

Politechnika Śląska  
Wydział Mechaniczny Technologiczny  
Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn

Redakcja pracy zbiorowej  
Marek Wyleżoł

**PRZEGLĄD  
OSIĄGNIĘĆ  
DYDAKTYCZNYCH  
DYPLOMANTÓW  
I PROMOTORÓW**

**Tom 1**

**Gliwice 2022**

### *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 dydaktycznych dyplomantów i promotorów, Tom I}, publisher = {Politechnika Śląska, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn}, year = {2022, author = {Wyleżoł, M. (red.)}, volume = {154}, series = {Zeszyty Naukowe}, address = {Gliwice}}
```

**ISBN 978-83-60759-29-5**

### *Wydawca*

Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn

Wydział Mechaniczny Technologiczny

Politechnika Śląska

ul. Konarskiego 18a

44-100 Gliwice

Tel. (32) 237-14-67

<https://kpkkm.polsl.pl>

## Spis treści

Wyleżoł M.: Wprowadzenie.....	5
Farys B., John-Banach M.: Projekt protezy kończyny dolnej.....	7
Grała A., Bzymek A.: Metody etykietyzacji obiektów na obrazach.....	25
Jaksik Ł., Ciupke K.: Konstrukcja urządzenia umożliwiającego dostęp do szafek wiszących osobom niepełnosprawnym ruchowo.....	41
Kiersnowski I., John-Banach M.: Projekt protezy kończyny dolnej dla dziecka.....	51
Krawczyk A., Cholewa A.: Robot jako mobilna apteka.....	71
Lubos J., Wyleżoł M.: Digitalizacja elementu wyposażenia wnętrza historycznego pojazdu przedprodukcyjnego.....	83
Łazarz N., Chrzanowski P.: Wirtualne stanowisko dydaktyczne manipulatora 3-osiowego.....	91
Niwiński P., Januszka M.: Wyświetlacz systemu poszerzonej rzeczywistości dedykowany dla służb medycznych.....	111
Puchała I., Januszka M.: Zdalnie sterowane roboty do zastosowania w e-sporcie.....	127
Stępień I., Cholewa A.: Robot współpracujący w zrobotyzowanym stanowisku testowym.....	139



# Wprowadzenie

Jednym z głównych zadań realizowanych przez nauczycieli akademickich w ramach kształcenia i wychowywania studentów jest sprawowanie opieki nad dyplomantami wykonującymi projekty inżynierskie (pierwszy stopień studiów) oraz prace przejściowe i prace dyplomowe magisterskie (drugi stopień studiów).

Dobra współpraca pomiędzy Dyplomantem a Promotorem jest warunkiem koniecznym do osiągnięcia sukcesu, w postaci pozytywnych obron inżynierskich bądź magisterskich. Dyplomant, wykorzystując wiedzę nabytą podczas studiów – wykonuje pracę kończącą dany stopień studiów i jest jej jedynym autorem. Natomiast Promotor – wykorzystując własną wiedzę i doświadczenie – często formułuje temat oraz zakres zadaniowy danej pracy, a później sprawuje nadzór nad działaniami Dyplomanta, tak aby uzyskany rezultat był jak najlepszy.

Efekty wspomnianej współpracy często doprowadzają 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.

Dla Dyplomanta osiągnięciem dydaktycznym jest dobrze napisana i obroniona praca kończąca dany stopień studiów. Dla Promotora osiągnięciem dydaktycznym jest doprowadzenie Dyplomanta do udanej obrony. Tak więc, wychodząc naprzeciw możliwości jak najlepszego wykorzystania tak rozumianych osiągnięć dydaktycznych - rozpoczynamy serię Zeszytów Naukowych poświęconych wybitnym pracom inżynierskim oraz magisterskim, które zostały obronione w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn. Każdy z rozdziałów Zeszytu powstał na podstawie napisanej pracy inżynierskiej lub magisterskiej. Niniejszy Zeszyt Naukowy jest pierwszym tomem z tej serii.

Marek Wyleżoł



# Rozdział 1

## PROJEKT PROTEZY KOŃCZYNY DOLNEJ

Farys Bartosz<sup>1</sup>, John-Banach Małgorzata<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, bartfar1997@gmail.com

<sup>2</sup>Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, malgorzata.john-banach@polsl.pl

### 1.1. Wstęp

Niniejszy artykuł powstał na podstawie projektu magisterskiego mojego autorstwa pt. „Projekt protezy kończyny dolnej”, prowadzonego na Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Śląskiej w Katedrze Podstaw Konstrukcji, którego promotorem była Pani dr. inż. Małgorzata John-Banach. Celem pracy magisterskiej było przybliżenie zagadnień związanych z biomechaniką chodu, budową kończyny dolnej człowieka oraz rodzajami, elementami składowymi protezy podudzia, ponadto w części projektowej opracowanie trzech koncepcji, przeprowadzenie analizy wielokryterialnej, a następnie zaprojektowanie oraz wykonanie analizy wytrzymałościowej protezy podudzia do codziennego użytku.

Głównymi założeniami konstrukcyjnymi było wykorzystanie technologii fotogrametrii oraz druku 3D do wykonania spersonalizowanego leja protezowego oraz innych elementów, zastosowanie podciśnieniowego systemu mocowania kikuta w leju, zaprojektowanie dynamicznej stopy protezowej z wymiennym, amortyzującym, drukowanym 3D klinem piętowym. Podczas projektowania protezy zwrócono również uwagę na wygodę użytkowania poprzez zastosowanie dodatkowych części amortyzujących kostkę oraz regulujących wysokość protezy. Jednym z najważniejszych kryteriów było również obniżenie kosztów

wytworzenia produktu, tak aby jego cena nie przekroczyła maksymalnej kwoty dofinansowania przez NFZ oraz PFRON, które wynosi ok. 17 500 zł [1].

W poniższych podrozdziałach został opisany proces wykonania skanu, wykonanie modelu 3D kikuta podudzia oraz protezy w programie NX12, a następnie przedstawienie kosztorysu wytworzenia produktu.

## 1.2. Utworzenie modelu 3D kikuta

Pierwszym krokiem podczas projektowania protezy podudzia, a w szczególności leja protezowego było wykonanie modelu kikuta pacjenta. W tym celu zdecydowano się na wykorzystanie fotogrametrii cyfrowej, co docelowo doprowadziło do utworzenia trójwymiarowej reprezentacji kikuta pacjenta. Z powodu, że projekt magisterski był realizowany w czasie obostrzeń związanych z pandemią Covid-19, zdecydowano się na realizację projektu na teoretycznie zamodelowanym kikucie – zgodnie z powszechnie stosowanymi w protetyce oraz medycynie kształtami oraz długościami amputowanej kończyny. Natomiast ze względu na łatwość wykonania skanu 3D, późniejszych pomiarów oraz projektowania protezy, zdecydowano, że wirtualna amputacja zostanie przeprowadzona na modelu nogi autora pracy.

Proces tworzenia modelu kikuta został przeprowadzony w dwóch głównych etapach – najpierw wykonanie modelu fotogrametrycznego nogi autora w programie Autodesk Recap Photo, a następnie zasymulowanie na w/w modelu amputacji oraz kształtu kikuta w środowisku NX12.

Poniżej opisano przebieg procesu wykonania modelu fotogrametrycznego: W celu wykonania modelu nogi wykonano łącznie 96 fotografii w wysokiej rozdzielczości:

- Fotografie wykonano aparatem: Panasonic Lumix FZ 1000 w rozdzielczości 4K, wykonując 3 okrążenia wokół sylwetki autora (zmieniając punkt ustawienia aparatu) zachowując stałą odległość od fotografowanego obiektu. Kadry przedstawiono na Rys. 1.1;
- Fotografie zostały wykonane na boisku, w południe, przy pochmurnym niebie w celu zapewnienia równomiernego oświetlenia, bez zacienionych fragmentów obiektu. Wykonanie zdjęć na zewnątrz, w różnicowanym



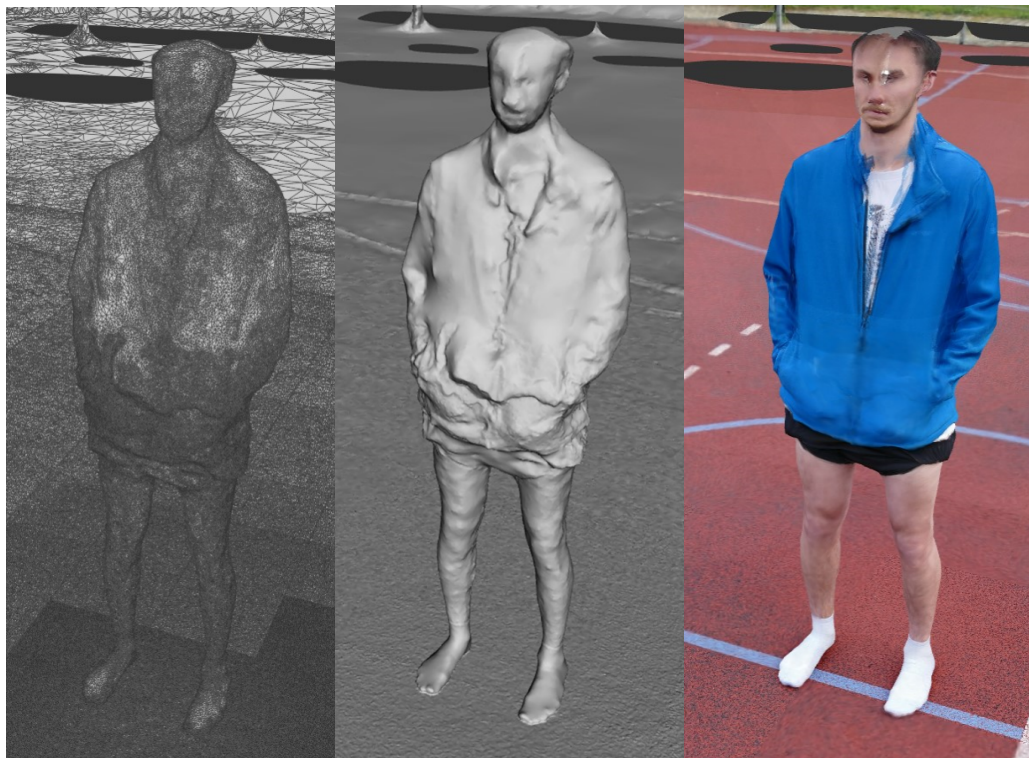
terenie, zwiększa dokładność interpretacji położenia poszczególnych punktów na różnych fotografiach przez oprogramowanie, co poprawia jakość otrzymanego modelu fotogrametrycznego;

- Wykonując zdjęcia skupiono się głównie na uchwyceniu dolnej części ciała, lecz dla uzyskania lepszej jakości modelu, jedna seria zdjęć obejmowała całą sylwetkę ciała, po to, aby uzyskać zamknięty model siatki trójkątów – we wcześniejszych próbach wykonania modelu fotogrametrycznego jedynie pojedynczej kończyny, oprogramowanie miało problem ze zidentyfikowaniem granic modelu.



Rys. 1.1 Przedstawienie trzech różnych kątów ustawienia aparatu, z których były wykonywane serie fotografii

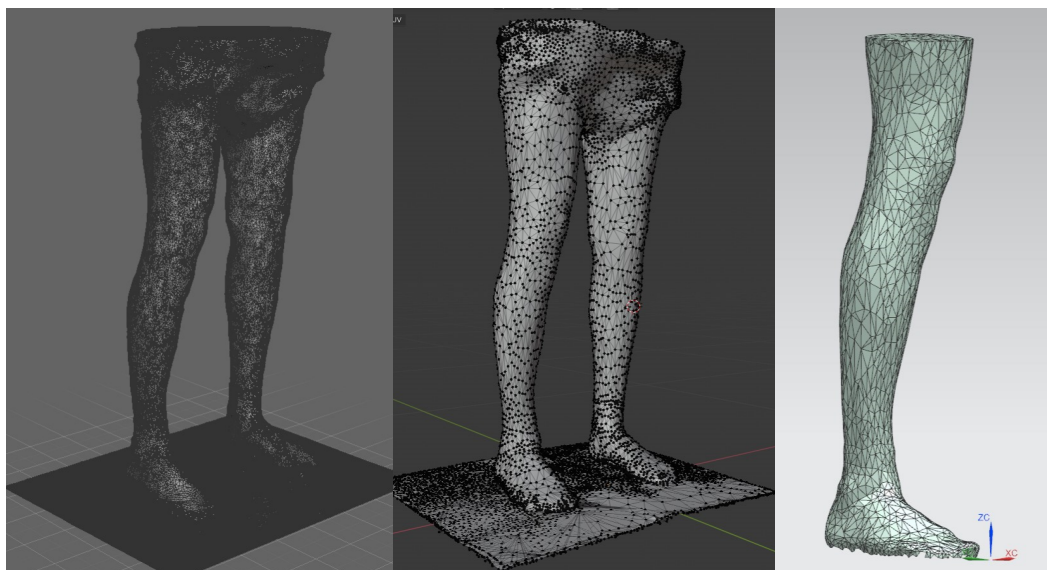
Wykonane fotografie zostały następnie przetworzone w programie Autodesk Recap Photo, w wyniku czego uzyskano siatkę trójkątów przedstawiającą skanowaną sylwetkę, wraz z elementami otoczenia. Uzyskany efekt przedstawiono na rys. 1.2.



Rys. 1.2 Model fotogrametryczny uzyskany na podstawie zdjęć sylwetki w programie Autodesk Recap Photo; Przedstawienie zbliżenia na zeskanowaną sylwetkę w trybie wyświetlania (od lewej): siatki trójkątów, wygładzonego modelu, modelu z nałożoną teksturą.

