyfikujący głośność sygnału dźwiękowego;

10. Potencjometr modyfikujący ton sygnału dźwiękowego;
11. Wejście IN;
12. Wejście OUT.



Rys. 8.1 DiscoBulbulator - Budowa urządzenia

Obudowa urządzenia została wyprodukowana za pomocą technologii generatywnej FDM (ang. *Fused Deposition Modeling - FDM*) z użyciem drukarki 3D Prusa i3 z polilaktydu (PLA). W niej zostały zamontowane wszystkie komponenty, a w tym układ elektroniczny. Głównym elementem układu jest chip Timer 555, a pozostałe części to podstawowe komponenty elektroniczne takie jak rezystory. Napięcie wejściowe na układ mieści się w zakresie od 5 do 15 V przy prądzie wejściowym równym od 3 do 6 mA, ponieważ urządzenie zasilane jest standardowymi bateriami AA.

Elementy elektroniczne urządzenia:

- układ scalony „Timer 555”,
- emiter sygnału dźwiękowego w postaci głośnika (A447SJ 3001-001092) o impedancji 8 oraz mocy znamionowej 10 W,
- kondensator ceramiczny 104 o wartości $0.1 \mu\text{F}$,
- kondensator elektrolityczny o wartości $47 \mu\text{F}$,
- rezystory o wartości 47, 1 k oraz 5,6 k,

- potencjometr o wartości 100 wykorzystywany do modulacji głośności dźwięku,
- potencjometr o wartości 50 k wykorzystywany do modulacji tonu dźwięku,
- źródło zasilania w postaci 4 baterii AA o łącznym napięciu 6 V,
- 2 złącza RCA (damskie).

Do wejścia 11 lub 12 przypinane są stylusy, które nadają urządzeniu różne funkcje. Przyłącza wykonano z przewodu, zakończonego końcówką interaktywną z jednej strony, a z drugiej złączem męskim RCA. Tym sposobem, po przyłączeniu dwóch wybranych przyłączy do urządzenia oraz bezpośrednim lub pośrednim zetknięciu ze sobą końcówek interaktywnych, umożliwiono zamknięcie obwodu elektrycznego urządzenia. Przykładowe stylusy pokazano na rysunku 2 i są to: końcówka z krokodylkiem, końcówka długopisowa, rybka oraz opaska interaktywna. Przyłączy z końcówką długopisową posiada funkcję wodzenia po ścieżkach wytworzonych z materiału przewodzącego. Aby to umożliwić wykorzystuje się przyłączy zakończone klamrą, mocowaną w punkcie kończącym/zaczynającym ścieżkę. Innym rodzajem jest przyłączy zakończone metalową rybką, sprawiającą, że po zanurzeniu w wodzie płyn spełnia funkcję otwartej ścieżki. Skonstruowano także model z opaską wykonaną z dzianiny przewodzącej, służącą do wspomagania terapii motoryki małej i wykorzystania dłoni jako części urządzenia. Jeśli część z dzianiną przewodzącą zostanie odpowiednio dociśnięta do nadgarstka dziecka, to dzięki przewodzeniu ciała ludzkiego w części kończyny od nadgarstka do palca, np. wskazującego, możliwe będzie wykorzystanie dłoni jako końcówki interaktywnej.

Wartość impedancji ciała człowieka jest kwestią indywidualną przez wzgląd na stan skóry danego człowieka. Należy wziąć pod uwagę cechy takie jak grubość, zrogowacenie czy zawilgocenie naskórka, temperaturę skóry oraz siłę docisku przewodnika do naskórka. Z racji bardzo niskich napięć i natężeń prądu (zasilanie stanowią baterie o łącznym maksymalnym napięciu 6 V, a przy oporności ciała ludzkiego natężenie maksymalnie wyniesie 6 mA) występujących na urządzeniu, zachowane zostaje bezpieczeństwo prądowe, a użytkownik może budować dzięki urządzeniu umiejętności z zakresu motoryki małej i terapii dłoni. Jedynym elementem urządzenia, przez które dziecko ma bezpośrednią styczność z układem elektronicznym urządzenia jest opaska, dlatego pomimo uzyskanych informacji o bezpieczeństwie prądowym, to od opiekuna dziecka zależy czy będzie on korzystał

z tej funkcji urządzenia. Wymaga się od użytkowników zachowania szczególnej ostrożności wedle przekazanych zaleceń bezpieczeństwa.



Rys. 8.2 Przykładowe stylusy

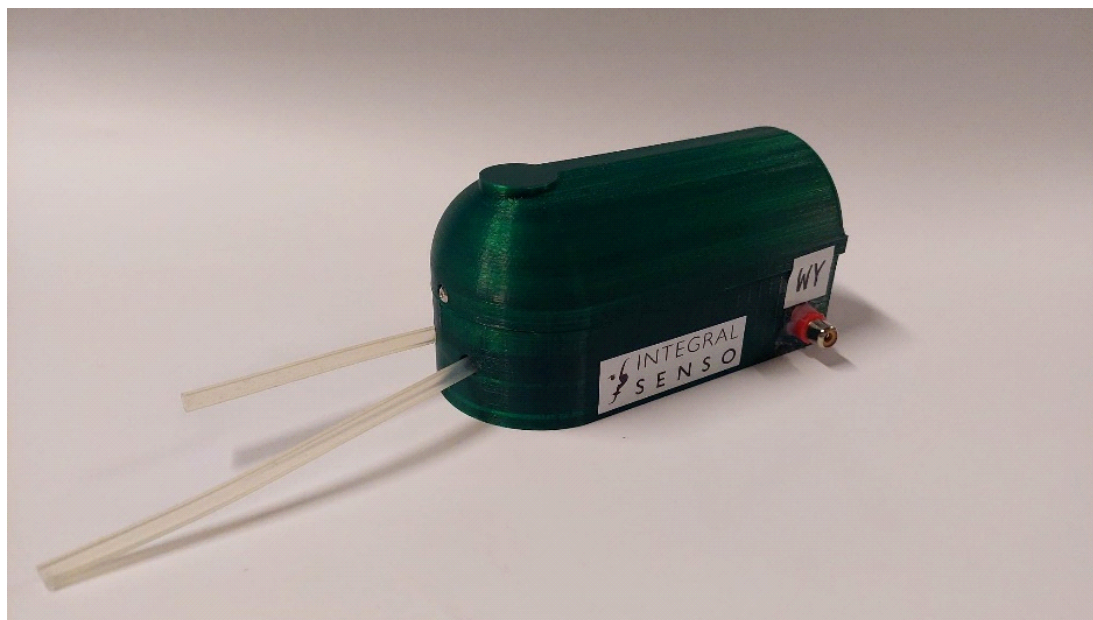
Akcesoriami wspierającymi pracę z urządzeniem są materiały przewodzące takie jak grafit z ołówka, woda czy samoprzylepna taśma aluminiowa. Dzięki nim wykonać można karty pracy, karty z obrazkami czy tablice z rysunkami. Na daną kartę można nanieść materiał przewodzący, dzięki czemu stanie się ona częścią ścieżki interaktywnej. Do urządzenia dołączyć także można moduły interaktywne. Podłączane poprzez złącza RCA do obydwu wejść urządzenia jednocześnie stają się atrakcyjnym rozszerzeniem i rozbudową urządzenia. Spośród modułów warto wymienić „Moduł Literki” pokazany na rysunku 3 oraz „Lateval” pokazany na rysunku 4.

Moduł Literki – sposób jego działania definiuje wykorzystanie kart z obrazkami i/lub napisami. Karty zostają umieszczone na dedykowanych podstawkach, a kolorowy przycisk monostabilny zostaje aktywowany czarnym przełącznikiem ON/OFF. Gdy użytkownik kliknie przycisk pod „aktywowanym” obrazkiem, urządzenie wyda dźwięk. Osoba przeprowadzająca ćwiczenie może aktywować więcej niż jeden przycisk, a na podstawkach można postawić również figurki lub drobne przedmioty.



Rys. 8.3 Moduł Literki

Lateval - moduł wspomagający terapię logopedyczną. Projekt został zgłoszony do Urzędu Patentowego Rzeczypospolitej Polskiej z nr P.441059 o tytule „Interaktywne urządzenie do rehabilitacji mięśni orofacjalnych, zwłaszcza do wzmacniania napięcia mięśniowego języka”. Zamknięcie językiem obwodu pneumatycznego wbudowanej pompy perystaltycznej za pośrednictwem szpatułki logopedycznej zwiększa natężenie prądu w układzie, co wykrywane jest przez wbudowany w urządzenie mikrokontroler Arduino UNO.



Rys. 8.4 Lateval, moduł neurologopedyczny

Jak można zauważyć obwód może być zamykany na różne sposoby, a w trakcie wybranych ćwiczeń poza samym urządzeniem w terapii mogą zostać wykorzystane przedmioty codziennego użytku.

8.4 Weryfikacja urządzenia

Aby potwierdzić efektywność i atrakcyjność urządzenia przeprowadzono szereg testów w zróżnicowanych warunkach: w trakcie zajęć terapeutycznych w Specjalnym Ośrodku Szkolno-Wychowawczym lub podczas wydarzeń kulturowo-naukowych, takich jak Noc Naukowców Politechniki Śląskiej oraz Śląski Festiwal Nauki, co przedstawiono na rysunku 5. Urządzenie, które było testowane przez osoby w różnym wieku, bardzo się podobało, zaciekało a nawet rozbawiło testujących, którzy chętnie wykonywali ćwiczenia terapeutyczne.

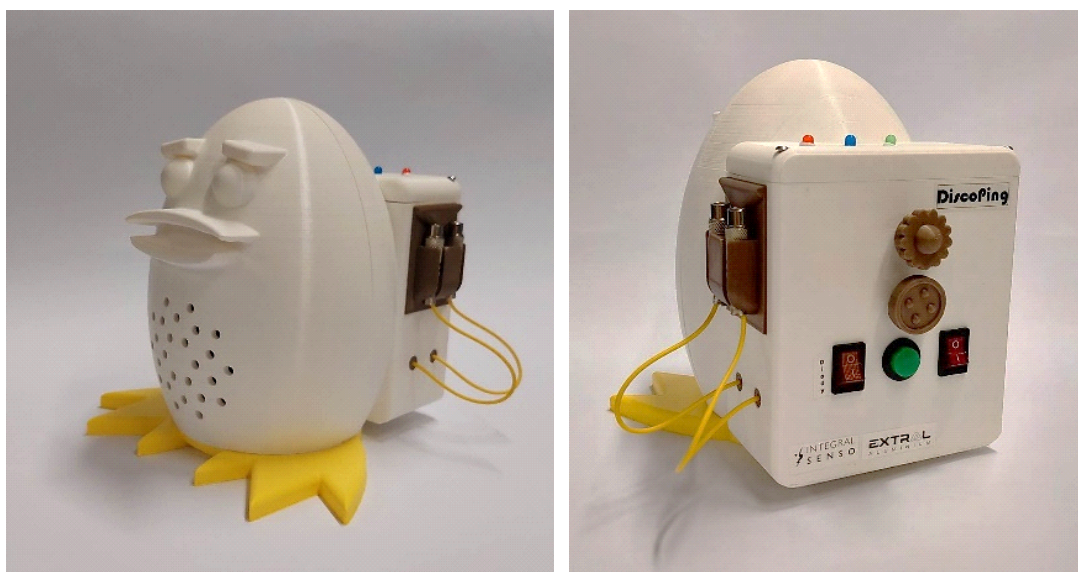
Dzięki uwagom uzyskanym w trakcie testów podjęto decyzję o utworzeniu kolejnej wersji urządzenia. W pierwszym etapie zaprojektowano i wykonano próbny pomniejszony model obudowy, który również skonsultowano z poszczególnymi testującymi, a następnie wykonano już właściwą, drugą wersję urządzenia.



Rys. 8.5 Testy przeprowadzone (od lewej): w SOSW, podczas Nocy Naukowców oraz podczas Śląskiego Festiwalu Nauki

Obudowa została zaprojektowana tak, aby przypominała wyglądem pingwina z plecaczkiem na plecach, co pokazano na rysunku 6. Tę wersję urządzenia nazwano „DiscoPing”. Układ elektroniczny znajdujący się we wnętrzu pingwina rozbudowano o emitery sygnału świetlnego – diody RGB, a także umożliwiono zasilanie zasilaczem impulsowym. Te usprawnienia, w połączeniu

z uatrakcyjnioną i bezpieczną obudową sprawiają, że wykorzystanie urządzenia staje się jeszcze bardziej efektywne.



Rys. 8.6 Nowa wersja DiscoBulbulatora - DiscoPing

W dalszym ciągu główną cechą wykonanego urządzenia jest modułowość, a co za tym idzie – możliwość dalszego rozwoju, chociażby poprzez wprowadzenie nowych, innowacyjnych modułów i przyłączy interaktywnych. Urządzenie pozwala osobie z niego korzystającej, samej wykonać przyłącza interaktywne lub też akcesoria. Stanowi to ogromną zaletę w środowisku, w którym urządzenia o zamkniętej funkcjonalności i ograniczonych możliwościach są przeszkodą w rozwoju terapii dziecka. Niecodzienny wygląd oraz unikatowe nazwy urządzeń okazują się być ich dodatkowym atutem, tym bardziej jeśli skierowane są do dzieci.

8.4 Podsumowanie

Nowe technologie, które zadziwiają nas swoimi możliwościami, jak i potencjałem, stanowią nieocenione narzędzie do wspomaganie funkcjonowania osób z niepełnosprawnością w wielu obszarach. Nie ulega wątpliwości, że technologie asystujące są ogromną szansą na doskonalenie pracy terapeutycznej z dziećmi niepełnosprawnymi. W artykule wskazano wymagania stawiane urządzeniom wspomagającym terapię sensoryczną i motoryki małej u dzieci.

Przedstawiony w artykule DiscoBulbulator, a także jego późniejsza wersja – DiscoPing, spełniają te założenia.

Urządzenia dalej są rozwijane i udoskonalane. DiscoBulbulator został przekazany już do Specjalnego Ośrodka Szkolno-Wychowawczego (SOSW) z Dąbrowy Górniczej, gdzie został zaakceptowany przez specjalistów i obecnie jest używany w terapii sensorycznej i motoryki małej wśród najmłodszych. Jest to jedno z wielu urządzeń aktualnie wykorzystywanych przez ten ośrodek, które zostało stworzone przez studentów Politechniki Śląskiej, należących do zespołu Integral SENSO koła naukowego AI-METH. Celem projektu jest wytworzenie bazy urządzeń interaktywnych wspierających terapie dzieci z niepełnosprawnościami, a DiscoBulbulator i DiscoPing niezaprzeczalnie stanowią cenną pozycję w tym zbiorze.

BIBLIOGRAFIA:

1. Ayres J.: Sensory integration and learning disorders. Western Psychological Services, Los Angeles 1986.
2. Ayres J.A.: Sensory integration and Child, Western Psychological Services, Los Angeles 1991.
3. Duplaga, M.: (2011). Znaczenie technologii wspomagających w życiu osób w starszym wieku. *Zdrowie Publiczne i Zarządzanie*, IX (1), 144–155.
4. Karga M.: Nieprawidłowa integracja sensoryczna jako składowa zaburzeń psychicznych występujących zarówno u dzieci, jak i młodzieży oraz dorosłych. „*Psychiatria*” nr 13, 2016.
5. Karen E.: Forgrave Assistive technology. Empowering students with learning disabilities *The Cleaning House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas* 2002.
6. Kordzińska - Grabowska A.: Motoryka mała. *Wychowanie w Przedszkolu* 26/2017.
7. Wenczyński B.: Zaburzenia integracji sensorycznej oraz ich oddziaływanie na rozwój dziecka w wieku przedszkolnym – w oparciu o teorię i praktykę pedagogiczną. *Krakowska Akademia im. Andrzeja Frycza Modrzejewskiego*, Kraków, 2019.
8. Zdrodowska M.: Technologia jako narzędzie społecznej dystynkcji. Nieoczywiste relacje techniki i niepełnosprawności, *Kultura Współczesna* 3/102/2018.

Rozdział 9

URZĄDZENIA WSPOMAGAJĄCE NAUKĘ ALFABETU BRAILLE’A

Szymon Hudziak¹, Kacper Jurasz², Zbigniew Sroczyński³, Małgorzata Muzalewska⁴

^{1,2,3} SKN Zastosowania Metod Sztucznej Inteligencji AI – METH, zespół Integral SENSO

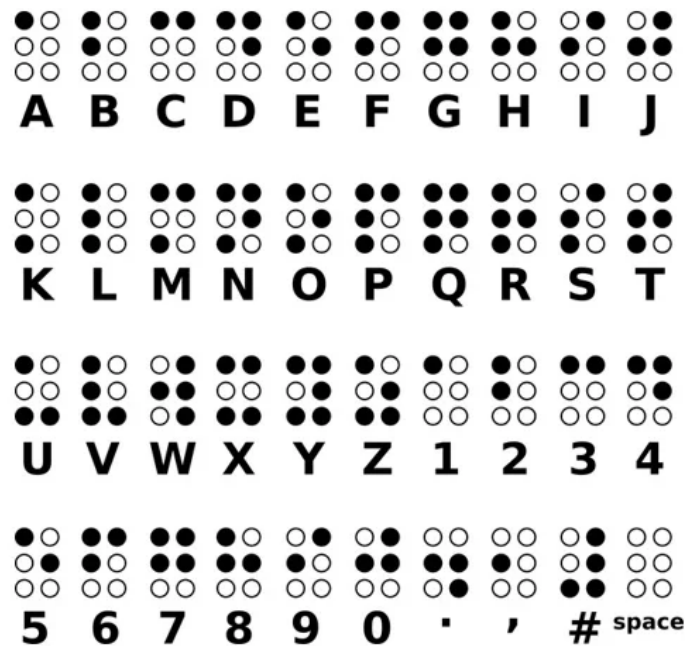
⁴ Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn

9.1. Wstęp

Celem jednego z zadań w projekcie Integral Senso było opracowanie innowacyjnych urządzeń, które umożliwią efektywną naukę alfabetu Braille'a. Projekt jest efektem współpracy Studenckiego Koła Naukowego AI-METH i Specjalnego Ośrodka Szkolno-Wychowawczego w Dąbrowie Górniczej, który zidentyfikował duże zapotrzebowanie na różnego rodzaju pomoce dydaktyczne i terapeutyczne dla osób z wadami wzroku oraz niewidomych.

W ośrodkach terapeutycznych występują obecnie duże braki w zapewnieniu niezbędnych środków i urządzeń do nauki alfabetu Braille’a – jest to główny czynnik, który wpłynął na podjęcie współpracy.