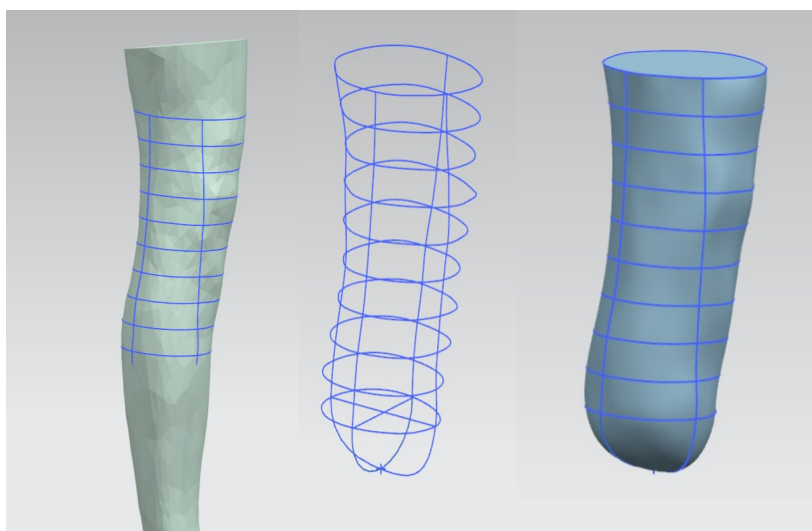
Zniekształcenie górnej części ciała, a w szczególności głowy wynikało z niedostatecznej liczby fotografii przedstawiającej ten fragment obiektu – wykonując zdjęcia skupiono się w głównej mierze, na jak najlepszym odwzorowaniu kończyn dolnych.

Kolejnym krokiem była obróbka uzyskanego modelu, polegająca na usunięciu zbędnych elementów modelu w programie Meshmixer (tj. otoczenia oraz górnej części ciała), wygładzenie widocznych niedoskonałości powierzchni nóg oraz zredukowanie liczby elementów siatki – z 380 000 do ok. 4000 w celu zmniejszenia rozmiaru pliku. Czynności te wykonano w programie Blender. Ostatnim etapem obróbki modelu nogi było przeskalowanie oraz ostateczne usunięcie zbędnych elementów siatki w programie NX12. Efekty prac w poszczególnych etapach przedstawiono na rys. 1.3.



Rys. 1.3 Od lewej: Model po usunięciu zbędnych elementów otoczenia – Meshmix; Model po wygładzeniu niedoskonałości powierzchni oraz zredukowaniu liczby elementów siatki - Blender; Model nogi przeskalowany oraz przygotowany do pracy w środowisku CAD – NX12.

Po zaimportowaniu modelu nogi do systemu NX12 można było rozpocząć proces modelowania kikuta. Kształt oraz długość kikuta określono na podstawie literatury [2]. W tym celu utworzono krzywe na szkicach oraz krzywe splajnowe odwzorowujące geometrię nogi oraz zakończenia kikuta, na podstawie których następnie utworzono model powierzchniowy, przy zachowaniu ciągłości powierzchni na poziomie G1 oraz docelowo przekształcono go w model bryłowy. Model ten posłużył do wykonania linera silikonowego oraz leja protezowego. Etapy modelowania kikuta przedstawiono na rys. 1.4.

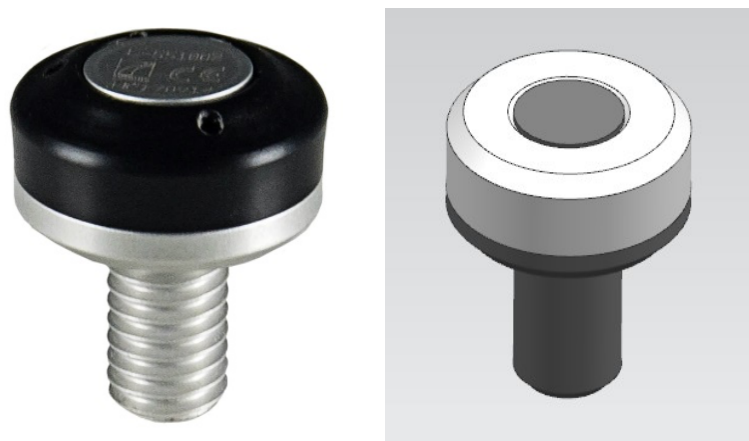


Rys. 1.4 Od lewej: Krzywe tworzące powierzchnie kikuta naniesione na modelu nogi; widok krzywych bez wyświetlanego modelu nogi; utworzony model kikuta.

### 1.3. Projekt protezy podudzia

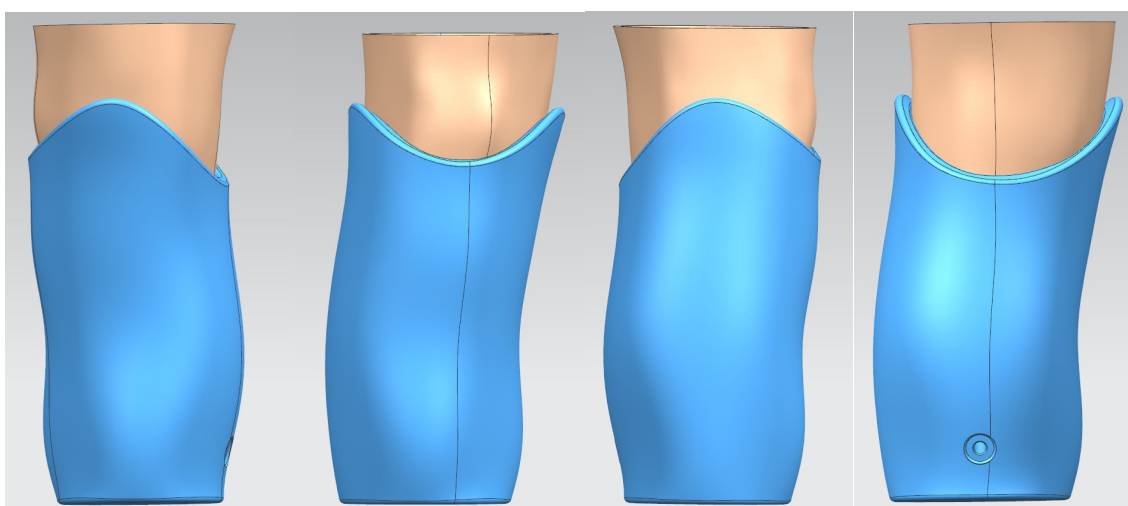
Po zamodelowaniu postaci kikuta podudzia przystąpiono do projektowania leja protezowego, który docelowo zostanie wytworzony w technologii druku 3D - FDM, z materiału PET+CF (tj. blendu politereftalanu etylenu z glikolem oraz 15% dodatkiem włókien węglowych). Materiał ten charakteryzuje się minimalnym skurczem (poniżej 0,1%), silnymi wiązaniami międzywarstwowymi, a dzięki zastosowaniu dodatku z włókien zwiększoną wytrzymałością mechaniczną oraz uduronością; charakteryzuje się również względną łatwością druku (w porównaniu do innych blendów np. PA+CF).

Projektowany lej protezowy należał do typu TSB, przystosowany został do systemu mocowania kikuta do protezy z wykorzystaniem podciśnienia pasywnego, wytwarzanego przy wykorzystaniu linera silikonowego (Ossur Iceross Dermo Seal-In) z membraną uszczelniającą, nakładanego na nogę użytkownika oraz jednokierunkowego zaworu zwrotnego Icelock 551 (tej samej firmy), kompatybilnego ze wspomnianym linerem. Mocowany jest on w tylnej części leja protezowego, przy użyciu otworu gwintowanego M10x1,5. Dodatkowo, połączenie zabezpieczone zostało uszczelniaczem silikonowym, zgodnie z zaleceniami producenta. Zawór zwrotny, wraz z uproszczonym modelem oraz miejscem mocowania w leju protezowym przedstawiono na rys. 1.5 oraz 1.7.

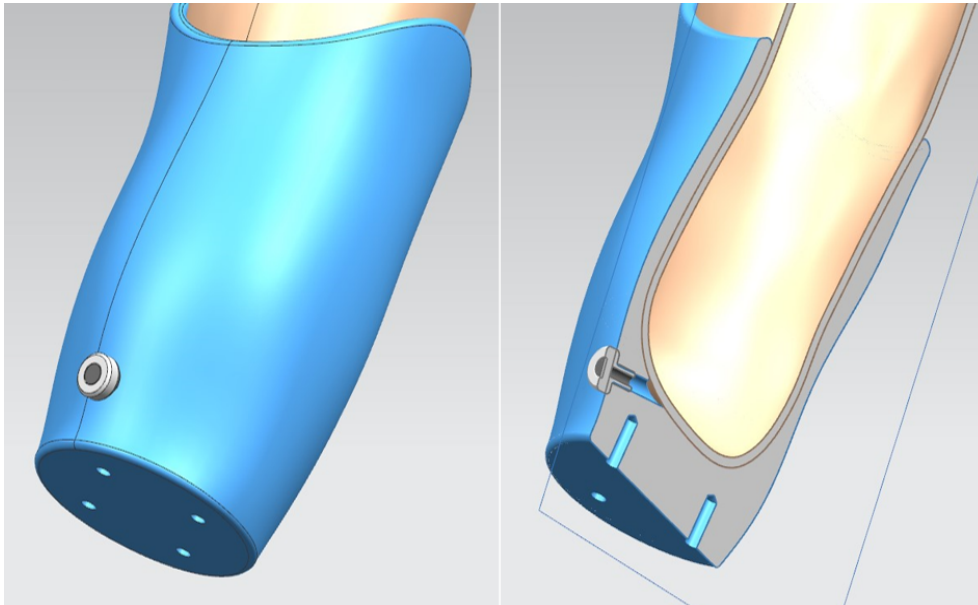


Rys. 1.5 Po lewej – zawór zwrotny Icelock 551 firmy Ossur. Po prawej – uproszczony model 3D zaworu.

Pierwszym krokiem wykonania modelu leja protezowego było zamodelowanie linera silikonowego (o grubości ścianki 4 mm), wykorzystując do tego powierzchnię zewnętrzną kikuta oraz możliwość synchronicznego modelowania w NX12. Projektując lej protezowy zamodelowano zewnętrzną jego geometrię powierzchniowo – podobnie jak przy procesie modelowania kikuta – zwracając szczególną uwagę na odpowiednie ukształtowanie górnej części elementu, tak aby kształt leja umożliwił wygodne korzystanie z protezy oraz stabilizację kolana - tzn. aby lej obejmował dolną część rzepki, fragment kłykci kości udowej (po bokach), a tylna krawędź kończyła się w okolicy dołu kolanowego. Efekt ten uzyskano dzięki wykonaniu krzywej splajnowej na zewnętrznej powierzchni leja. Dolna część leja protezowego jest płaska, aby ułatwić proces drukowania 3D oraz mocowanie do niej pozostałych komponentów protezy. Grubość ścianki leja wynosi tu ok. 10 mm, zwiększona w dolnej jej części, aby umożliwić montaż adapterów. W tym celu również w dolnej części wykonano 4 otwory montażowe. Wewnętrzna część leja została odwzorowana przy użyciu funkcji boolowskich (poprzez odjęcie modelu kikuta wraz z linerem od postaci leja protezowego). Dzięki temu zaprojektowany lej protezowy bardzo dobrze pasuje do kikuta użytkownika. Ostatnim etapem projektowania tego elementu było wykonanie otworu gwintowanego wraz z kanałem do zamocowania zaworu zwrotnego. Efekty procesu modelowania przedstawiono na rys. 1.6.



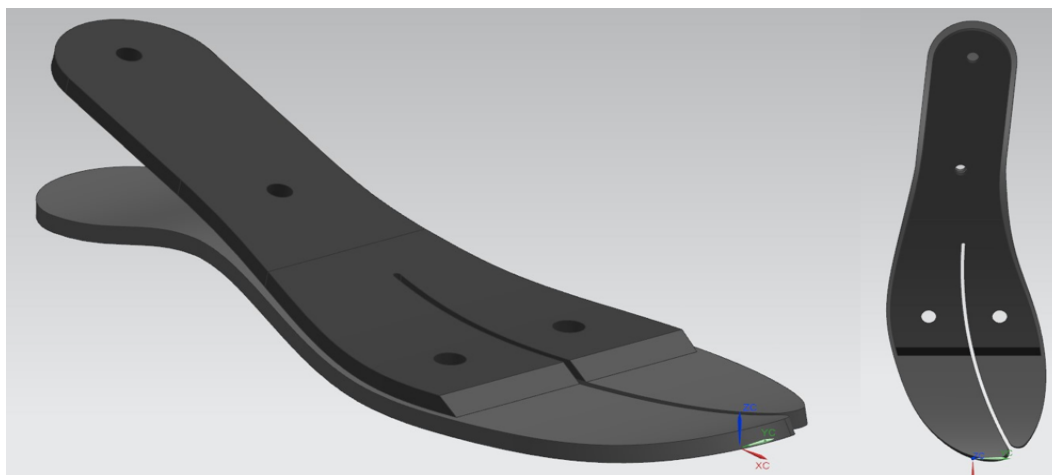
Rys. 1.6 Przedstawienie modelu leja protezowego wykonanego w programie NX 12. (Kolor niebieski – lej protezowy; kolor beżowy – liner silikonowy).



Rys. 1.7 Lej protezowy z zamocowanym zaworem zwrotnym oraz otworami montażowymi adaptera

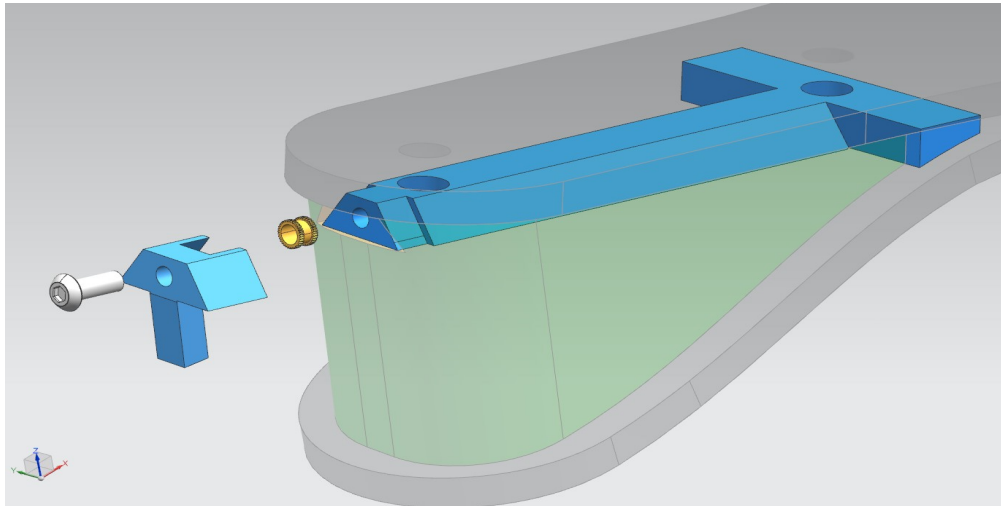
Po zaprojektowaniu leja protezowego, następnym etapem prac było wykonanie modelu stopy protezowej. Główną funkcją nowoczesnej, dynamicznej stopy – poza stanowieniem punktu kontaktu z podłożem – jest wspieranie oraz ułatwianie poruszania się. Dzięki zastosowaniu odpowiedniego kształtu oraz wykorzystaniu do budowy elementów sprężystych z kompozytu węglowego sztuczna stopa może znacznie poprawić propulsję, sprawiając, że codzienne użytkowanie protezy jest mniej męczące, a chód bardziej naturalny. Dodatkowo ważnym jest, aby stopa protezowa zapewniała odpowiednią stabilność, co uzyskano, dzięki kształtowi, zbliżonemu do wymiarów antropometrycznych stopy człowieka oraz wykonaniu wzdłużnego jej rozcięcia, co znacznie ułatwia utrzymanie równowagi na nierównym podłożu. W skład elementów sprężystych stopy protezowej wchodzi część podporowa oraz czołowa, wykonane z laminatu węglowego o grubości 5 mm.