Alfabet Braille'a jest specjalnym alfabetem umożliwiającym czytanie za pomocą sześciopunktu będącego kombinacją sześciu płaskich oraz wypukłych punktów (których rozmiar i rozmieszczenie jest dokładnie określone normą ISO 17049:2013). Każdy sześciopunkt odpowiada dokładnie jednemu znakowi, którym może być np. litera lub cyfra. W celu zapisu dłuższej sekwencji znaków, konieczne jest umieszczenie wielu sześciopunktów obok siebie. Jest to szczególnie ważne dla osób niewidomych lub słabowidzących, które nie mogą korzystać z tradycyjnych metod odczytywania wyrazów. Na rysunku 9.1 przedstawiono część używanych znaków zapisanych za pomocą alfabetu Braille’a.



Rys. 9.1 Znaki zapisane alfabetem Braille'a [8]

Według Światowej Organizacji Zdrowia (WHO), za osobę niewidomą uznaje się osobę, której ostrość wzroku przy maksymalnej korekcji wynosi najwyżej 3/60 (osoba niewidoma z odległości 3 metrów widzi to co osoba zdrowa z odległości 60 metrów), pole widzenia jest zwięźone do maksymalnie 20 stopni lub całkowicie nie ma poczucia światła [5]. Osoby słabowidzące mają ostrość wzroku poniżej 6/18 lub pole widzenia mniejsze niż 30 stopni, co ogranicza ich zdolność do wykonywania codziennych czynności. Osoby ociemniałe są to osoby, które utraciły wzrok po 5 roku życia. Różnią się one od osób niewidomych tym, że posiadają pamięć wzrokową i wiedzą jak wyglądają elementy otoczenia [1]. Najczęstsze przyczyny utraty wzroku to zaćma oraz jaskra. Opracowanie skutecznego urządzenia do nauki alfabetu Braille'a jest bardzo istotne - może ono pomóc osobom z wadami wzroku lub niewidomym w codziennym funkcjonowaniu i umożliwić im samodzielność.

9.2. Przegląd istniejących rozwiązań

Wśród dostępnych rozwiązań można wyróżnić urządzenie wyświetlające znaki w alfabecie Braille'a wykorzystujące stopy metali z pamięcią kształtu. Urządzenie

to składa się z kilku modułów, gdzie jeden moduł zawiera pięć sześciopunktów, które są osadzone na sprężynie, połączone z drutem z pamięcią kształtu. Bolce umieszczone w sześciopunktach mogą wysuwać się i wsuwać w zależności od tego jakie znaki w alfabecie Braille'a chce wyświetlić użytkownik urządzenia. W momencie podgrzania drutu za pomocą prądu elektrycznego dochodzi do jego skurczenia. Powoduje to wciągnięcie bolca do wnętrza urządzenia i ściśnięcie sprężyny. W momencie ochłodzenia, materiał się rozszerza. Powoduje to ruch bolca na zewnątrz. Zaletą rozwiązania jest to, że oddziałuje na zmysł dotyku dziecka, który będzie zawsze wykorzystywany przy „czytaniu” tekstu zapisanego alfabetem Braille'a. Urządzenie służy jako dobra baza do nauki alfabetu dla niewidomych. Wadą urządzenia jest wysoki pobór prądu potrzebny do rozgrzania materiałów odkształcalnych [7]. Na rysunku 9.2 przedstawiono opisywane urządzenie.



Rys. 9.2 Urządzenie wykorzystujące materiał z pamięcią kształtu w trakcie użytkowania [7]

Kolejnym rozwiązaniem służącym do nauki alfabetu Braille'a są klocki brajlowskie. Elementy te mają postać prostopadłościanów, na których wytłoczone są znaki w alfabecie Braille'a. Do zalet takiego rozwiązania należy prostota produktu oraz szerokie zastosowanie. Dziecko może układać słowa w alfabecie Braille'a w zależności od przyjętej konfiguracji klocków. Produkt ten rozbudza kreatywność u dzieci lecz wytłoczone znaki często nie zachowują prawidłowych rozmiarów, przez co zaburzają odczyt osobie niewidomej [3]. Klocki brajlowskie zostały przedstawione na rysunku 9.3.



Rys. 9.3 Klocki brajlowskie [5]

Do nauki alfabetu Braille'a stosuje się również drukarki brajlowskie. Pozwalają one na wydrukowanie tekstu zapisanego alfabetem Braille'a. Użytkownik może wprowadzać tekst ręcznie na urządzeniu lub przesłać do niego przygotowany plik, a drukarka automatycznie przeprowadzi konwersję na alfabet Braille'a. Wadą tego urządzenia jest konieczność posiadania specjalnego papieru oraz jego duży koszt [2]. Przykładowa drukarka brajlowska znajduje się na rysunku 9.4.



Rys. 9.4 Drukarka brajlowska [2]

Popularnym sposobem nauczania alfabetu Braille'a jest także wykorzystywanie linijek brajlowskich nazywanych także monitorami brajlowskimi. Urządzenia te potrafią na raz wyświetlić nawet 80 znaków. Do wytwarzania brajlowskich sześciopunktów, wykorzystują one zjawisko odwrotnego efektu piezoelektrycznego. Ich największą wadą jest cena, przez co w ośrodkach zajmujących się nauką osób niewidomych występują niedobory tych urządzeń. Co więcej, wyświetlanie dużej liczby znaków może utrudniać naukę na początkowym etapie poprzez utrudnianie odczytu [6]. Na rysunku 9.5 przedstawiono przykład monitora brajlowskiego.



Rys. 9.5 Przykład monitora brajlowskiego [4]

9.3. Opracowanie urządzeń do nauki alfabetu Braille'a

Zespół projektowy Integral Senso, odpowiedzialny za opracowanie nowych pomocy naukowych, podjął decyzję o skonstruowaniu dwóch urządzeń mających wspomóc nauczanie alfabetu Braille'a. Pierwszym z nich jest urządzenie opierające swoje działanie na fizycznym wytwarzaniu sześciopunktu poprzez odpowiednie wysuwanie i chowanie bolców. Natomiast drugie z nich wykorzystuje diody do wyświetlania brajlowskich znaków w sposób wizualny, co umożliwia łatwiejszą naukę osobom tracącym wzrok.

W celu skonstruowania omawianych urządzeń, przygotowano listę założeń do spełnienia:

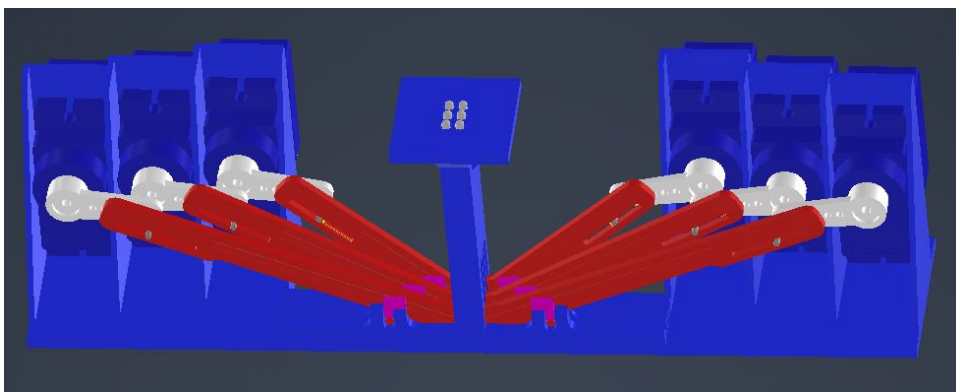
- bezprzewodowość,
- minimalizacja wymiarów oraz wagi,
- minimalizacja ceny,
- obsługa za pomocą aplikacji mobilnej,
- możliwość wprowadzania liter, słów, zdań oraz liczb,
- wyświetlanie jednego sześciopunktu w danym momencie.

Realizacja urządzenia z fizycznym sześciopunktem

Pierwsze skonstruowane urządzenie umożliwia odczyt brajlowskich znaków z fizycznego sześciopunktu umieszczonego w centralnej części urządzenia.

Wypukłe oraz płaskie elementy sześciopunktu są wytwarzane za pomocą liniowego ruchu bolców umieszczonych w środku mechanizmu. Do wprowadzenia bolców we właściwy ruch, wykorzystywane są serwomechanizmy mikro. Urządzenie jest obsługiwane za pomocą aplikacji mobilnej i umożliwia wprowadzanie dowolnie długiej sekwencji znaków przeznaczonych do konwersji na alfabet Braille'a. W danym momencie urządzenie pokazuje tylko jeden znak w formie brajlowskiego sześciopunktu. W celu zmiany znaku na następny lub poprzedni we wprowadzonej sekwencji, należy użyć przycisków umieszczonych na urządzeniu. Zadaniem tego urządzenia jest poprawienie jakości nauczania alfabetu Braille'a osób niewidomych.

W celu opracowania dokładnej postaci mechanizmu poruszającego bolcami, wykonano model CAD przy użyciu programu Autodesk Inventor. W modelu tym bolce zostały umieszczone w specjalnych cylindrach w centralnej części mechanizmu. Serwomechanizmy mikro zostały osadzone w nieruchomej podstawie w niewielkim oddaleniu od sześciopunktu. Do połączenia ich z bolcami zastosowano dźwignie o różnej długości, tak aby możliwe było umieszczenie trzech serwomechanizmów blisko siebie. Ruch serwomechanizmów powoduje ruch dźwigni i w konsekwencji wysunięcie bolców ponad płaską powierzchnię znajdującą się w centralnej części mechanizmu. Ze względu na wymaganą precyzję mechanizmu, konieczne było wytworzenie go za pomocą druku 3D technologią SLA. Model zaprojektowanego mechanizmu został przedstawiony na rysunku 9.6.