Jak przedstawiono na rys. 1.8, górna część kończy się w okolicach obwodu przodostopia, co powoduje, że przednia część tego elementu podczas chodu może w większym stopniu odkształcać się sprężysto, symulując pracę palców w fazie odbicia. Takie rozwiązanie powoduje, że użytkowanie protezy będzie bardziej komfortowe, a chód zbliżony do naturalnego.



Rys. 1.8 Elementy sprężyste stopy protezowej. Po lewej widok izometryczny, po prawej widok z góry.

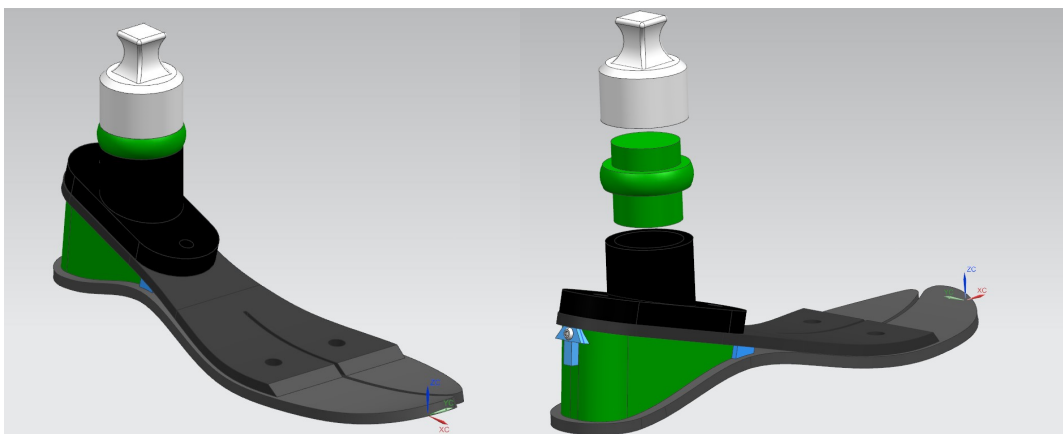
Kolejnym elementem stopy był drukowany w technologii FDM klin piętowy, którego zadaniem jest amortyzacja części obciążeń pojawiających się w pierwszej fazie cyklu chodu – podczas kontaktu pięty z podłożem, czyli w momencie, w którym na kikut użytkownika działają największe siły. Jednym z założeń projektowych było, aby element ten był wymienny, tak aby użytkownik mógł samodzielnie - w zależności od planowanej aktywności np. spaceru po parku, plaży, czy wycieczce górskiej - wymienić klin na inny, o odpowiedniej charakterystyce tłumienia, która może być uzyskana poprzez dobranie odpowiedniego materiału (TPU-92A, TPU-98A) oraz różnego stopnia wypełnienia elementu podczas druku 3D. Dodatkowym elementem niezbędnym do zastosowania w stopie protezowej klina piętowego było zaprojektowanie sposobu jego mocowania do elementów z kompozytu węglowego, w taki sposób, aby możliwa była jego łatwa wymiana. W tym celu zastosowano wydrukowane prowadnice w kształcie jaskółczego ogona, w które wsuwany jest element amortyzujący. Przed samoistnym wysunięciem się klina piętowego podczas użytkowania protezy zabezpiecza element blokujący przykręcony do otworu w prowadnicy z wtopioną wkładką gwintowaną śrubą z łbem kulistym z gniazdem sześciokątnym M3x8 mm wg ISO 7380. Prowadnica wraz z blokadą została wykonana w technologii druku 3D z materiału PET+CF. Na rys. 1.9 przedstawiono widok rozstrzelony mocowania elementu amortyzującego w stopie protezowej.



Rys. 1.9 Widok rozstrzelony mocowania klina piętowego

Ostatnim głównym elementem stopy protezowej są adaptery, umożliwiające połączenie stopy z pozostałymi częściami protezy. Adaptory składają się z trzech części: elementu drukowanego, gumowego wkładu oraz aluminiowego adaptera piramidowego.

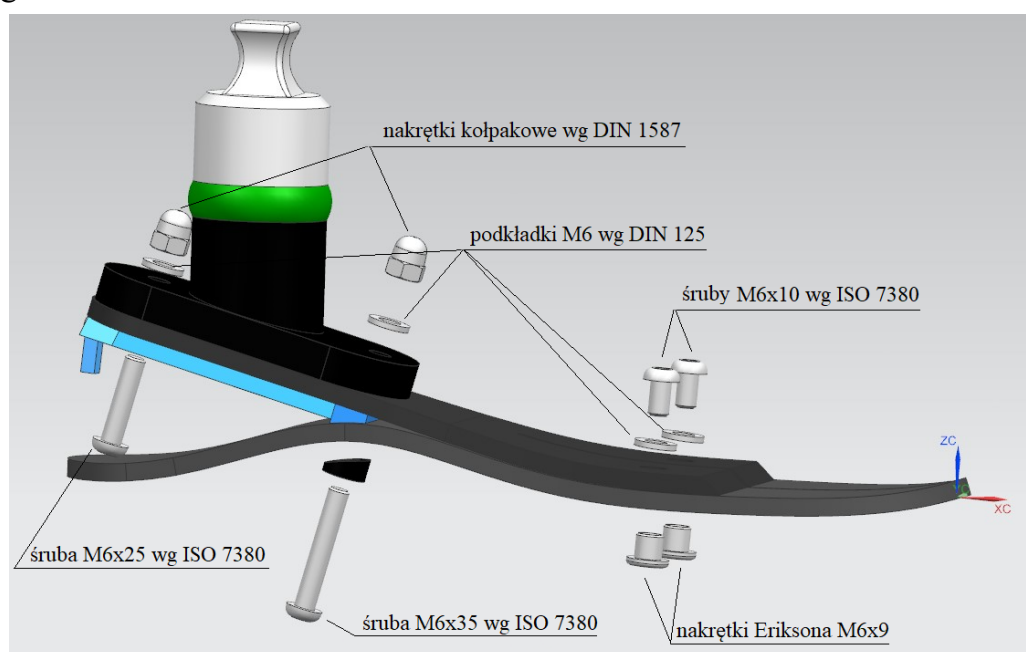
Pierwszy z nich wykonany został z materiału PET+CF, drugi - sprężysty element gumowy, wykonany z TPU-92, którego zadaniem jest tłumienie ruchów skrętnych oraz zgięć bocznych (inwersja, ewersja) stopy protezowej, aby nie były one przenoszone na nogę użytkownika. Ostatnim elementem był frezowany aluminiowy (z tworzywa PA6) adapter zakończony męską końcówką piramidową – rozwiązanie szeroko stosowane w branży protetycznej. Elementy te łączone były poprzez klejenie klejem Multibond 411 stanowiąc nierozłączną całość.



Rys. 1.10 Po lewej stopa protezowa z adapterem; Po prawej – widok rozstrzelony elementów adaptera stopy protezowej.



Kolejnym etapem projektowania stopy protezowej było dobranie elementów łącznych dla elementów z włókna węglowego oraz łączących część czołową stopy z prowadnicą i adapterem. Zdecydowano się na wykorzystanie: śrub M6 z łbem kulistym z gniazdem sześciokątnym wg ISO 7380, podkładek wg DIN 125, nakrętek Eriksona oraz nakrętek kołpakowych wg DIN 1587. Wszystkie elementy łączne są wykonane ze stali nierdzewnej AISI 304. Szczegółowe wykorzystanie poszczególnych komponentów przedstawiono na rysunkach poniżej. W przypadku połączenia śrubowego łączącego adapter z prowadnicą oraz obiema częściami z laminatu węglowego, w celu zachowania równoległości łączonych powierzchni, zastosowano dodatkowo drukowany dystans, zapobiegający powstawaniu sił zginających w połączeniu śrubowym. Wszystkie połączenia śrubowe dodatkowo zostały zabezpieczone przed odkręceniem klejem do gwintów Locktite 243.

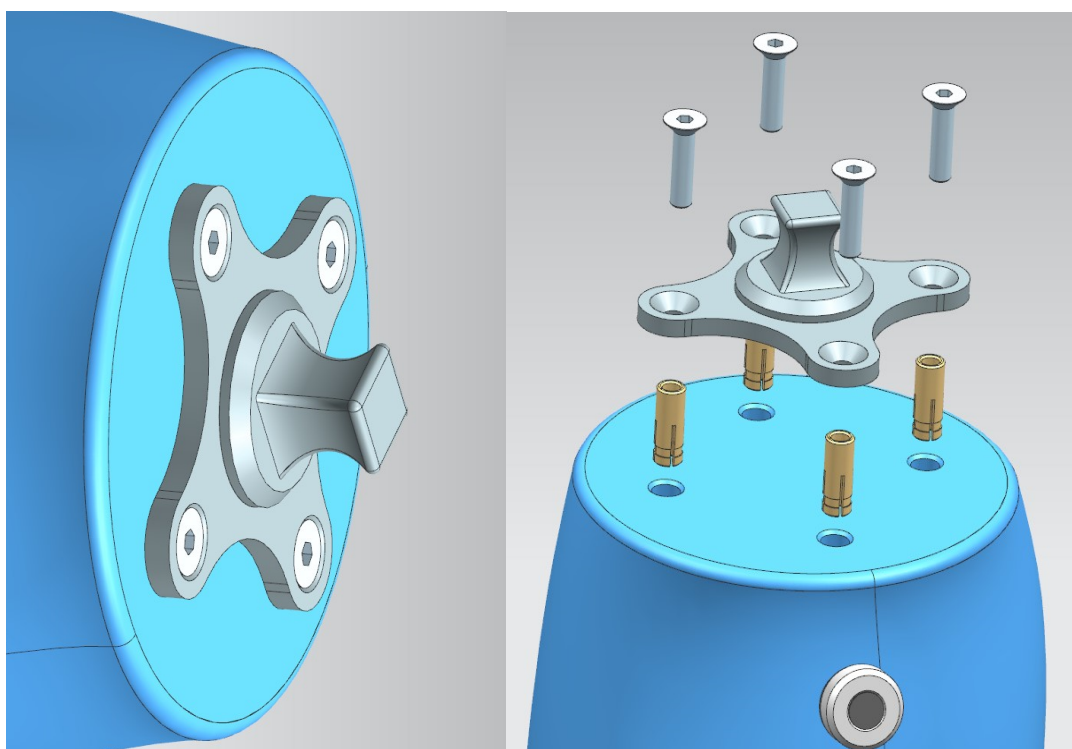


Rys. 1.11 Widok rozstrzelony elementów łącznych wykorzystanych w złożeniu stopy protezowej.

Dodatkowym elementem stopy protezowej, którego projektowanie nie zostało uwzględnione w zrealizowanej pracy, było pokrycie kosmetyczne, wykonane najczęściej z silikonu, pełniące zarówno funkcję estetyczną oraz ochronną dla elementów urządzenia. Osłona taka nie jest wymagana do poprawnego korzystania z protezy. Ze względu na możliwość dobrania do stopy protezowej osłony kosmetycznej, długość stopy wynosi 250 mm (względem 283

mm długości stopy użytkownika) zostawiając miejsce na nałożenia osłony, której wymiary zbliżone będą do drugiej stopy użytkownika.

Ostatnimi elementami protezy kończyny dolnej były adaptory łączące stopę protezową z lejem. Połączenie tych elementów zostało realizowane przy użyciu adapterów piramidowych o męskiej końcówce przymocowanej do opisanych wcześniej elementów oraz aluminiowej rury, z przymocowanymi żeńskimi końcami adapterów. Dodatkowo na aluminiowym pylonie realizowana była regulacja długości protezy oraz ustawienie stopy względem kikuta, poprzez nagwintowane końce rury. Pierwszym omówionym adapterem będzie element przymocowany do leja protezowego. Był on wykonany ze stopu aluminium PA6 i połączony z wydrukowanym lejem protezowym z wykorzystaniem czterech wklejonych mosiężnych insertów gwintowanych NOBEX M6x22 mm oraz śrub M6x25 mm wg DIN 7991. Elementy złączne były wykonane ze stali nierdzewnej AISI 304 oraz dodatkowo zabezpieczone klejem do gwintów Locktite 243. Na rys. 1.12 przedstawiono model adaptera leja protezowego wraz ze sposobem montażu.

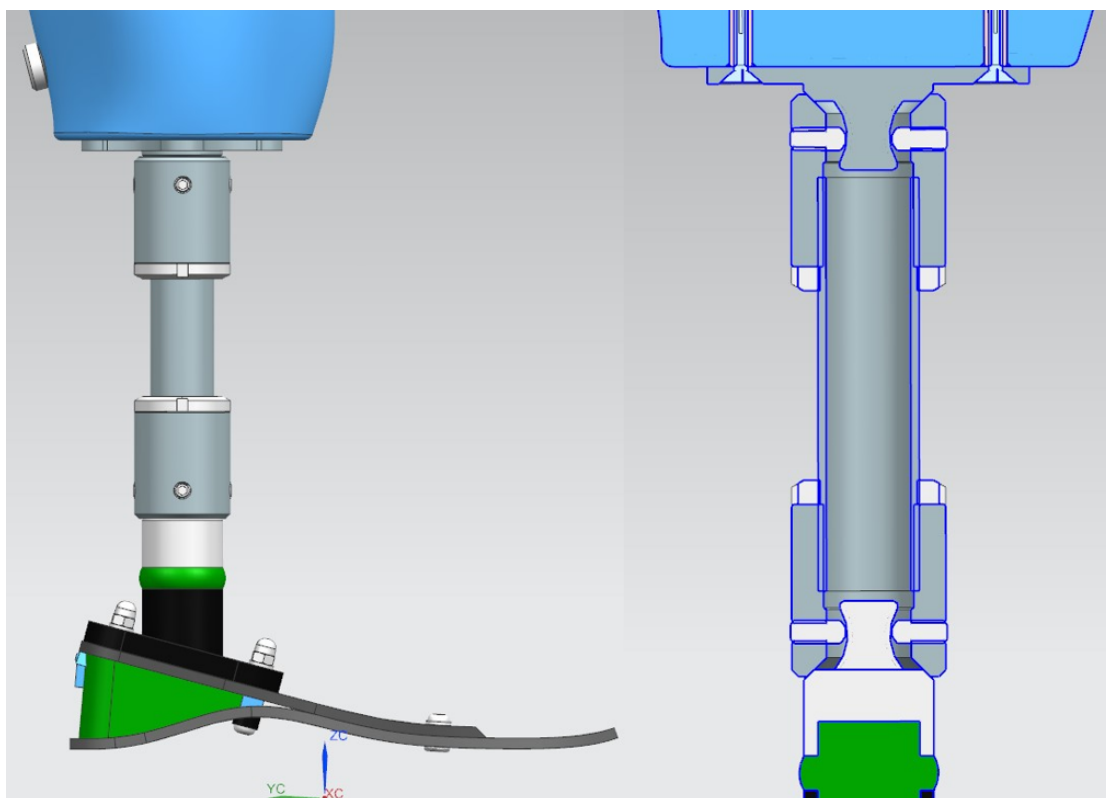


Rys. 1.12 Adapter piramidowy leja protezowego, wraz z elementami złącznymi (po prawej)

Jak opisano we wcześniejszym akapicie, podobna męska końcówka umiejscowiona była w górnej części stopy protezowej, a połączone one zostały ze

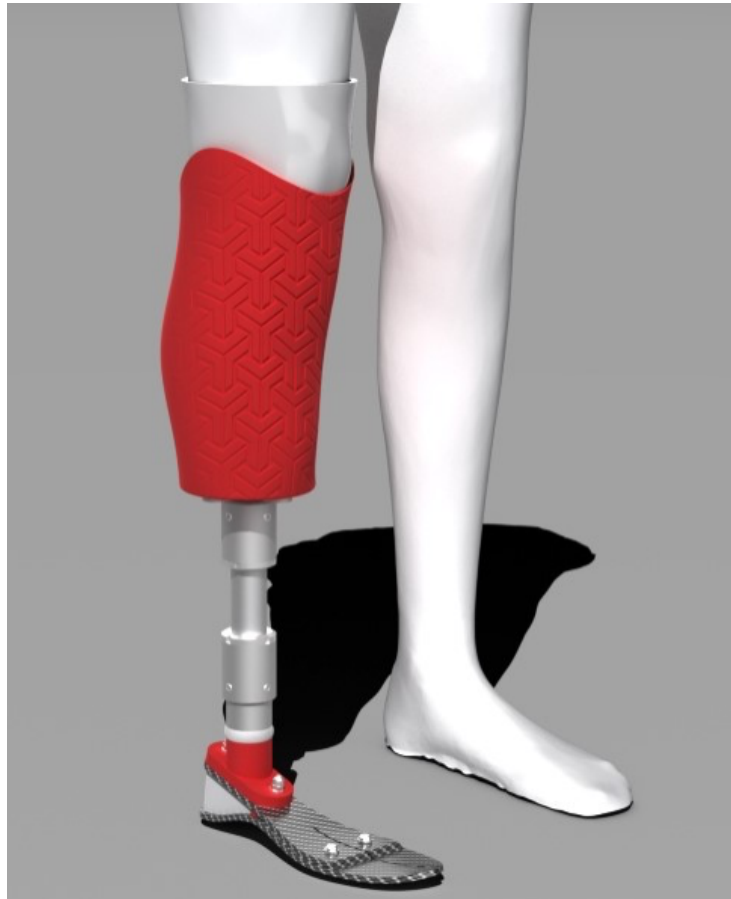
sobą przy użyciu aluminiowego pylonu, wykonanego z rury aluminiowej o średnicy zewnętrznej 30 mm oraz grubości ścianki 3 mm. Zastosowana grubość rury wynika z konieczności wykonania na jej końcach gwintu drobnozwojowego M30x1,5 do którego zostały przykręcone żeńskie adaptory piramidowe oraz dodatkowo była możliwa regulacja wysokości gotowej protezy.

Żeńska końcówka adaptera została wykonana ze stopu aluminium oraz połączona przy użyciu czterech śrub ze stożkową końcówką oraz wewnętrznym sześcianiem wg DIN EN 24766 M8x16 mm. Pozycja połączonych ze sobą elementów pylonu została zablokowana przy użyciu nakrętki kontruującej, której funkcję pełnią dwie nierdzewne nakrętki łożyskowe KM6 DIN 981 M30x1,5. Zdecydowano się je wykorzystać w takim zastosowaniu ze względu na gwint drobnozwojowy, niewielką grubość, niską cenę oraz estetyczny wygląd. Adapter rurowy wraz z żeńskimi końcówkami piramidowymi przedstawiono na rys. 1.13.



Rys. 1.13. Przedstawienia połączenia elementów protezy przy użyciu adapterów piramidowych.

Na poniższym rysunku przedstawiono wizualizację, zaprojektowanej protezy kończyny dolnej, wykonanej w środowisku programu NX 12.



Rys. 1.14 Wizualizacja protezy kończyny dolnej

#### **1.4. Kosztorys wytworzenia protezy**

Jednym z głównych założeń projektu było zaprojektowanie protezy, której koszt wytworzenia wynosiłby mniej niż 17 500 zł, czyli maksymalnej kwoty dofinansowania, które można otrzymać na wykonanie tego typu protezy z NFZ oraz programu PFRON. Szacunkowy kosztorys wykonania urządzenia przedstawiono dwuetapowo, rozdzielając koszt wykonania elementów wykonanych w technologii druku 3D (Tab. 1.1) od pozostałych elementów, uwzględniając koszt wykonania elementów z laminatu węglowego, wytwarzanych na maszynach CNC oraz elementów zakupowych (Tab. 1.2). W tabeli 1.1 przedstawiono szacunkowy koszt wykonania drukowanych elementów – do wyceny przyjęto tu uśrednioną cenę filamentów (PET+CF 15% oraz TPU-92) dostępnych na rynku, koszt godziny druku przyjęto jako 10 zł.

Tab. 1.1 Koszt wytworzenia elementów w technologii druku 3D

Nazwa elementu	Material	Liczba sztuk	Masa [g]	Czas druku [h]	Cena materialu [zł/kg]	Cena [zł]
Lej protezowy	PET+CF15%	1	760	50	258	696,08
Adapter drukowany stopy protezowej	PET+CF15%	1	42	2,9	258	39,84
Klin piętowy (stopień wypełnienia 50%)	TPU-92	1	41	2,8	179	35,34
Prowadnica klina piętowego	PET+CF15%	1	10	0,75	258	10,08
Element drukowany kostka	TPU-92	1	12	1	179	12,15
Dystans stopy protezowej	PET+CF15%	1	2	0,1	258	1,52
Łączny koszt wykonania elementów drukowanych						795,00

W poniższej tabeli 1.2 przedstawiono szacunkowe koszty wytworzenia protezy bez uwzględnienia ceny dopasowania oraz ustawienia przez wykwalifikowanego protetyka oraz certyfikacji urządzenia przed wprowadzeniem na rynek, której koszt wynosi około 1000 - 2000 zł.

Tab. 1.2 Kosztorys wytworzenia protezy kończyny dolnej

Nazwa elementu	Liczba sztuk	Cena [zł]
Elementy drukowane 3D	-	795,00
Liner silikonowy - Ossur Iceross Dermo Seal-In	1	950,00
Zawór zwrotny - Icelock 551	1	150,00
Adapter piramidowy męski leja protezowego	1	120,00
Rura pylonu fi 30	1	35,00
Adapter piramidowy żeński	2	40,00
Adapter piramidowy męski stopy protezowej	1	90,00
Elementy sprężyste stopy protezowej z laminatu węglowego	1	1200,00
Wkładka gwintowana Nobex M6	4	6,00
Śruba ISO 7380 M3x8	1	0,40
Śruba DIN 7991 M6x25	4	0,30
Nakrętka łożyskowa - KM6 DIN 981 M30x1.5	2	5,30
Śruba DIN 913 M8x16	8	0,30
Wkładka gwintowana m3	1	2,00
Nakrętki kołpakowe DIN 1587 M6	2	0,50
Nakrętki Eriksona M6x9	2	2,00

Śruba ISO 7380 M6x35	1	0,30
Śruba ISO 7380 M6x25	1	0,30
Śruba ISO 7380 M6x10	2	0,30
Podkładka DIN 125 M6	4	0,10
Łączny koszt wykonania części protezy		3445,80

Na podstawie przedstawionych powyżej szacunkowych kosztów wykonania zaprojektowanej protezy można stwierdzić, że spełniono założenia projektu dotyczące ceny protezy. Łączny koszt wytworzenia protezy wynosi ok. 3500 zł. Najbardziej kosztownymi elementami protezy są elementy z laminatu węglowego, co jest spowodowane koniecznością wykonania frezowanych form jednostronnych z MDF, w których mogą być wykonane elementy. Koszt wykonania form wynosi około 400 zł, z tym, że mogą one być wykorzystywane ponownie, przy produkcji kolejnych stóp protezowych w danym rozmiarze. Należy również pamiętać, że do przedstawionego kosztu wykonania urządzenia należy doliczyć cenę usługi protetycznej oraz certyfikacji urządzenia, które mogą sprawić, że koszt protezy może wzrosnąć do ok. 7000-8000 zł.

## 1.5. Podsumowanie

Najważniejszymi wnioskami płynącymi ze zrealizowanej pracy są: możliwe jest wykonanie protezy kończyny dolnej do codziennego użytku z wykorzystaniem technologii druku 3D w produkcji niektórych elementów, a w szczególności wykonanie dopasowanego leja protezowego przy użyciu fotogrametrii oraz druku 3D, co znacznie skraca czas oraz obniża koszt wykonania tego komponentu. Druk 3D pozwala również wykonywać elementy amortyzujące stopy protezowej z materiału TPU-92, dopasowując ich charakterystykę tłumienia w zależności od stopnia wypełnienia drukowanych elementów. Wykorzystanie wyżej wymienionych technologii pozwoliło na znaczne obniżenie kosztów wytworzenia produktu, przy zachowaniu jego pełnej funkcjonalności, co pozwala szerszej grupie pacjentów wrócić do sprawności fizycznej po amputacji kończyny. Należy również zaznaczyć, że zostały spełnione wszystkie założenia projektowe oraz produkt wraz ze wszystkimi elementami składowymi protezy jest zgodny z Dyrektywa 2007/47/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 5 września 2007 r., odnoszącej się do wyrobów medycznych aktywnego osadzania oraz zgodnie z załącznikiem IX tego dokumentu projektowane urządzenie klasyfikuje się do klasy I

elementów. Wykorzystanie wyżej wymienionych technologii pozwoliło na znaczne obniżenie kosztów wytworzenia produktu, przy zachowaniu jego pełnej funkcjonalności, co pozwala szerszej grupie pacjentów wrócić do sprawności fizycznej po amputacji kończyny. Należy również zaznaczyć, że zostały spełnione wszystkie założenia projektowe oraz produkt wraz ze wszystkimi elementami składowymi protezy jest zgodny z Dyrektywą 2007/47/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 5 września 2007 r., odnoszącej się do wyrobów medycznych aktywnego osadzania oraz zgodnie z załącznikiem IX tego dokumentu projektowane urządzenie klasyfikuje się do klasy I produktów medycznych, co oznacza, że za sporządzenia deklaracji zgodności odpowiada producent sprzętu [3].

## **BIBLIOGRAFIA**

1. Strona internetowa pracowni ortopedycznej: Orto-Pes [https://ortopes.pl/dofinansowanie\\_do\\_protez/](https://ortopes.pl/dofinansowanie_do_protez/) (dostęp: styczeń 2021).
2. M. Vitali, K.P. Robinson, B.G. Andrews, E. Harris „Amputacje i protezowanie”, PZWD, Warszawa 1985.
3. Dyrektywa 2007/47/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 5 września 2007 r. zmieniająca dyrektywę Rady 90/385/EWG w sprawie zbliżenia ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do wyrobów medycznych aktywnego osadzania, dyrektywę Rady 93/42/EWG dotyczącą wyrobów medycznych oraz dyrektywę 98/8/WE dotyczącą wprowadzania do obrotu produktów biobójczych.





# Rozdział 2

## METODY ETYKIETYZACJI OBIEKTÓW NA OBRAZACH

Grała Adam<sup>1</sup>, Bzymek Anna<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, adamgra766@student.polsl.pl

<sup>2</sup>Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, anna.bzymek@polsl.pl

### 2.1. Wstęp

Rozwój technologii oraz technik informatycznych spowodował wzrost zainteresowania tematyką ograniczenia czynnika ludzkiego na rzecz rozwiązań technicznych. Sprowadza się to do opracowania metod zastępowania funkcji ciała ludzkiego np. zmysłu wzroku za pomocą maszyn, urządzeń i oprogramowania. Próba zrozumienia i sztucznej implementacji zmysłu wzroku człowieka doprowadziła do rozwoju systemów wizyjnych oraz metod analizy i rozpoznawania obrazów. Bardzo ważnym aspektem przygotowania baz obrazów uczących jest przeprowadzenie etykietyzacji obiektów na obrazie. Jest to proces żmudny i czasochłonny, polegający zwykle na manualnym zaznaczaniu obszarów zawierających dany obiekt na serii obrazów. W związku z tym zaproponowano podejście, które umożliwia zautomatyzowanie procesu etykietyzacji. W niniejszej pracy przedstawiono koncepcję, oprogramowanie oraz wyniki działania trzech opracowanych sposobów etykietyzacji obiektów na obrazach:

- etykietyzację manualną, wykonywaną przez użytkownika oprogramowania z zastosowaniem interfejsu graficznego,
- etykietyzację automatyczną z predykcją wyłącznie klasy obiektu,
- etykietyzację automatyczną z predykcją klasy obiektu oraz jego pozycji na obrazie.