Rys. 9.6 Model opracowanego mechanizmu tworzącego sześciopunkt

Do działania, urządzenie wykorzystuje mikrokontroler Raspberry Pi Pico, zaprogramowany w języku Python. Aby umożliwić zdalną obsługę urządzenia, umieszczono w nim moduł Bluetooth. Dodatkowo urządzenie wykorzystuje także sterownik serwomechanizmów PCA9685 w celu zapewnienia bezpiecznej obsługi

sześciu mikro serwomechanizmów. Urządzenie posiada własne zasilanie w postaci 6 baterii AA, dzięki czemu możliwe jest używanie go w dowolnym miejscu, bez potrzeby podłączania go do sieci elektrycznej. Co więcej, dodane zostały także dwa przyciski wykorzystywane do obsługi urządzenia, czyli zmiany aktualnie wyświetlanego znaku na następny lub poprzedni oraz osobny włącznik. Wnętrze urządzenia zostało przedstawione na rysunku 9.7.



Rys. 9.7 Wnętrze opracowanego urządzenia

Wszystkie komponenty urządzenia zostały umieszczone w obudowie w kształcie prostopadłościanu o wymiarach 200x170x62 mm. Obudowa składa się z dwóch części, czyli głównego korpusu oraz płaskiej pokrywy połączonej z nim za pomocą śrub M3. Takie rozwiązanie umożliwia łatwe dostanie się do wnętrza urządzenia w celu wymiany zasilania lub naprawy usterki. Obudowa została wykonana z PLA za pomocą druku 3D technologią FDM. Masa urządzenia wynosi 620 g. Gotowe urządzenie zostało przedstawione na rysunku 9.8.



Rys. 9.8 Zewnętrzna postać opracowanego urządzenia

Do obsługi urządzenia wymagana jest obecność dwóch osób. Pierwsza osoba, przy użyciu aplikacji mobilnej, łączy się z urządzeniem poprzez Bluetooth i wprowadza wybrane znaki. Następnie są one przesyłane do urządzenia, które konwertuje otrzymane dane na informacje o tym w jaki sposób ma poruszyć serwomechanizmami. Dzięki temu na sześciopunkcie pokazywany jest pierwszy wprowadzony znak. W celu przejścia do pokazywania kolejnego lub poprzedniego znaku, należy użyć umieszczonych na urządzeniu przycisków. Zadaniem drugiej osoby jest odczytywanie znaków pojawiających się na urządzeniu.

Realizacja urządzenia z wyświetlanym sześciopunktem

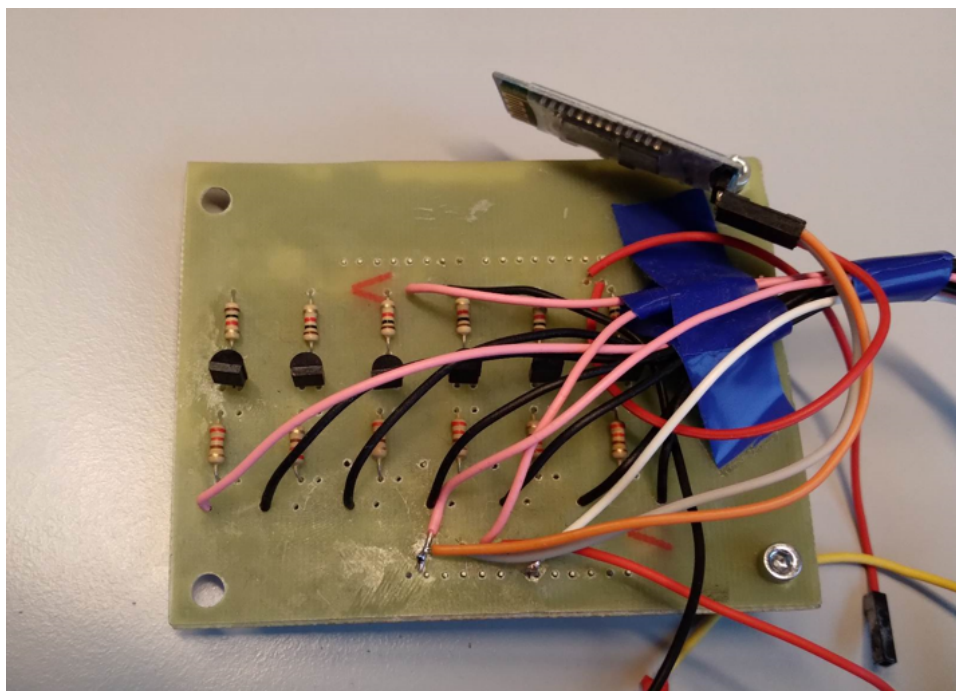
Budowa urządzenia:

Jako drugie, wykonano urządzenie do nauki alfabetu Braille'a dla osób niedowidzących oraz tracących wzrok. Urządzenie składa się z sześciu diod, które zapalają się w odpowiedniej konfiguracji według alfabetu Braille'a. Słowa, które chcemy wyświetlić na urządzeniu przesyłamy przez telefon za pomocą aplikacji łączącej się z urządzeniem poprzez Bluetooth. Urządzenie posiada pokrętło (potencjometr) do zmiany jasności świecenia diod oraz przycisk służący do wyświetlenia kolejnych liter przesłanego słowa. Gotowy układ może być zasilany z wewnętrznego zasilania bateryjnego lub przez zewnętrzne źródło zasilania przez przewód USB.

W celu wykonania urządzenia, w pierwszej kolejności należało napisać program sterujący działaniem płytki rozwojowej Arduino. Program był odpowiedzialny za odbieranie danych z modułu Bluetooth oraz odpowiednie sterowanie diodami i wykrywanie położenia pokrętła i przycisku.

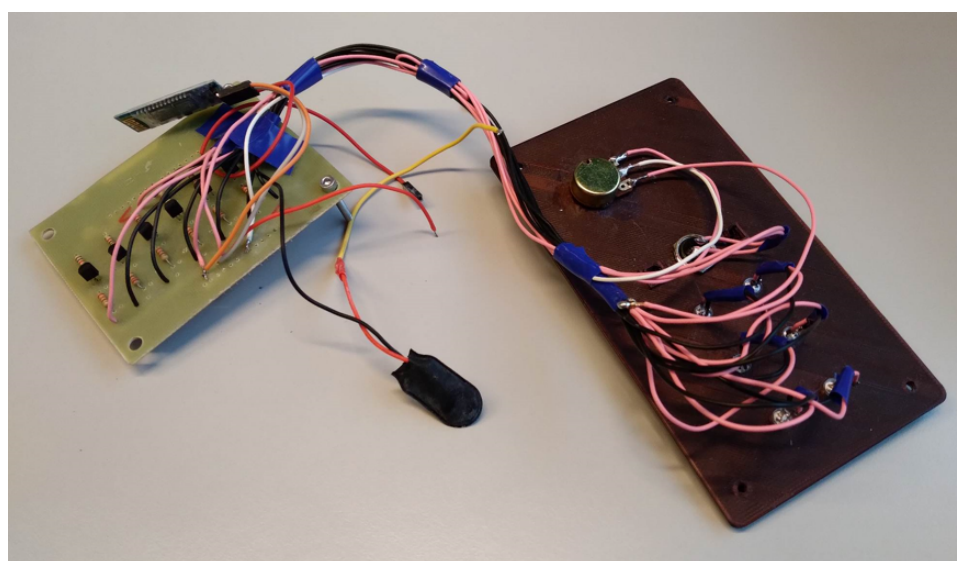
W następnej kolejności wykonano płytkę PCB, na której znajdowała się m.in. część związana ze sterowaniem diodami oraz zasilaniem. Do urządzenia dołączono wewnętrzne zasilanie bateryjne oraz port USB umożliwiający podłączenie dodatkowego zasilania.

W dalszym etapie prac projektowych wykonano obudowę urządzenia złożoną z dwóch części. Zostały one wytworzone na drukarce 3D. Na rysunku 9.9 przedstawiono przygotowaną płytkę PCB razem z modułem Bluetooth.



Rys. 9.9 Wykonana płytki PCB i moduł Bluetooth

Bezpośrednio do płytki PCB podpięto Arduino Uno za pomocą złączy szpilkowych (tzw. goldpinów). Część przewodów była wyprowadzona do wiezka obudowy. Były to przewody pośredniczące w sterowaniu diod oraz odbieraniu informacji analogowych z potencjometru i cyfrowych z przycisku (przycisk wciśnięty/nie wciśnięty). Wykorzystano potencjometr 10kOhm i przycisk monostabilny, moduł Bluetooth HC05. Większość opisanych elementów widnieje na rysunku nr 9.10.



Rys. 9.10 Płytki PCB wraz z Arduino, połączona z wiezkiem urządzenia

Na rysunku 9.11 przedstawiona została dolna część obudowy, wytworzona za pomocą druku 3D technologią FDM.



Rys. 9.11 Spód obudowy

W dalszej kolejności płytkę PCB umieszczono na spodzie obudowy. Płytkę zabezpieczono tulejami dystansowymi i śrubami przed niepotrzebnym przemieszczaniem się w obudowie. Całość przykryto wieczkiem obudowy i przykręcono śrubami obie części obudowy.

Gotowe urządzenie:

Finalna postać urządzenia w trakcie działania została przedstawiona na rysunku 9.12.