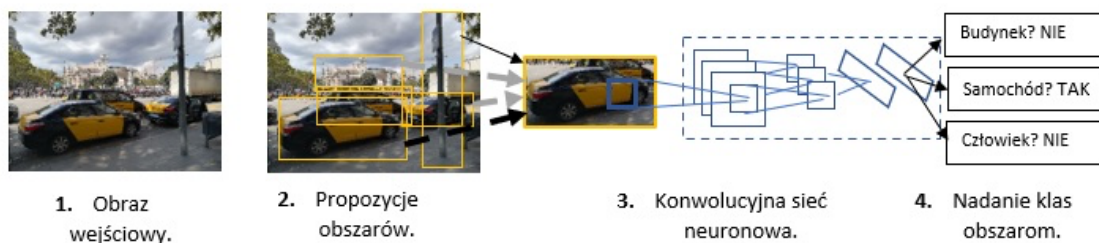
Wszystkie trzy rozwiązania zostały opracowane w postaci programów

komputerowych, a następnie przetestowane na zbiorze obrazów testowych. Proces ich opracowywania wymagał zastosowania narzędzi przygotowanych w środowiska Python, w tym dotyczących konwolucyjnych sieci neuronowych. Niniejszy rozdział został opracowany na podstawie pracy inżynierskiej “Projekt i opracowanie oprogramowania umożliwiającego etykietowanie elementów na obrazie” [2].

## 2.2. Założenia teoretyczne

Opracowanie sposobów etykietyzacji oraz oprogramowania umożliwiającego realizację zaproponowanych algorytmów, wymagało zapoznania się z istniejącymi algorytmami stosowanymi przy rozpoznawaniu obrazów oraz z zagadnieniem sieci neuronowych. Złożoność tematu rozpoznawania obiektów na obrazie spowodowała rozwój wielu rozwiązań i metod, z czego najpopularniejsze można podzielić na: bazujące na klasyfikacji oraz bazujące na regresji [7].

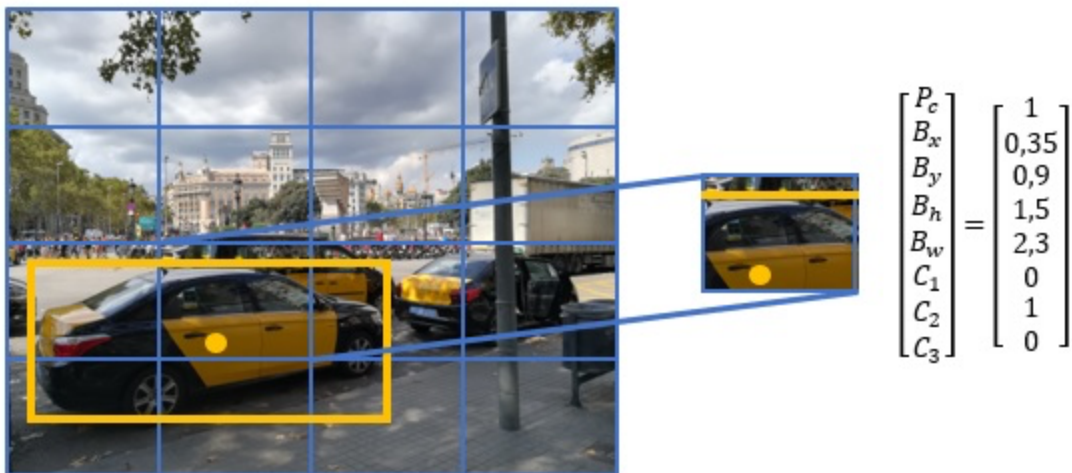
Najszerzej znanym przykładem algorytmu znajdującego się w pierwszej z tych kategorii jest R-CNN (Rys. 2.1) (*Region-based convolutional neural network*). Generuje on zestaw propozycji obszarów, które zostają przetworzone przez dużą konwolucyjną sieć neuronową. W wyniku działania tego algorytmu, powstaje wektor danych liczbowych, charakteryzujący cechy danego obszaru. Algorytm umożliwia, z pewną dokładnością, przypisanie każdego z obszarów do danej klasy. W związku z wieloma udanymi aplikacjami modelu R-CNN, powstały zmodyfikowane jego wersje, takie jak Fast R-CNN, Faster R-CNN oraz najnowszy model o nazwie Mask R-CNN [1].



Rys. 2.1. Schemat działania modelu R-CNN

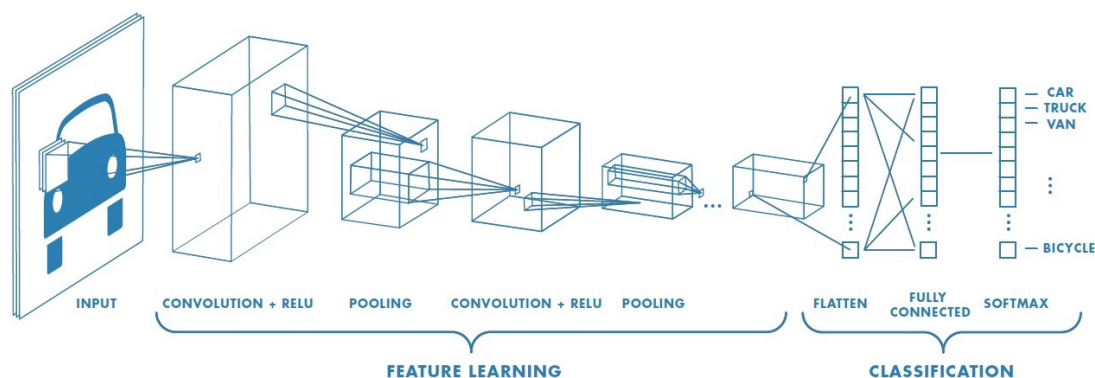
Drugą grupę stanowią algorytmy, które zamiast generowania propozycji obszarów, umożliwiają przewidywanie klas i lokalizacji obiektów dla całego

obrazu podczas jednej iteracji algorytmu. Najpopularniejszą metodą tego typu jest YOLO (*You Only Look Once*) Rys. 2.2. W kolejnych krokach działania algorytmu YOLO na obraz nakładana jest siatka, a następnie, dla każdej z jej komórek wyznaczana jest liczba obiektów, które mogą wystąpić w danym obszarze. Algorytm umożliwia wykreślenie prostokąta, wewnątrz którego powinien znajdować się obiekt i umożliwia wyznaczenie szeregu wartości go opisujących. W efekcie powstaje tensor o rozmiarach zależnych od rozmiaru siatki i liczby klas [4].



Rys. 2.2. Schemat działania modelu YOLO

Wszystkie powyższe modele bazują na konwolucyjnych sieciach neuronowych. Swoją nazwę zawdzięczają jednej z warstw tej sieci, która umożliwia wykonanie konwolucji, inaczej nazywanej splotem. Jest to matematyczna operacja, która wykorzystuje przekształcenia macierzowe obszarów obrazu. Architektura każdej takiej sieci jest złożona i składa się z wielu różnego rodzaju warstw (Rys 2.3). Pierwsza warstwa sieci to warstwa wejściowa, która umożliwia wstępne przetworzenie obrazu wprowadzonego do sieci. Następnie, w kolejnych warstwach konwolucyjnych oraz łączących (*Pooling Layers*) realizowany jest proces uczenia sieci. Człon końcowy sieci, składający się z warstw spłaszczających (*Flatten*) i w pełni połączonych (*Fully-Connected*), umożliwia realizację klasyfikacji obiektów [5] [6].



Rys. 2.3. Przykładowa architektura konwolucyjnej sieci neuronowej [6]

W kolejnych podrozdziałach przedstawiono opis opracowanych metod etykietowania obiektów w kolejności zwiększającej się automatyzacji tego procesu.

## 2.3. Etykietyzacja manualna

Pierwsze rozwiązanie ma umożliwić użytkownikowi załadowanie obrazu do pamięci programu, manualne zaznaczenie obiektu i efekcie otrzymanie danych wyjściowych gotowych do zastosowania jako baza ucząca dla sieci neuronowej. Realizacja procesu etykietyzacji manualnej jest realizowana z zastosowaniem prostego interfejsu graficznego (Rys. 2.4).

Podejście to wymaga przygotowania specyficznej struktury plików, która powinna zawierać katalogi zawierające obrazy oraz pliki wideo, gotowe do wczytania do pamięci programu. Uruchomienie programu powoduje wyświetlenie okna menu głównego, w którym użytkownik może przejść do trybu etykietowania lub wyłączyć program. Tryb etykietowania rozpoczynany jest przez użytkownika, który wybiera plik do wczytania. W kolejnym oknie jest możliwe otwarcie przeglądarki plików z system Windows, w której należy wybrać wcześniej przygotowany katalog z obrazami lub plikami wideo. Wybór katalogu powoduje wyświetlenie, wszystkich plików o predefiniowanych rozszerzeniach znajdujących się w danym katalogu. Wybór pliku i jego zatwierdzenie powoduje wyświetlenie danego obrazu na ekranie.

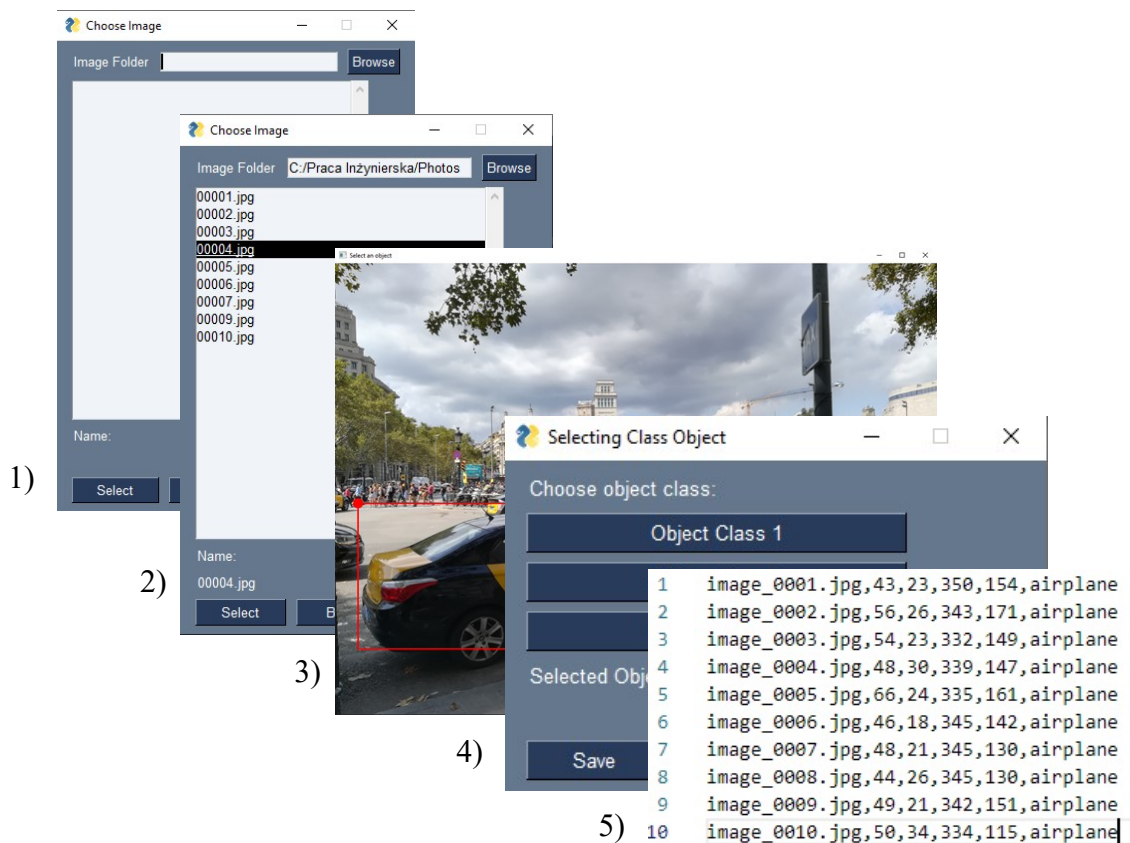
Wyświetlony obraz zostaje automatycznie przeskalowany do rozmiarów okna, w którym jest on przedstawiony. Na tym etapie użytkownik, korzystając z

własnej wiedzy i doświadczenia, może zaznaczyć za pomocą myszy obszar na obrazie, w którym znajduje się interesujący go obiekt.

Następnie użytkownik musi zdecydować do jakiej klasy należy zaznaczony obiekt i potwierdzić swój wybór przez zaznaczenie odpowiedniej etykiety. Takie działanie skutkuje wycięciem zaznaczonego obszaru z obrazu i zapisanie wycięcia jako osobnego pliku. Plik otrzymuje automatycznie nazwę zawierającą klasę obiektu oraz liczbę porządkową. Ponadto, program umożliwia rejestrację współrzędnych zaznaczonego obszaru i ich zapis w odpowiednim formacie w pliku CSV.

Jeśli wybrany plik jest plikiem wideo, jest on podzielony na poszczególne klatki i traktowany jako zbiór obrazów.

Opracowane rozwiązanie może służyć jako forma przygotowania zbioru danych wejściowych do sieci neuronowych, w postaci zbioru obrazów oraz pliku CSV z zapisanymi współrzędnymi.



Rys. 2.4. Okna wyświetlane na ekranie: 1) Wybór katalogu, 2) Wybór pliku, 3) Obraz z zaznaczonym obszarem, 4) Wybór klasy, 5) Plik .csv z zapisanymi współrzędnymi zaznaczonym obszarów

Metoda manualnej etykietyzacji obiektów na obrazie jest prosta w użyciu i sposobie działania, ze względu na interfejs graficzny. Nie wymaga ona

przygotowania specjalnej bazy danych ani doboru żadnych parametrów. Cały proces etykietyzacji przebiega w oparciu o wiedzę i doświadczenie osoby użytkującej program. Etapy wyboru katalogu oraz pliku do analizy oraz dokładne zaznaczenie obszaru na obrazie są czasochłonne, a każdy błąd wymaga powtórzenia tych czynności. Dokładność etykietyzacji może być zmienna, gdyż opiera się wyłącznie na precyzji ruchów użytkownika.

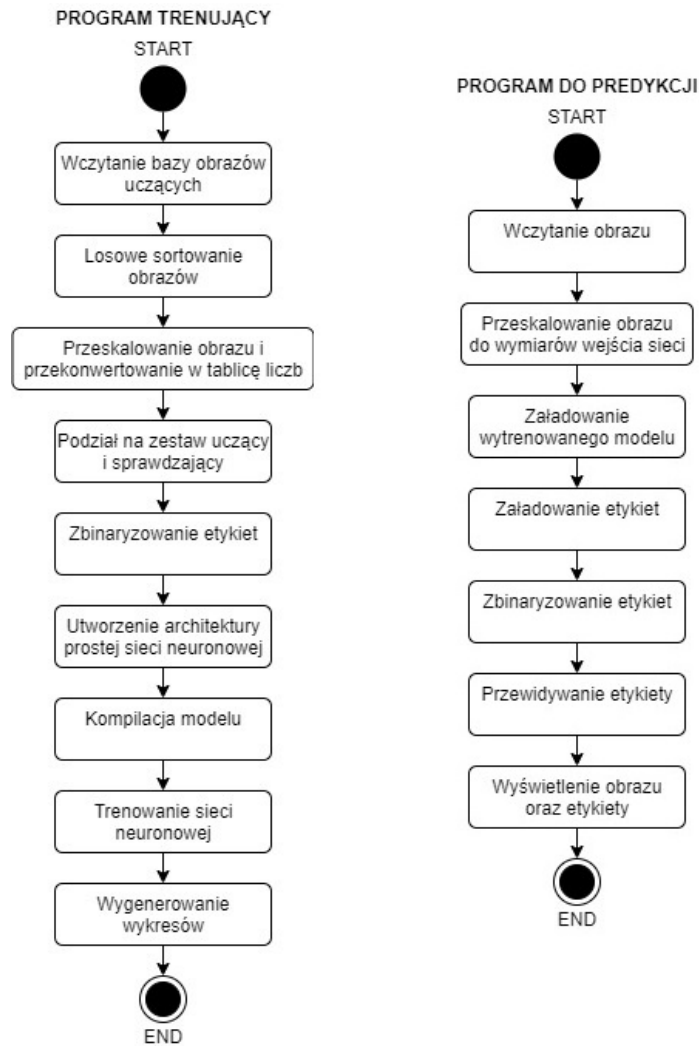
## 2.4. Automatyczna etykietyzacja bez rozróżnienia pozycji obiektu

Drugie opracowane rozwiązanie bazuje na prostej sieci neuronowej, zastosowanej w celu rozpoznania klasy obiektu, który znajduje się na obrazie. Do skutecznego działania programu wymagane jest kilka katalogów (Rys. 2.5.), które powinny zawierać: bazę danych wejściowych w postaci zbioru obrazów podzielonych na kilka klas (w prezentowanym przypadku trzech klas), obrazy służące do testowania oraz katalog na pliki dodatkowe, takie jak plik z utworzonym modelem oraz wykresy przedstawiające proces uczenia sieci neuronowej.

```
Folder PATH listing
Volume serial number is CA6D-CA6F
C:..
|   predict.py
|   train_simple_nn.py
+---dataset
|   +---airplane
|   +---helicopter
|   +---kangaroo
+---images
|   airplane.jpg
|   cat.jpg
|   helicopter.jpg
|   kangaroo.jpg
|   person.jpg
|
+---output
|   simple_nn.model
|   simple_nn_lb.pickle
|   simple_nn_plot.png
```

Rys. 2.5. Struktura plików w folderze roboczym, przedstawiająca wymagane katalogi

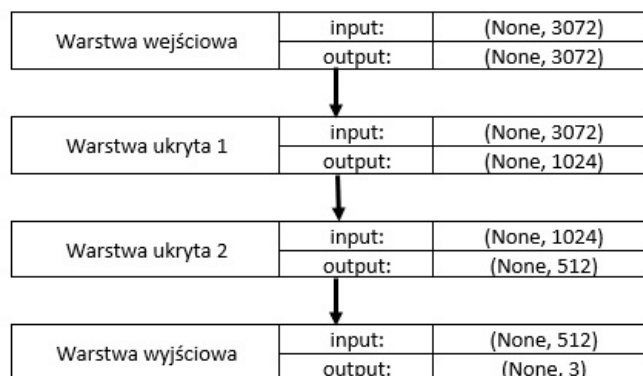
Aplikacja została podzielona na dwa podprogramy: jeden umożliwiający trenowanie sieci neuronowej i drugi – umożliwiający predykcję klas. Schematy blokowe ilustrujące działanie obu podprogramów przedstawiono na Rys. 2.6.



Rys. 2.6. Struktura działania algorytmu programu trenującego (po lewej) i programu do predykcji (po prawej)

Pierwszy z nich wczytuje bazę danych wejściowych do prostej sieci neuronowej i na jej podstawie tworzy model do etykietyzacji obiektów. W pierwszej kolejności, program przygotowuje dane wejściowe. Następuje losowe sortowanie bazy danych wejściowych oraz przekształcenie obrazów oraz etykiet w format odpowiedni dla sieci neuronowej. Zbiór obrazów jest dzielony na zestaw uczący i sprawdzający, a etykiety zostają zbinaryzowane i zapisane w tablicy.

Przygotowane dane zostają wczytane do sieci neuronowej. Sieć zastosowana w niniejszym rozwiązaniu została mocno uproszczona, na potrzeby testów oprogramowania i składa się z czterech warstw (Rys. 2.7).

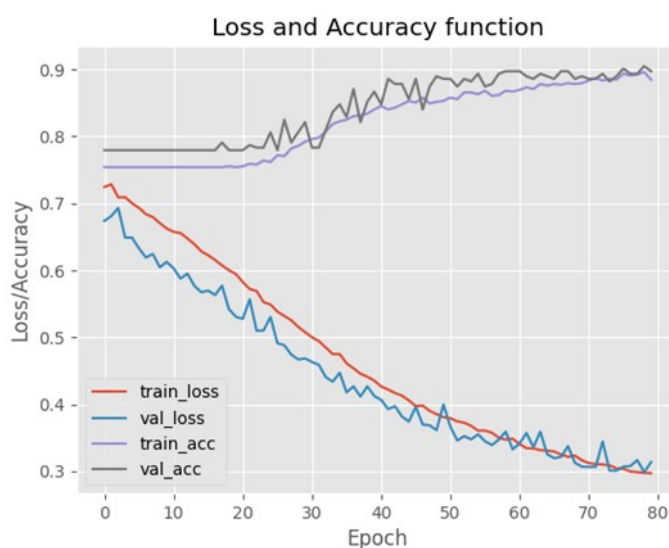


Rys. 2.7. Architektura zastosowanej sieci neuronowej

Kolejnym krokiem jest kompilacja modelu i dopasowanie go do danych wejściowych, czyli innymi słowy wytrenowanie sieci neuronowej z zastosowaniem wcześniej przygotowanych danych. Proces trenowania, zależnie od parametrów, wymaga czasu oraz większej ilości zasobów obliczeniowych komputera. Po jego zakończeniu, wygenerowane zostają wykresy jego dokładności oraz funkcji straty (Rys. 2.9), a także raport z przeprowadzonej klasyfikacji (Rys. 2.8).

	precision	recall	f1-score	support
airplane	0.96	0.96	0.96	205
helicopter	0.56	0.31	0.40	16
kangaroo	0.73	0.86	0.79	42
accuracy			0.90	263
macro avg	0.75	0.71	0.72	263
weighted avg	0.90	0.90	0.90	263

Rys. 2.8. Raport z klasyfikacji wygenerowany przez program



Rys. 2.9. Wykres funkcji dokładności i straty w zależności od liczby iteracji uczenia sieci



Celem do osiągnięcia w trakcie uczenia sieci neuronowej jest uzyskanie dokładności możliwie jak najbliższej wartości 1 oraz straty jak najbliższej wartości 0. W opisanym przypadku uzyskano dobre wyniki zaprezentowane powyżej, biorąc pod uwagę stosunkowo mały zbiór danych wejściowych i prostą sieć neuronową. Wynikiem działania pierwszego podprogramu jest model oraz tablica etykiet, które zostają zapisane na dysku komputera są gotowe do wczytania do programu umożliwiającego wykonanie predykcji klas.

Działanie drugiego podprogramu rozpoczyna się od wczytania jednego obrazu, przeskalowania go do odpowiedniego rozmiaru, a następnie obraz zostaje wyświetlony na ekranie. Następnie wczytywany jest model i tablica etykiet. Na ich podstawie dokonywana jest predykcja, a na obrazie wyświetlana jest informacja o klasie obiektu oraz dokładności klasyfikacji wyrażonej w procentach (Rys. 2.10).



Rys. 2.10. Wyniki predykcji na podstawie zdjęć różnych obiektów

Poniżej przedstawiono tabelaryczne zestawienie wyników działania opracowanego podejścia automatycznej klasyfikacji obiektów.

Tab.1. Wyniki przeprowadzonych testów działania algorytmu

<b>Liczba obrazów w bazie danych wejściowych do sieci neuronowej</b>		
<i>Samolot</i>	800	
<i>Helikopter</i>	88	
<i>Kangur</i>	183	
<b>Subiektywna ocena klasy obiektu na obrazie</b>	<b>Wynik automatycznej klasyfikacji</b>	<b>% dokładności oceny</b>
<i>Samolot</i>	Samolot	66,28
<i>Helikopter</i>	Samolot	77,90
<i>Kangur</i>	Kangur	55,81
<i>Kot (obiekt nie należący do żadnych z zakładanych klas)</i>	Samolot	54,30
Liczba skutecznych prób rozpoznania obiektu na obrazie (nie uwzględniając obiektu nie znajdującego się w żadnej z podanych klas)		
2 na 3 (66,6 %)		

Automatyczna etykietyzacja pozwala na zniwelowanie problemów napotkanych przy manualnej etykietyzacji. Proces przygotowania danych, doboru parametrów oraz uczenia sieci neuronowej może wymagać odpowiednio więcej czasu, natomiast wykonywany jest on tylko raz. Gotowy model można stosować do przeprowadzania dowolnej liczby etykietyzacji, która zajmuje znacznie mniej czasu. Wadą rozwiązania jest konieczność właściwego doboru parametrów sieci neuronowej oraz przygotowanie odpowiednio dużej bazy danych uczących, aby wynik etykietyzacji był zadowalająco dokładny.

## 2.5. Automatyczna etykietyzacja wraz z detekcją pozycji obiektu

Trzecie rozwiązanie jest rozwinięciem podejścia zaprezentowanego w poprzednim podrozdziale. Dodatkowo, po operacji predykcji klasy obiektu, następuje proces wyznaczenia pozycji tego obiektu na obrazie.

Podobnie jak w poprzednim przypadku, wymagane jest utworzenie specjalnej struktury katalogów (Rys. 2.11). Struktura ta jest podobna do poprzednio prezentowanej, ale dodatkowy element w bazie danych wejściowych w postaci zbioru współrzędnych obszarów, w których znajduje się obiekt, zapisanych w postaci pliku .csv.

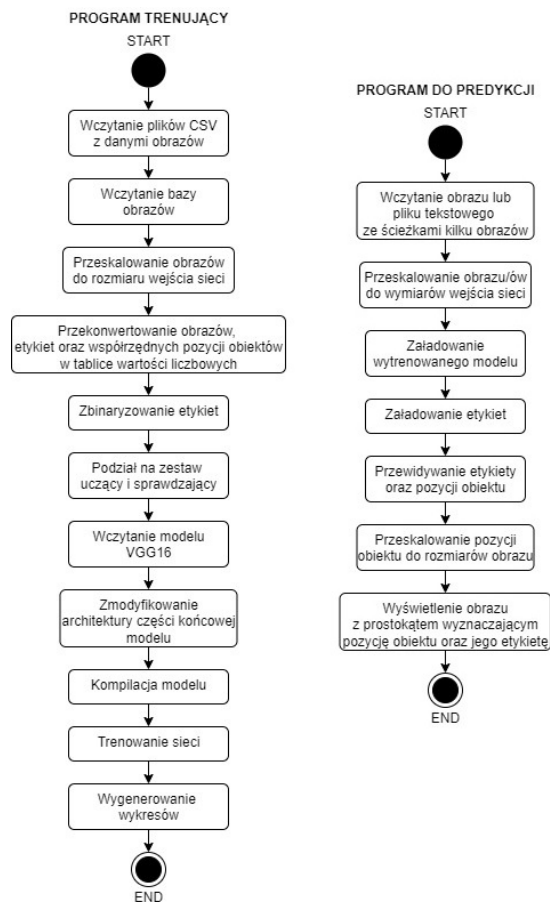
```

C:.