Rys. 9.12 Gotowe i działające urządzenie

Weryfikacja:

Po skonstruowaniu i wytworzeniu oba urządzenia zostały poddane dwuetapowej weryfikacji. W pierwszej części zostały one przetestowane w warunkach laboratoryjnych w celu sprawdzenia zdolności łączenia się przez Bluetooth oraz przesyłania znaków. Skontrolowano także, czy wszystkie znaki są wyświetlane poprawnie oraz czy urządzenia nie są podatne na uszkodzenia mechaniczne.

W następnym etapie, urządzenia zostały przekazane Specjalnemu Ośrodkowi Szkolno-Wychowawczemu w Dąbrowie Górniczej w celu przeprowadzenia testów w warunkach rzeczywistej nauki. Urządzenia zostały sprawdzone przez specjalistów z ośrodka i wyrazili oni na ich temat pozytywne opinie. Potwierdza to, że opracowane urządzenia mogą służyć jako skuteczna pomoc edukacyjna podczas nauczania alfabetu Braille'a.

Przykładowe testy urządzeń przeprowadzone w ośrodku zostały przedstawione na rysunku 9.13.



Rys. 9.13 Wytworzone urządzenia w trakcie testów

9.4. Podsumowanie

W ramach przeprowadzonego projektu dokonano przeglądu literatury oraz rynku w celu określenia obecnie stosowanych urządzeń służących do nauki alfabetu Braille'a. W tym celu przeprowadzono także konsultacje ze specjalistami ze Specjalnego Ośrodka Szkolno-Wychowawczego w Dąbrowie Górniczej. Badania te pomogły określić wady obecnie stosowanych rozwiązań oraz poznać potrzeby osób zajmujących się nauką alfabetu Braille'a.

Zespołowi projektowemu udało się skonstruować dwa urządzenia służące do nauki alfabetu Braille'a. Jedno z urządzeń wykorzystuje diody w celu wyświetlania sześciopunktu i nauczania osób tracących wzrok. Drugie urządzenie wykorzystuje bolce poruszane przez mikro serwomechanizmy do wytwarzania rzeczywistego sześciopunktu, możliwego do odczytania za pomocą zmysłu dotyku, co umożliwi naukę osobom niewidomym.

Urządzenia zostały poddane podwójnej weryfikacji. W ramach pierwszej części sprawdzono poprawność ich działania oraz wytrzymałość w warunkach laboratoryjnych. Po pomyślnym zakończeniu tych testów, zostały one przekazane do Specjalnego Ośrodka Szkolno-Wychowawczego w Dąbrowie Górniczej w celu sprawdzenia ich w warunkach rzeczywistej nauki. Odzew ze strony ośrodka był pozytywny i potwierdzono skuteczność urządzeń w usprawnieniu nauki alfabetu Braille'a

Dzięki wsparciu specjalistów z ośrodka, urządzenia są cały czas rozwijane oraz udoskonalane tak, aby jak najlepiej spełniały swoją funkcję i przyczyniały się do jeszcze większej efektywności nauki.

BIBLIOGRAFIA

1. Definicje dotyczące wad wzroku <https://pzn.org.pl/niewidomy-ociemniały-slabowidzacy-tracacy-wzrok-definicje-roznice/> (Dostęp dnia: 10.01.2023)
2. Drukarka brajlowska [https://www.harpo.com.pl/zakupy/sprzet-dla-niewidomych-i-slabowidzacych/drukarki-i-maszyny-brajlowskie/\(10.01.2023\)](https://www.harpo.com.pl/zakupy/sprzet-dla-niewidomych-i-slabowidzacych/drukarki-i-maszyny-brajlowskie/(10.01.2023))
3. Klocki brajlowskie <https://www.aspomoceterapeutyczne.pl/produkt/zabawka-sensoryczna-klocki-do-nauki-jezyka-braille/> (Dostęp dnia: 10.01.2023)
4. Monitor brajlowski <https://lumen.pl/p/23/368/qbraille-xl-notatniki-i-monitory-sprzet-brajlowski-oferta.html> (Dostęp dnia: 29.01.2023)
5. Naipal, Shivani & Rampersad, Nishanee. A review of visual impairment. *African Vision and Eye Health*, 2018.
6. Runyan N.H., Carpi F.: Seeking the ‘holy Braille’ display: might electromechanically active polymers be the solution?, *Expert Review of Medical Devices*, vol. 8, no. 5, p.529-532. 2011
7. Singhal A., Jain P., Chanana P., Jain D., Paul R., Balakrishnan M., Rao P. V. M.: *Application of Shape Memory Alloy (SMA) Based Actuation for Refreshable Display of Braille*, 2013
8. Znaki zapisane alfabetem Braille’a <https://www.symbole.pl/alfabet-braillea/> (Dostęp dnia: 14.02.2023)

Rozdział 10

GONDOLA POMIAROWA DO BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH

Szymon Kozyra¹, Remigiusz Machula², Dominik Czempas³, Kacper Konieczko⁴, Paweł Patyński⁵, Filip Andrysiak⁶, Wojciech Skarka⁷

¹⁻⁶ SKN Modelowania Konstrukcji Maszyn

⁷ Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn

10.1. Abstrakt

Opisana gondola pomiarowa stanowi osłonę dla aparatury pomiarowej oraz sterowniczej bezzałogowego statku powietrznego. Została zaprojektowana przez grupę studentów na potrzebę demonstratora BSP Twin Stratos 17 o nieograniczonej długości lotu. Głównymi założeniami jej opracowania były więc jak największa opływowość oraz funkcjonalność w zastosowaniu do tego drona. Optymalna geometria gondoli została uzyskana za pomocą metody modelowania powierzchniowego w programie Siemens NX. Finalnie wybrana koncepcja w pełni realizowała stawiane jej wymagania aerodynamiczne, które zweryfikowane zostały przy użyciu programu XFLR5.

W skład projektu wchodził również projekt struktury nośnej elementu w postaci żebra oraz projekt „wąsa” który odpowiada za amortyzację uderzenia podczas lądowania. Wewnątrz gondoli została zapewniona odpowiednia przestrzeń, która jest w stanie pomieścić sterownik oraz aparaturę pomiarową. Napotkane problemy stanowiły głównie informacje specyficzne dla inżynierii lotniczej. Z pomocą w tych problemach mogliśmy liczyć na pomoc opiekunów, posiadających duże doświadczenie w tym polu.

10.2. Wprowadzenie

W ramach projektu badawczego pt.: “Long-Endurance UAV for assessing atmospheric pollution profiles”, realizowanym przez konsorcjum Firmy SkyTech Elab, Politechniki Śląskiej, Uniwersytetu Warszawskiego oraz Instytutu NORCE z Norwegii opracowano dokumentację rodziny Bezzałogowych Statków Powietrznych (BSP). W ramach projektu studenckiego realizowanego w ramach formuły PBL przez członków SKN Modelowania Konstrukcji Maszyn zrealizowane zostało zaprojektowanie gondoli pomiarowej dla członka tej rodziny – drona Twin Stratos 17, która osłania zestaw zmiennych podukładów awioniczno-pomiarowych, a także umożliwia rekonfigurację tego zestawu. Gondola pomiarowa jest zintegrowana z TS 17 przez jej instalację pod centropłatem. Projekt gondoli będzie realizowany w dwóch podstawowych konfiguracjach geometrycznych (kształtach).

Ograniczenia, które muszą być przestrzegane w trakcie projektowania to minimalizacja oporów aerodynamicznych i masy, łatwość dostępu do urządzeń, uwzględnienie wymagań umiejscowienia aparatury pomiarowej, położenie środka masy, łatwość wytworzenia oraz integracja płozy podwozia. Uwzględnienie tych wymagań wymaga wzięcia pod uwagę multidyscyplinarnych kryteriów takich jak m.in. aerodynamika, struktura i wytrzymałość konstrukcji, zasilanie i wymagania elektrotechniczne.

10.3. Wybór materiału oraz metody do wykonania gondoli

Jako iż kompozyty o matrycy polimerowej są szeroko stosowane w lotnictwie, wspólną decyzją uznaliśmy, że gondola zostanie wykonana z laminatu włókna szklanego, we wcześniej przygotowanej do tego formie. Technologia formowania z uwagi na względnie łatwy przebieg procesu oraz dostępność sprzętu będzie technologia worka próżniowego. Ta technologia wymaga, aby forma zachowała sztywność w trakcie formowania próżniowego. Popularnymi

technologiami wykonania takiej formy jest wykonanie jej na frezarce CNC lub wykorzystanie druku 3D. Zdecydowaliśmy się na druk 3D z uwagi na dostępne dla nas narzędzia oraz łatwość prototypowania. Kolejnym ważnym elementem jest materiał formy, w tym wypadku użyjemy filamentu ABS. Przy użyciu ABS uzyskamy odpowiednie parametry wytrzymałościowe, które pozwolą poprawnie przeprowadzić proces formowania próżniowego. Alternatywą, która będzie wymagała mniejszego nakładu pracy i technologii, przy zachowaniu jej właściwości mechanicznych, jest wydrukowanie gondoli w 3D. Ten sposób omija krok wykonania formy, pozwalając na szybsze prototypowanie.