| config.py
| predict.py
| train.py
+---check
|     airplane.jpg
|     cat.jpg
|     helicopter.jpg
|     kangaroo.jpg
|     kangaroo2.jpg
|     person.jpg
+---dataset
|     +---annotations
|     |     airplane.csv
|     |     helicopter.csv
|     |     kangaroo.csv
|     +---images
|     |     +---airplane
|     |     +---helicopter
|     |     +---kangaroo
+---output
|     lb.pickle
|     model.h5
|     test_paths.txt
+---plots
|     accs.png
|     losses.png
+---__pycache__
|     config.cpython-39.pyc

```

Rys. 2.11. Struktura katalogów programu trzeciego

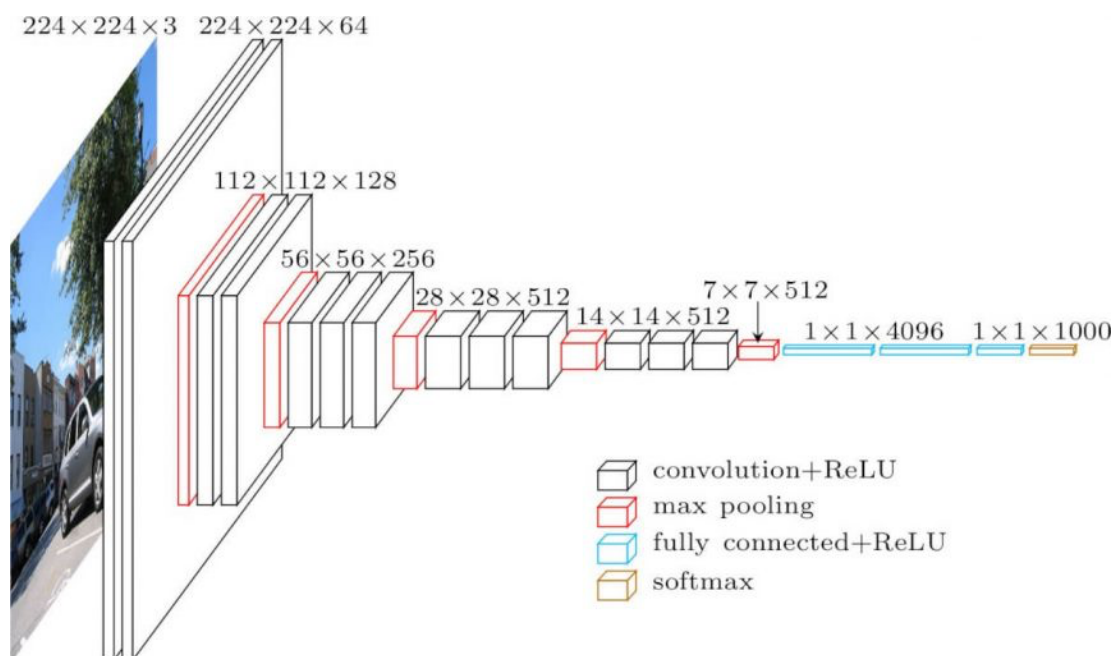
Aplikacja również zawiera dwa podprogramy służące do trenowania sieci neuronowej i dokonywania predykcji (Rys 2.12) oraz dodatkowy podprogram konfiguracyjny, w którym definiowane są istotne ścieżki plików i parametry procesu trenowania.



Rys. 2.12. Schemat działania algorytmu uczącego (po lewej) i algorytmu do predykcji (po prawej)

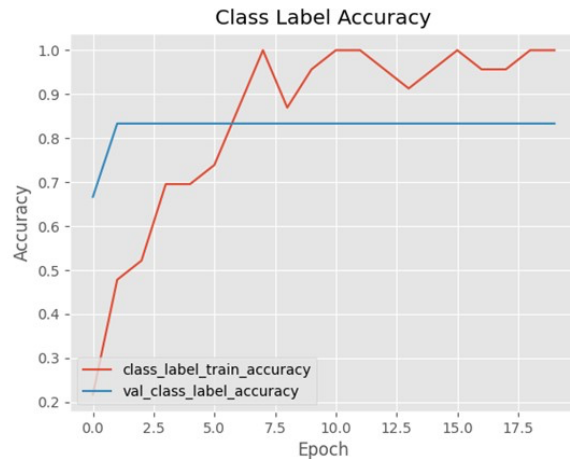
Podczas działania algorytmu uczącego sieć - w pierwszej kolejności - przygotowywane są dane wejściowe do sieci neuronowej. Wszystkie obrazy w bazie danych są odpowiednio sortowane i skalowane do właściwego rozmiaru. Dodatkowo, oprócz zbioru obrazów i etykiet, przetwarzane są także tablice współrzędnych obszarów, pozyskane z plików .csv.

Przygotowane dane są wczytywane do sieci neuronowej. W tym przypadku zastosowano gotowy model konwolucyjnej sieci neuronowej VGG16 (Rys. 2.13), który został wstępnie przetrenowany z zastosowaniem predefiniowanych wag z zestawu danych ImageNet. Końcowy człon sieci został zmodyfikowany poprzez rozdzielenie go na dwie gałęzie: jedną umożliwiającą predykcję klasy obiektu, a drugą realizującą operację predykcji pozycji obiektu na obrazie.



Rys. 2.13. Architektura konwolucyjnej sieci neuronowej VGG16 [3]

W kolejnym kroku działania algorytmu model o zdefiniowanej architekturze zostaje skompilowany i dopasowany do bazy danych. Po zakończeniu treningu, program zwraca informację o jego przebiegu w postaci wykresów funkcji dokładności oraz straty, w funkcji liczby kroków procesu uczenia (Rys. 2.14.). Wyższy stopień skomplikowania modelu wymaga dłuższego czasu oraz większych mocy obliczeniowych komputera do ukończenia procesu uczenia sieci neuronowej.



Rys. 2.14. Wykres funkcji dokładności procesu klasyfikacji podczas treningu sieci neuronowej

Utworzony w ten sposób model oraz tablica etykiet zostają załadowane do podprogramu do wykonywania predykcji. Na tym etapie analizowany obraz zostaje załadowany do pamięci, wykonywana jest klasyfikacja obiektu, a następnie zaznaczona zostaje jego prawdopodobna lokalizacja naobrazie w postaci kolorowego prostokąta (Rys. 2.15).



Rys. 2.15. Wynik procesu etykietyzacji obiektów dla sześciu losowo wybranych zdjęć

Poniżej przedstawiono tabelaryczne zestawienie wyników działania opracowanego podejścia automatycznej klasyfikacji i wyznaczania obszaru zawierającego obiekt.

Tab.2. Wyniki przeprowadzonych testów działania algorytmu

<b>Liczba obrazów w bazie danych wejściowych do sieci neuronowej</b>		
<i>Samolot</i>	10	
<i>Helikopter</i>	10	
<i>Kangur</i>	10	
<b>Subiektywna ocena klasy obiektu na obrazie</b>	<b>Wynik automatycznej klasyfikacji</b>	<b>Subiektywna ocena przewidywanego obszaru, w którym znajduje się obiekt</b>
<i>Kangur</i>	Kangur	Obszar obejmuje cały obiekt oraz obiekt znajdujący się obok (o podobnej kolorystyce)
<i>Helikopter</i>	Kangur	Obszar obejmuje cały obiekt oraz fragment tła u dołu obiektu
<i>Helikopter</i>	Helikopter	Obszar obejmuje cały obiekt oraz fragment tła u dołu i góry obiektu
<i>Samolot</i>	Samolot	Obszar obejmuje cały obiekt i niewielki fragment tła (najlepsze zaznaczenie)
<i>Samolot</i>	Samolot	Obszar obejmuje cały obiekt i niewielki fragment tła
<i>Kangur</i>	Kangur	Obszar obejmuje większość obiektu za wyjątkiem fragmentu jego górnej części
Liczba skutecznych prób rozpoznania obiektu na obrazie	5 na 6 (83,3 %)	

W przypadku trzeciego podejścia zastosowano ocenę jakościową dotyczącą predykcji położenia obszaru zawierającego obiekt. W tym podejściu proces przygotowania danych wymaga dodatkowej czynności w postaci przygotowania pliku .csv, zawierającego współrzędne obszarów, w których znajdują się obiekty. Podobnie jak w poprzednim przypadku, proces nauki sieci neuronowej może być przeprowadzony tylko raz, a powstały model może być stosowany wielokrotnie dla wielu różnych obrazów. Dodatkowo użytkownik otrzymuje informację o położeniu obiektu na obrazie.

## 2.6. Wnioski

Potrzeba automatyzacji procesów rozpoznania obrazu doprowadziła do utworzenia trzech podejść związanych z wykryciem i określeniem położenia obiektu na obrazie:

- Podejście umożliwiające, w oparciu o interfejs graficzny, ręczne etykietowanie obiektów, poprzez wczytanie obrazu do pamięci programu, zaznaczenie interesującego obszaru za pomocą myszy oraz zapisanie wyników pracy na dysku.
- Podejście umożliwiające opracowanie metody skutecznego automatycznego przypisywania etykiet obiektom w oparciu o prostą sieć neuronową.
- Podejście będące rozszerzeniem programu drugiego, umożliwiające automatyczne przypisanie etykiety oraz przedstawienie pozycji obiektu na obrazie dzięki zmodyfikowanej sieci neuronowej VGG16.

Należy podkreślić, że opracowane programy są łatwe w adaptacji do potrzeb użytkownika (zastosowanie dla obiektów dowolnych klas), a wyniki dotyczące skuteczności klasyfikacji obiektów oraz detekcji ich lokalizacji na obrazie są zadowalające.

## BIBLIOGRAFIA

1. Dollar P., Girschick R., He K., Gkioxari G. “Mask R-CNN”, Raport instytutowy, Facebook AI Research (FAIR), 2018. [dostęp 9 stycznia 2022], dostęp w Internecie: <https://arxiv.org/pdf/1703.06870.pdf>
2. Grala A., “Projekt i opracowanie oprogramowania umożliwiającego etykietowanie elementów na obrazie”, Projekt Inżynierski, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska, Gliwice 2022.
3. Hassan M. “VGG16 – convolutional network for classification and detection.” 20.11.2018, [dostęp 9 stycznia 2022], dostępny w Internecie: <https://neurohive.io/en/popular-networks/vgg16/>
4. Manduk S. “Yolo szybka detekcja i klasyfikacja obiektów.”, 02.06.2021 [dostęp 9 stycznia 2022], dostępny w Internecie:

- <https://aigeekprogrammer.com/pl/yolo-szybka-detekcja-klasyfikacja-obiektow/>
5. Mamczur M. “Jak działają konwolucyjne sieci neuronowe (CNN)”, 25.03.2021 [dostęp 9 stycznia 2022], dostępny w Internecie: <https://mirosławmaczur.pl/jak-dzialaja-konwolucyjne-sieci-neuronowe-cnn/>
  6. Prabhu R. “Understanding of convolutional neural network (cnn) – deep learning”, 4.03.2018 [dostęp 9 stycznia 2022], dostęp w Internecie: <https://medium.com/@RaghavPrabhu/understanding-of-convolutional-neural-network-cnn-deep-learning-99760835f148>
  7. Świeżewski J. “Yolo algorithm and yolo object detection.” 22.05.2020 [dostęp 9 stycznia 2022], dostępny w Internecie: <https://appsilon.com/object-detection-yolo-algorithm/>



# Rozdział 3

## KONSTRUKCJA URZĄDZENIA UMOŻLIWIAJĄCEGO DOSTĘP DO SZAFEK WISZĄCYCH OSOBOM NIEPEŁNOSPRAWNYM RUCHOWO

Jaksik Łukasz<sup>1</sup>, Ciupke Krzysztof<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, jaksiklukasz@gmail.com

<sup>2</sup> Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, krzysztof.ciupke@polsl.pl

### 3.1. Wstęp

Problem niepełnosprawności dotyka w Polsce co najmniej kilka milionów osób [1]. Osoby te każdego dnia borykają się z trudnościami w wielu obszarach. Dla osób niepełnosprawnych ruchowo wykonywanie nawet podstawowych czynności, takich jak na przykład przygotowanie posiłku, staje się problemem. Sprawia to, że osoby takie są często zależne od innych. Dlatego też bardzo ważne jest usuwanie wszelkich barier (m.in. architektonicznych) i wprowadzanie nowych rozwiązań gwarantujących poprawę jakości życia takich osób. W ostatnim czasie pojawia się coraz więcej nowych rozwiązań ułatwiających funkcjonowanie osób niepełnosprawnych ruchowo. W niniejszym opracowaniu przedstawiono propozycję rozwiązania umożliwiającego dostęp osobom niepełnosprawnym ruchowo i poruszającym się na wózku inwalidzkim, do szafek wiszących. Rozwiązanie pozwalające na korzystanie ze standardowej przestrzeni w kuchni jaką tworzą szafki wiszące, w znacznym stopniu powinno ułatwić samodzielne funkcjonowanie osób poruszających się na wózkach inwalidzkich, ale również z innymi rodzajami niepełnosprawności, uniemożliwiającymi sięganie do wspomnianych szafek.

## 3.2. Założenia projektowe oraz koncepcje urządzenia

Opracowywanie nowych rozwiązań dla zrealizowania zidentyfikowanej potrzeby rozpoczyna się zwykle od przyjęcia odpowiednich założeń i opracowania koncepcji urządzenia.

### Założenia projektowe

Urządzenie umożliwiające dostęp do szafek wiszących osobom niepełnosprawnym ruchowo powinno spełniać szereg założeń. W ramach pracy przyjęto, że - między innymi – urządzenie takie powinno:

- pozwalać na dostęp do zawartości szafek wiszących osobie niepełnosprawnej ruchowo korzystającej ze standardowego wózka inwalidzkiego,
- pozwalać na dostęp do pełnej zawartości z szafek wiszących,
- być bezpieczne,
- być komfortowe w obsłudze
- pozwalać na korzystanie z szafek z dowolnym sposobem otwierania drzwiczek (zawiasy lub siłowniki).