10.4. Rezultaty

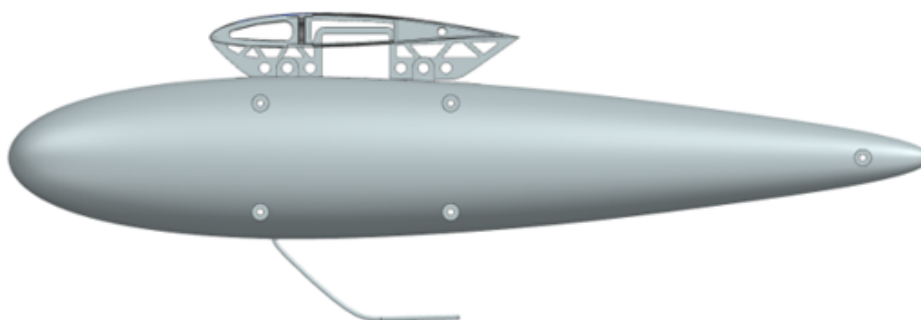
Kolejnym krokiem w procesie projektowania było określenie kształtu gondoli. Mając na uwadze jej docelowe zastosowanie, najlepszą metodą było modelowanie powierzchniowe w środowisku CAD, w tym wypadku Siemens NX. Pierwsza koncepcja (rys. 1) została odrzucona, ze względu na wyniki współczynnika oporu w symulacji.



Rys. 10.1 Przedstawienie pierwszej koncepcji gondoli pomiarowej

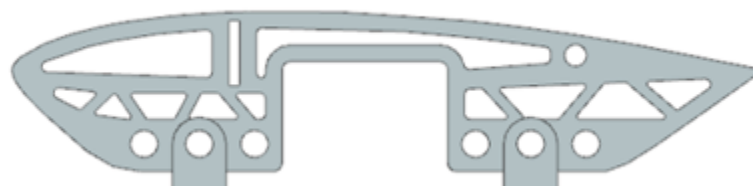
Bazując na tych doświadczeniach, postanowiliśmy zoptymalizować kształt korzystając z profilu lotniczego, który pobraliśmy ze strony airfoiltools.com. Tam wybraliśmy profil GOE 776, który pozwolił nam zachować więcej przestrzeni w środkowej części, dla osłony zestawu pomiarowego, przy jednoczesnym zachowaniu ogólnego kształtu kropli wody. Po drobnych modyfikacjach byliśmy w stanie utworzyć koncepcję projektu, która spełniała krytyczne wymagania, a współczynnik oporu zmalał ponad dziesięciokrotnie. Umieszczenie jej w złożeniu

razem z wycinkiem centropłatu oraz pozostałymi elementami gondoli pozwoliło na wykonanie poniższego modelu (rys.2).



Rys. 10.2 Graficzne przedstawienie modelu złożenia gondoli pomiarowej

Przedstawia on gondolę pomiarową wraz z żebrem (rys.3), dzięki któremu było możliwe zamocowanie sterownika do skrzydła bezzałogowego statku powietrznego oraz wąsem (rys.4), którego zadaniem jest kompensacja energii w momencie lądowania jak i ochrona samej gondoli. Gondola pomiarowa została wykonana za pomocą technologii druku 3D przy zastosowaniu materiału ABS.



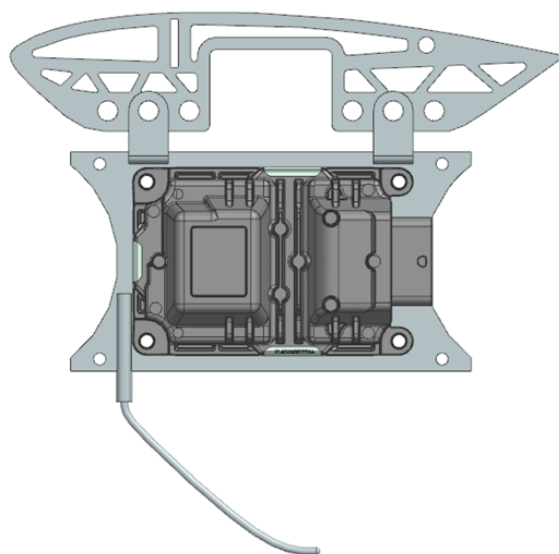
Rys. 10.3 Graficzne przedstawienie modelu żebra



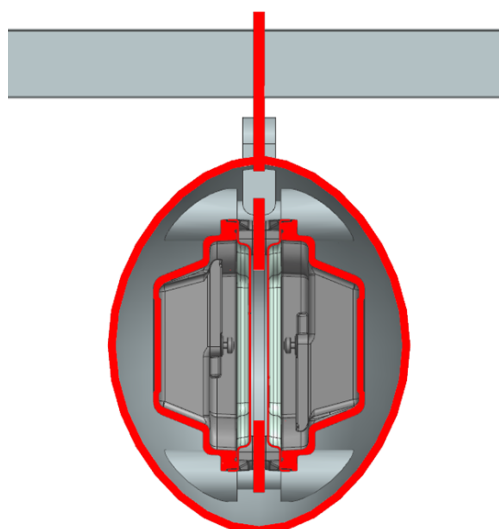
Rys. 10.4 Graficzne przedstawienie modelu „wąsa”

Gondola jest złożona z dwóch połówek, będących lustrzanym odbiciem. Jest to zabieg, który ułatwia jej demontaż oraz zmiany w zestawie pomiarowym, gdy gondola jest zamocowana do BSP. Połówki są ze sobą połączone śrubami i

nakrętkami, a specjalne tuleje umożliwiają schowanie ich tak, aby nie pogarszały aerodynamiki. Na poniższych rysunkach (rys.5 oraz rys.6) przedstawione zostały przekroje gondoli pomiarowej wraz ze sterownikiem, wężem oraz żebrami. Sterownik został przykręcony do płytki montażowej za pomocą śrub oraz nakrętek. Następnie całość w ten sam sposób została zamocowana do żebra. Wąż, pochłaniający energię w momencie lądowania, został wkręcony do tuleji wciskowej.



Rys. 10.5 Rzut z boku na wewnętrzne komponenty gondoli pomiarowej

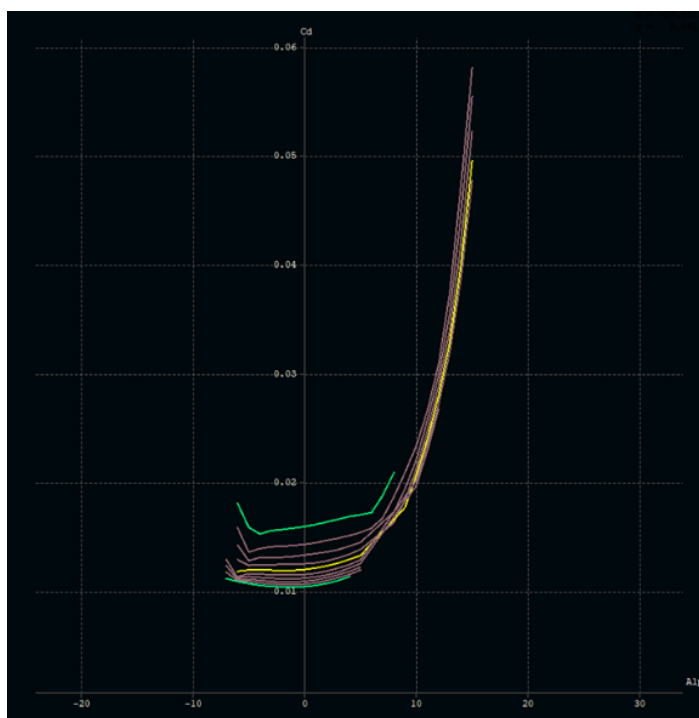


Rys. 10.6 Przekrój od frontu gondoli pomiarowej

10.5. Dyskusja

Geometria gondoli jest oparta na odpowiednio przeskalowanym profilu lotniczym GOE 776. Do wyznaczenia charakterystyk aerodynamicznych na przekrojach modeli użyto oprogramowania XFLR5. Z wyżej wymienionych analiz wyciągnięto następujące wnioski:

- Współczynnik oporu gondoli jest porównywalny do zaimplementowanych już wcześniej w przemyśle lotniczym modeli.
- Po wykonaniu analizy położenia komponentów w złożeniu udało się w optymalny sposób umieścić w gondoli urządzenia pomiarowe.
- Poczynione zostały także kroki w kierunku jak największej redukcji masy komponentów (np. centralny otwór w żebrze, optymalna grubość ścian i żebra, dobranie odpowiednich materiałów).



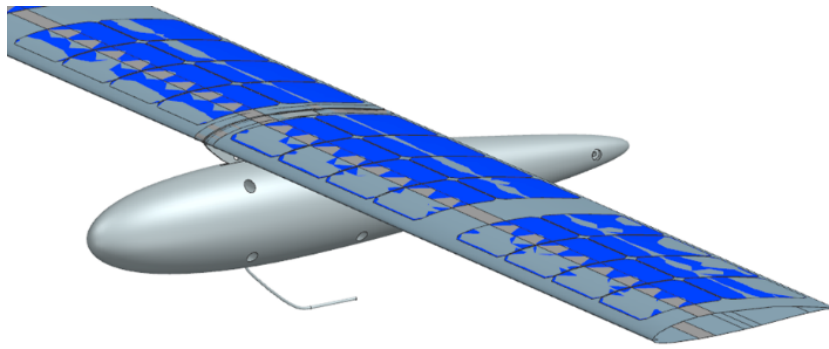
Rys. 10.7 Wykres zależności współczynnika oporu od kąta padania wiatru względem gondoli pomiarowej

Po zaprojektowaniu gondoli pomiarowej, przyszedł czas na wyznaczenie charakterystyk aerodynamicznych. Wyznaczając liczbę Reynoldsa, określając

zakres prędkości lotu i lepkości powietrza mogliśmy skupić się na wyznaczeniu charakterystyk aerodynamicznych (rys. 7).

10.6. Podsumowanie i wnioski

Założenia projektu zostały spełnione, wszyscy członkowie zespołu wynieśli nową wiedzę i doświadczenie z procesu projektowania obu gondoli. Projekt wymagał efektywnej pracy zespołowej i wzajemnej wymiany wiedzy i informacji. Napotkane przez nas problemy stanowiły głównie informacje specyficzne dla inżynierii lotniczej, z którą nie mieliśmy wcześniej do czynienia. Z tymi problemami mogliśmy liczyć na pomoc opiekunów. Zastosowanie metody modelowania powierzchniowego pozwoliło uzyskać optymalną geometrię, z zastosowaniem profilu lotniczego. Końcowy kształt był przystosowany zarówno do druku 3D, jak i frezowania. Następnie, przy użyciu programu XFLR5 zweryfikowaliśmy konstrukcję pod względem zachowywania się w warunkach użytkowych, szczególnie dla BSP typu HALE, operujących na dużych wysokościach, dzięki analizie aerodynamicznej i kontroli współczynnika oporu. W trakcie prac optymalizacyjnych nad gondolą udało się znacznie zredukować zarówno siłę oporu poprzez minimalizację przekroju poprzecznego oraz minimalizację współczynnika oporu. Należy zwrócić uwagę, że uzyskano korzystną charakterystykę dla współczynnika oporu, gdzie dla zakresu do 10° w stosunku do kierunku lotu wartość współczynnika oporu utrzymuje się na bardzo niskim poziomie, dopiero poza tym zakresem następuje wzrost tego współczynnika. Innymi słowy gondola niezależnie od podmuchów wiatru i stanu lotu stawia nieduży opór około dziesięciokrotnie mniejszy od pierwszej wyjściowej wersji gondoli.



Rys. 10.8 Model gondoli wraz ze skrzydłem

BIBLIOGRAFIA

1. Przychodniak, M., 2020. Jaki wybrać materiał do druku 3D? [online] Centrum Druku 3D | usługi druku 3D, drukarki 3D, wiedza i informacja. Available at: <https://centrumdruku3d.pl/jaki-wybrac-material-do-druku-3d/> [Accessed 14 April 2022].
2. Jerzy Szczuka, Jan Żurowski: Materiałoznawstwo przemysłu drzewnego. Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, 1995. ISBN 83-02-05326-0.
3. Airfoil Tools · Search for airfoils available on the web or in online databases. Available at: <http://airfoiltools.com/search/index>

Rozdział 11

STANOWISKO BADAWCZE SYMULATORA LOTNICZEGO

Michał Sujkowski¹, Michał Macha², Maciej Sikorski³, Wojciech Skarka⁴, Paulina Zenowicz⁴, Kamil Zenowicz⁴

^{1,2,3} SKN AEROSPACE ENGINEERING

⁴ Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn

11.1. Wstęp

Symulacja, w tym symulacja lotów, w dzisiejszych czasach notuje niezwykle dynamiczny rozwój spowodowany postępem technologicznym, a także zwiększonym zapotrzebowaniem na ich zastosowanie [1]. Początek symulacji lotniczych miał swój początek już w latach 30' XIX w. Ich pionierem był Ed Link, którego firma produkowała urządzenie „Link Trainer”, które można uznać za początki urządzeń przeznaczonych do szkolenia pilotów [2]. W dzisiejszych czasach symulatory coraz wierniej odwzorowują rzeczywistość. Do ich dynamicznego i ciągłego rozwoju oraz modernizacji w znacznym stopniu przyczynia się wojsko, których narzędzia muszą nadążać za coraz to nowszymi samolotami i systemami wprowadzanymi do armii.

Rodzaje symulatorów

Lotnictwo jest dziedziną najprężniej wykorzystującą symulację w procesie szkolenia [3]. Aby całościowo pokryć potrzeby rynku, istnieje wiele różnych rodzajów symulatorów. Ich podstawowe różnice definiuje nie tylko wykorzystanie odpowiednich systemów sterowania lotem, ale również czynniki jak stopień odzwierciedlenia kokpitu, zaawansowania symulacji obrazu, fizyki lotu, systemów nawigacyjnych, czy chociażby ruch całej platformy do symulacji [4]. Ich stopień zaawansowania zależy od potrzeby danego symulatora, bowiem

zupełnie inny będzie wykorzystany do zastosowań rekreacyjnych, a inny do szkolenia pilotów zawodowych.

Do czego są wykorzystywane

Symulatory lotnicze pełnią znaczną funkcję w procesie szkolenia zarówno personelu naziemnego, jak i pilotów. Ich użycie pozwala na bezpośrednie zwiększenie bezpieczeństwa lotów pasażerskich, jak i lotów szkolnych [5]. Odpowiednio dostosowane symulatory, pozwalają na bardzo obszerne zastosowanie. Dzięki nim, bez stwarzania zagrożenia dla bezpieczeństwa operacji lotniczej symulować można niebezpieczne sytuacje, którym pilot powinien sprostać w razie nieprzewidzianego zdarzenia w locie. Szeroki zakres zastosowania potwierdza również fakt możliwości stosowania zaawansowanych symulatorów np. do szkolenia pilotów w akrobacji lotniczej [6].

Należy jednak wskazać, że symulatory lotnicze służą nie tylko celom szkoleniowym. Doskonale znane są amatorskie symulatory do implementacji nawet w środowisku domowym. Rozbudowane i niezwykle zaawansowane symulatory w formie gry, umożliwiają zapoznanie ludzi niezwiązanych wcześniej z danym aspektem lotniczym z zasadą lotu poszczególnego rodzaju statku powietrznego. Wśród pilotów szybowcowych bardzo popularny jest amatorski symulator szybowcowy Condor [7], który pozwala doskonalić swoje umiejętności taktyczne nawet poza sezonem lotniczym. Loty szybowcowe wymagają bowiem umiejętności odpowiedniego przewidywania warunków atmosferycznych na trasie. Ta umiejętność odpowiedniego wykorzystania sił natury jest elementem determinującym zrealizowania założonego przelotu, wynoszącego nawet setki kilometrów [8].

11.2. Dane techniczne stanowiska badawczego

W związku z założeniem koła naukowego SKN Aerospace Engineering, rozwojem polskiego przemysłu lotniczego oraz szkoleniu przyszłych pokoleń pilotów, postanowiono zbudować symulator lotów o szerokich możliwościach zastosowania. Do realizacji projektu potrzebne było oprzyrządowanie umożliwiające wykonywanie lotów zarówno nowicjuszom, jak i dające podstawowe możliwości bardziej zaawansowanych zdarzeń pilotom.

Zdecydowano się na zakup trzech monitorów wysokiej rozdzielczości i fotela ze specjalnie wyprofilowanym otworem, w miejscu którego można zamontować podstawę pod wolant. Dodatkowym udogodnieniem jest miejsce z boku fotela, na którym zaplanowano umieszczenie przepustnicy.

Zastosowano oprogramowanie Microsoft Flight Simulator zainstalowano na komputerze dostosowanym pod potrzeby symulacji. Wyposażony jest on w wydajną kartę graficzną NVIDIA GeForce RTX 3070, która we współpracy z 32 GB pamięci ram jest w stanie generować wysokiej jakości obraz (daje możliwość tworzenia wirtualnych oświetleń oraz cieni). Całość konfiguracji sprzętowej uzupełnia nowoczesny procesor Intel Core i7-2700F i dysk SSD o pojemności 2 TB, wspomagany przez dysk HDD o pojemności również 2TB. Umożliwia to odbiór doświadczenia bez spadku płynności wyświetlania ruchomych obrazów. Dobór konfiguracji pozwala na ograniczenie negatywnego wpływu na immersję odbiorcy. Windows 10 Pro stanowi system operacyjny komputera.

Dokładne specyfikacje wybranych podzespołów:

Symulatory lotnicze pełnią znaczną funkcję w procesie szkolenia zarówno

- Monitor i mocowanie – Odpowiedni rozmiar umożliwiając zestawienie ze sobą monitorów na jednym mocowaniu by utworzyć jak najbliższe skojarzenie z realną kabiną pilota oraz odpowiednio wysoką jakość obrazu przy jednoczesnej płynności.

Tab. 11.11 Specyfikacja monitora

Monitor LCD 31,5"-32 UHD 4K
Producent i model: Iiyama XB3288UHSU
Wymagane parametry
Przekątna ekranu: 31,5"-32"
Rozdzielczość ekranu: 3840x2160 (UHD 4K)
Format ekranu: 16:9
Częstotliwość odświeżania: min. 60 Hz
Jasność: min. 250 cd/m²
Kąt widzenia w pionie/poziomie: min. 160 stopni
Kontrast statyczny: min. 1000:1
Złącza: wymagane DisplayPort, HDMI
Dodatkowo: <ul style="list-style-type: none"> - Instrukcja w języku polskim w formie papierowej lub na elektronicznym nośniku danych, - Oznaczenie zgodności CE - Możliwość regulacji wysokości

- Komputer – musi pozwalać na płynne korzystanie z oprogramowania oraz umożliwić aktualizację oprogramowania do coraz to nowszych wersji z wyższymi wymaganiami sprzętowymi. Sprzęt opisany poniżej zawiera podzespoły umożliwiające na korzystanie z najnowszych wersji oprogramowania przez lata.

Tab. 11.2 Specyfikacja komputera

Producent i model iCOD PC S4/2 W10Pro	
Wymagane parametry	Parametry techniczne charakteryzujące konkretne oferowane urządzenie
Procesor 64 bit z własnością wirtualizacji sprzętowej (VT), o wydajności obliczeniowej wg PassMark – CPU Mark nie mniejszej niż 31100 pkt. Minimum 8 rdzeni, minimum 16 wątków	Intel Core i7-12700F
Płyta główna: złącze wewnętrzne minimum 1x PCI-E 4.0 x16, złącze wewnętrzne minimum 4x SATA 6GB/s, złącze wewnętrzne minimum 1x M.2 SLOT PCIe 3.0 x4, złącze wewnętrzne minimum 4x DIMM obsługujące pamięci opisane w ww. Specyfikacji złącze zewnętrzne minimum 1x LAN	Gigabyte B660M DS3H Intel B660 Express
Pamięć: minimum 32 GB	32GB
Grafika: zgodna z minimum DX12, minimum PCIE 4.0 x16, PassMark, G3D Rating minimum 21000 pkt.	NVIDIA GeForce RTX 3070
Dysk HDD: 2TB SATA	
Dysk SSD: 1x 2000 GB	
Audio: zintegrowane na płycie głównej	
Napęd optyczny: DVD	
Wyposażenie: mysz optyczna USB, klawiatura USB	
Złącza: USB, HDMI	
Zasilacz: 80 PLUS Gold 750W	
System operacyjny: Microsoft Windows 10 PRO	

- Wolant – stanowi wyposażenie samolotów marki Boeing. Jego funkcją jest sterowanie wysokością jak i lotkami statku powietrznego.
- Przepustnica – element, który pozwala nam na regulację odpowiedniej ilości powietrza, które trafia do silnika. Dzięki niej pilot jest w stanie odpowiednio dopasować prędkość lotu.



Rys. 11.1 Opisywane stanowisko symulacyjne. Źródło: Wykonanie własne

11.3. Oprogramowanie – Microsoft Flight Simulator

Zadaniem symulatora lotów jest jak najwierniej odwzorować sytuację za sterami statku powietrznego. Dla wydawców gier komputerowych stanowi to nie lada wyzwanie. Postawione jest przed nimi zadanie spełnienia oczekiwań zarówno hobbystów symulatorów jak i doświadczonych pilotów. Obecnie rynek oferuje różne oprogramowania. Różnią się one między innymi: stopniem odwzorowania fizyki lotu, mechaniką gry, grafiką, stopniem rozbudowania zadań użytkownika, czy możliwościami modyfikowania parametrów lotu. W naszym przypadku, najodpowiedniejszym doбором okazał się Microsoft Simulator X. Jest to oprogramowanie, które swój debiut miało w 2006 roku. Symulator ten, cieszy się dużą popularnością na całym świecie - stanowią o tym liczne recenzje. Oprogramowanie umożliwia szereg opcji począwszy od wykonywania prostych zadań, kończąc na trybie wieloosobowym. Wybór oprogramowania stanowił wyzwanie. Jako że posiadamy dostęp do szerokiego zaplecza sprzętu (tj. Wolant, przepustnica, joystick) musieliśmy dobrać oprogramowanie, które byłoby z nim kompatybilne. MSX jest jednym z najbardziej rozbudowanych oraz dopracowanych symulatorów lotu.

W przypadku chęci zakupu oprogramowania ważne jest uprzednie sprawdzenie wymagań podstawowych symulatora. Za pomocą danych, dostępnych na stronie producenta Flight Simulator X.

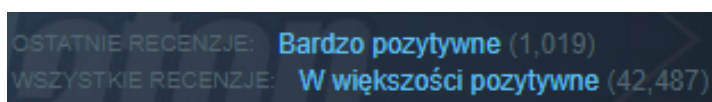
Minimalne wymagania techniczne oprogramowania Microsoft Flight Simulator zostały przedstawione w tabeli 11.3.

Tab. 11.3 Wymagania Microsoft Flight Simulator

Wymagania minimalne:
Procesor: Intel Core i5-4460 lub AMD Ryzen 3 1200
Karta graficzna: GeForce GTX 770 lub Radeon RX 570
Pamięć: 8 GB RAM
Dysk: 150 GB wolnego miejsca
System operacyjny: Windows 10 (1909)
Połączenie sieciowe: powyżej 5 Mb/s
Wymagania zalecane:
Procesor: Intel Core i5-8400 lub AMD Ryzen 5 1500X
Karta graficzna: GeForce GTX 970 lub Radeon RX 590
Pamięć: 16 GB RAM
Dysk: 150 GB wolnego miejsca
System operacyjny: Windows 10 (1909)
Połączenie sieciowe: powyżej 20 Mb/s
Wymagania ultra:
Procesor: Intel Core i7-9800X lub AMD Ryzen 7 Pro 2700X
Karta graficzna: GeForce RTX 2080 lub Radeon VII
Pamięć: 32 GB RAM
Dysk: 150 GB wolnego miejsca (SSD)
System operacyjny: Windows 10 (1909)
Połączenie sieciowe: powyżej 50 Mb/s

Wybór oprogramowania

Oprogramowanie zostało wybrane na podstawie szerokich możliwości oraz pozytywnych opinii użytkowników. Na platformie Steam Microsoft Flight Simulator zgromadził dotychczas ponad 42 000 opinii z czego 78% jest pozytywnych:



Rys. 11.2 Opinie użytkowników programu. Źródło: store.steampowered.com

Program Microsoft Flight Simulator daje użytkownikowi szerokie możliwości. Istnieje szeroka gama wyboru statków powietrznych, a co więcej społeczność graczy ma na bieżąco możliwość tworzenia kolejnych modeli, które są możliwe do bezpłatnego pobrania na stronie internetowej simvation.com. Program ten posiada również proste wprowadzenie, które zapoznaje osobę korzystającą z oprogramowania z podstawami sterowania i nawigowania po interfejsie.

11.4. Podsumowanie i wnioski

Dzięki możliwościom, które zostały nam zaoferowane przez Politechnikę Śląską, możemy się rozwijać, a jednocześnie czerpać z tego przyjemność. Symulator lotu Microsoft Flight Simulator 2020 jednocześnie nas kształci, pokazuje nowe możliwości, uczy zachowania w różnych sytuacjach, jak i sprawia satysfakcję z kolejnych postępów.

Podczas odbywania lotu na symulatorze początkujący jak i bardziej doświadczeni, znajdą dla siebie odpowiednie wyzwania związane ze sterowaniem statkami powietrznymi

Dostępne podzespoły służące do sterowania są odzwierciedleniem faktycznego oprzyrządowania statku powietrznego, które możemy zaobserwować np. w samolotach pasażerskich typu Boeing 737.

W odczuciu naszym, jak i wielu graczy, MS2020 oferuje wysoki realizm oraz bardzo dobrze odwzorowuje prawdziwe warunki podczas lotu. Rozbudowana fizyka gry pozwala nam zmierzyć się z prawdziwymi wyzwaniami, które stoją przed pilotem tj. Turbulencje, niedogodne warunki atmosferyczne, ograniczona widoczność czy praktykę w lądowaniu na najbardziej wymagających lądowiskach świata.

Dużym atutem jest tryb wieloosobowy gry, który pozwala nam na wspólną radość gry wraz z innymi użytkownikami, a tym samym wymianę doświadczeń. Poza trybem wieloosobowym, mamy również dostęp do kampanii na trybie jednoosobowym. Stoimy przed wieloma misjami oraz wyzwaniami, których powodzenie zależy tylko i wyłącznie od naszych umiejętności.

Program dokładnie odzwierciedla rzeźbę terenu całej kuli ziemskiej co umożliwia zapoznanie się z trudnościami napotykanymi przez pilotów w różnych zakątkach świata szczególnie przy wymagających portach lotniczych.

Przewiduje się intensywne prace rozwojowe stanowiska symulatora lotniczego w dwóch kierunkach. Pierwszy dotyczy opracowania metodyki i przykładów

integracji do symulatora własnych nowoprojektowanych Bezzałogowych Statków Powietrznych. Drugi kierunek obejmuje rozbudowę sprzętową stanowiska umożliwiającą intensywne testowanie sprzętowe budowanych BSP poprzez symulacje HiL. W ramach tego ostatniego projektowane jest i budowane stanowisko platformy Stewarta-Gougha. Obie prace rozwojowe powinny być zrealizowane jeszcze w tym roku.

BIBLIOGRAFIA

1. Szczepański C.: „Symulatory lotu śmigłowców”, Prace Instytutu Lotnictwa 1998.
2. Page R. L.: "Brief History of Flight Simulation", Computer Science, 2004.
3. Bogusz D.: „Symulatory i trenażery lotnicze w szkoleniu pilotów wojskowych w Polsce”, Lotnicza Akademia Wojskowa, 2022.
4. D. Allerton: "Principles of Flight Simulation", John Wiley & Sons Ltd, West Sussex 2009.
5. Kozuba J.: „Czynnik ludzki - rola symulatora lotniczego w szkoleniu lotniczym”; Logistyka, 2011.
6. Nykaza A., Merkisz J., „WYKORZYSTANIE SYMULATORÓW LOTNICZYCH FFS W PROCESIE SZKOLENIA PILOTÓW AKROBACYJNYCH”; Bezpieczeństwo I Ekologia, 2017.
7. Internet: <https://www.condorsoaring.com>; [dostęp: 12.01.2023].
8. Reddy G., Wong-Ng J., Celani A., Sejnowski T. J., Vergassola M.: „Glider soaring via reinforcement learning in the field”; Nature, 2018.