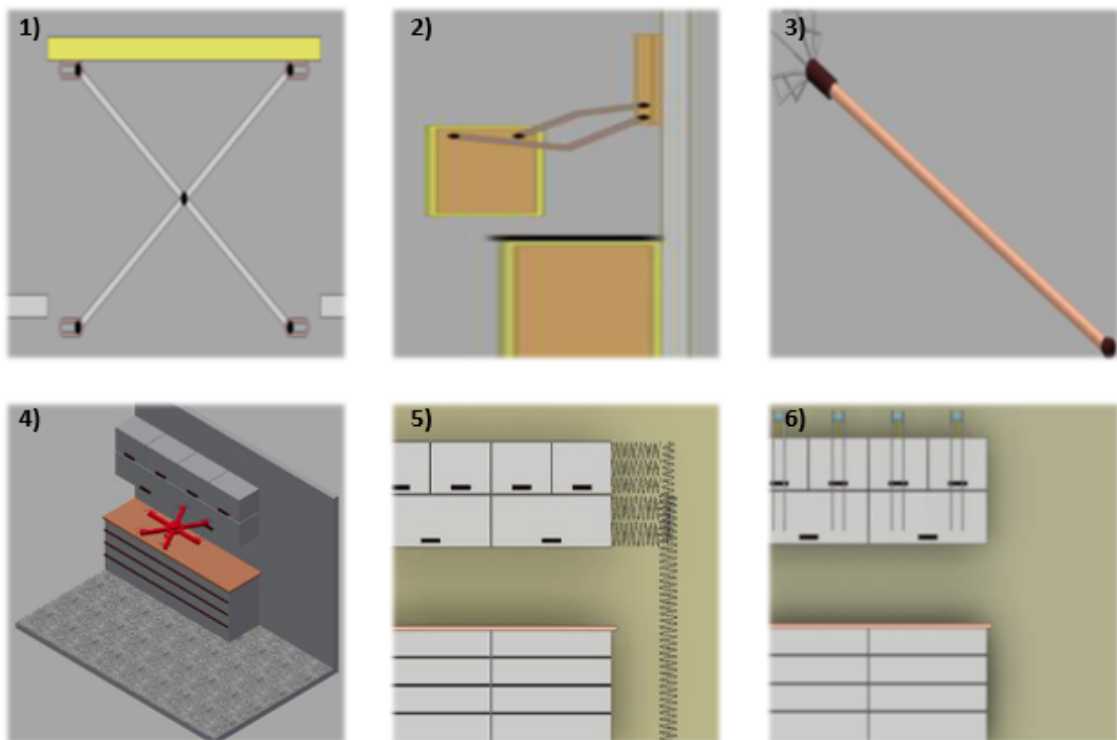
Ponadto przyjęto, że:

- wysokość kuchennego blatu roboczego wynosi 900 mm,
- szerokość blatu roboczego wynosi 700 mm.

### Koncepcje urządzenia

W ramach pracy opracowano sześć koncepcji, spośród których, w kolejnych etapach pracy, wybrano koncepcję optymalną [3]. Poszczególne koncepcje przedstawiono na rys. 3.2:

- koncepcja 1: urządzenie montowane w podłodze pozwalające na podnoszenie osoby razem z wózkiem inwalidzkim,
- koncepcja 2: szafki zamocowane na stelażu nożycowym,
- koncepcja 3: użycie specjalnego ramienia do wyjmowania zawartości szafek,
- koncepcja 4: zastosowanie drona wyciągającego rzeczy z szafek,
- koncepcja 5: automatyczny podajnik rzeczy znajdujących się w szafkach,
- koncepcja 6: podwieszane urządzenie sufitowe.



Rys. 3.1. Opracowane koncepcje urządzenia [3]

### Kryteria oceny oraz wybór koncepcji optymalnej

Wybór koncepcji optymalnej przeprowadzono na podstawie oceny kryterialnej. Konieczne zatem było przyjęcie odpowiedniego zbioru kryteriów i określenie wagi każdego z nich. Nie każde bowiem kryterium jest równie istotne. Koncepcja optymalna to koncepcja spełniająca w najwyższym stopniu wszystkie przyjęte kryteria.

Wyszczególniono następujący zbiór kryteriów [3]:

- K1 – niski koszt; szacunkowy koszt wyprodukowania urządzenia,
- K2 – niska masa; szacunkowa masa samego urządzenia wliczając dodatkowy osprzęt,
- K3 – łatwość obsługi; możliwość bezproblemowego i intuicyjnego korzystania z urządzenia, bez konieczności posiadania specjalnych zdolności koordynacyjnych,
- K4 – wysoka ładowność; dopuszczalna jak największa masa przemieszczanego elementu,

- K5 – łatwy sposób mocowania; jak najmniejsza ingerencja w standardowe szafki oraz w sposób ich mocowania, a także mała ilość potrzebnego miejsca do zamontowania urządzenia,
- K6 – niskie zaawansowanie technologiczne; im prostsze rozwiązanie tym bardziej niezawodne i z reguły mniej kosztowne,
- K7 – wysoka trwałość; szacowana trwałość urządzenia w zależności od zastosowanych materiałów i podzespołów,
- K8 – wysoki stopień bezpieczeństwa; m.in. możliwość zamontowania zabezpieczeń.

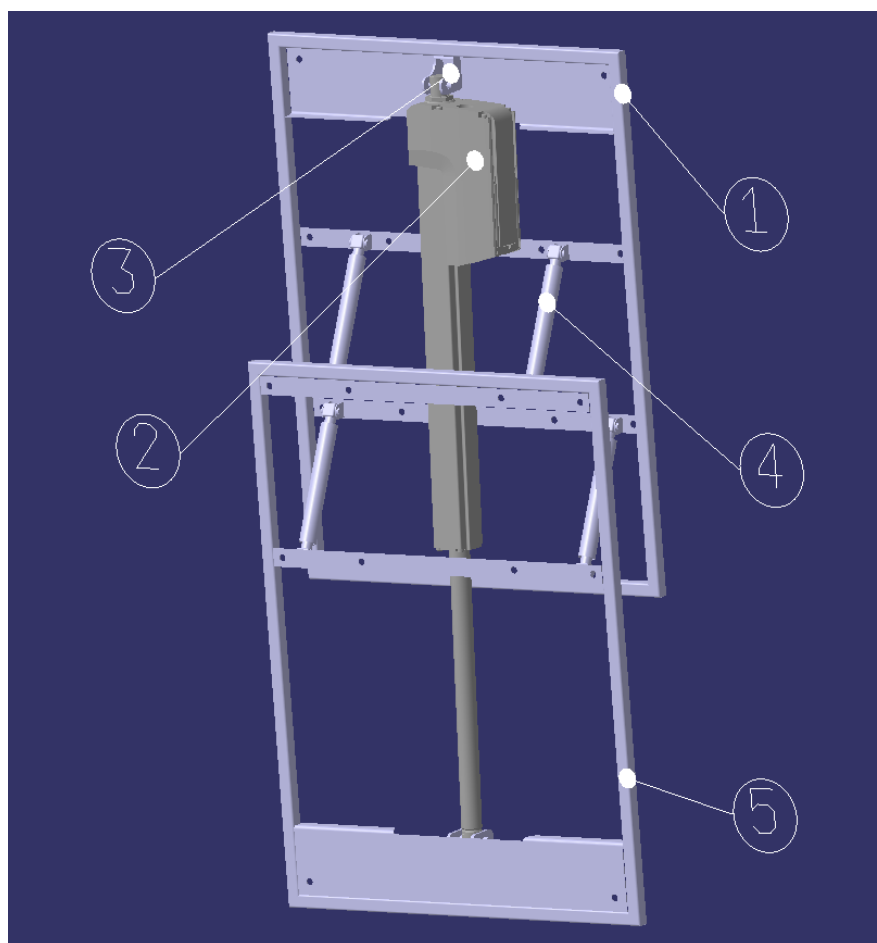
Każda z koncepcji została poddana ocenie względem każdego kryterium. Ostatecznie, w świetle przyjętych kryteriów jako koncepcja optymalna została wytypowana koncepcja 2 (szafka na stelażu nożycowym). Koncepcja ta w najwyższym stopniu (75,8%) spełnia przyjęte kryteria.

### **3.4. Konstrukcja urządzenia**

Kolejnym etapem pracy było opracowanie konstrukcji urządzenia bazującej na przyjętej koncepcji. Opracowano model urządzenia w środowisku CATIA v5. Urządzenie składa się z kilku podzespołów (por. rys. 3.2):

1. ramy górnej z otworami montażowymi, mocowanej do ściany,
2. siłownika elektrycznego,
3. połączenie sworzniowo-przegubowego do montażu siłownika,
4. ramion prowadzących,
5. ramy dolnej z otworami montażowymi, do której mocowana jest szafka.

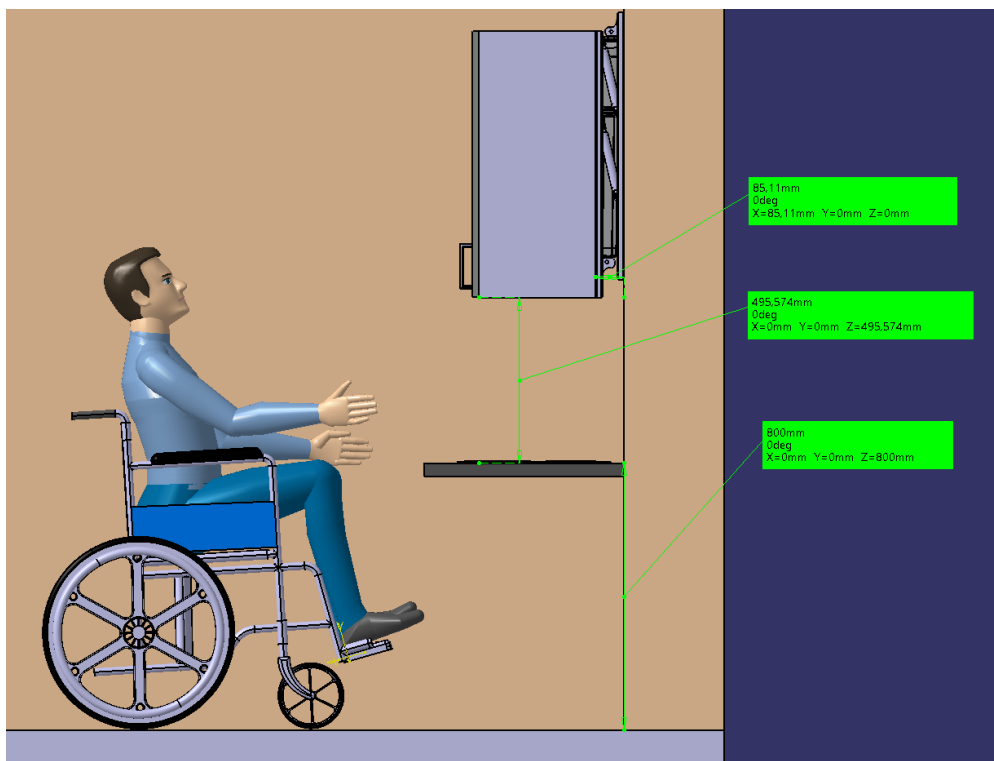
Sterowanie odbywa się przy pomocy układu sterującego siłownikiem oraz ramą urządzenia. Układ sterujący jest łatwo dostępny dla użytkownika. Umieszczono go w łatwo dostępnym miejscu, na obrzeżach blatu. Pozwala on na opuszczanie oraz podnoszenie szafki w dwóch trybach: manualnym oraz automatycznym. Pierwszy pozwala na pracę w pełnym zakresie wysokości w zależności i zatrzymanie szafki w dowolnym położeniu, drugi zaś umożliwia ruch szafki pomiędzy skrajnymi położeniami bez zatrzymania.



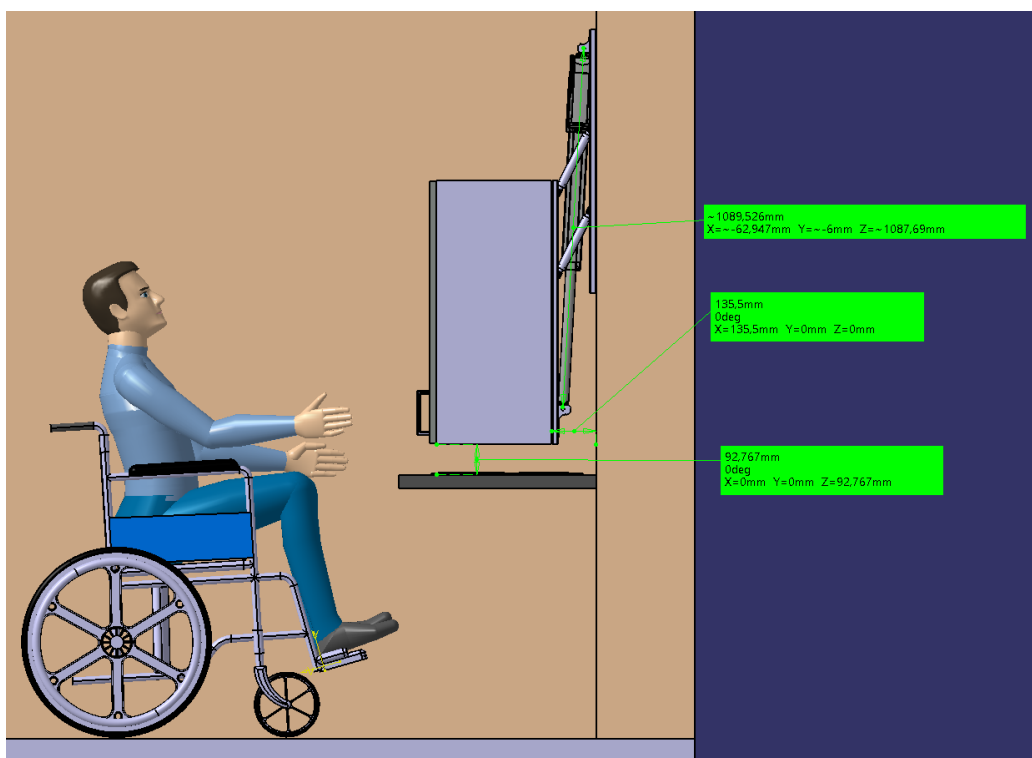
Rysunek 3.2 Podzespoły urządzenia [3]

W konstrukcji urządzenia zastosowano elementy typowe i katalogowe, ogólnie dostępne na rynku (np. do konstrukcji ramy zastosowano profile kwadratowe). Do napędu urządzenia zastosowano siłownik liniowy elektryczny HD24B017-0500LXX2MMSD [4].

Najważniejsze elementy urządzenia, takie jak rama oraz mocowanie zawiasów i siłownika, zostały zweryfikowane wytrzymałościowo. Wyszczególniono dwa newralgiczne połączenia. Pierwszym połączeniem było mocowanie górne siłownika liniowego, a drugim element montażowy ramiona prowadzącego. Przyjęto odpowiednie obciążenia szafki oraz kąty pracy ramion prowadzących. W obydwu przypadkach zostały spełnione odpowiednie warunki [2]. Dotyczy to zarówno wielkości przekrojów odpowiednich elementów jak również zastosowanych spoin.



Rysunek 3.3 Urządzenie w pozycji górnej [3]



Rysunek 3.4 Urządzenie w pozycji dolnej [3]

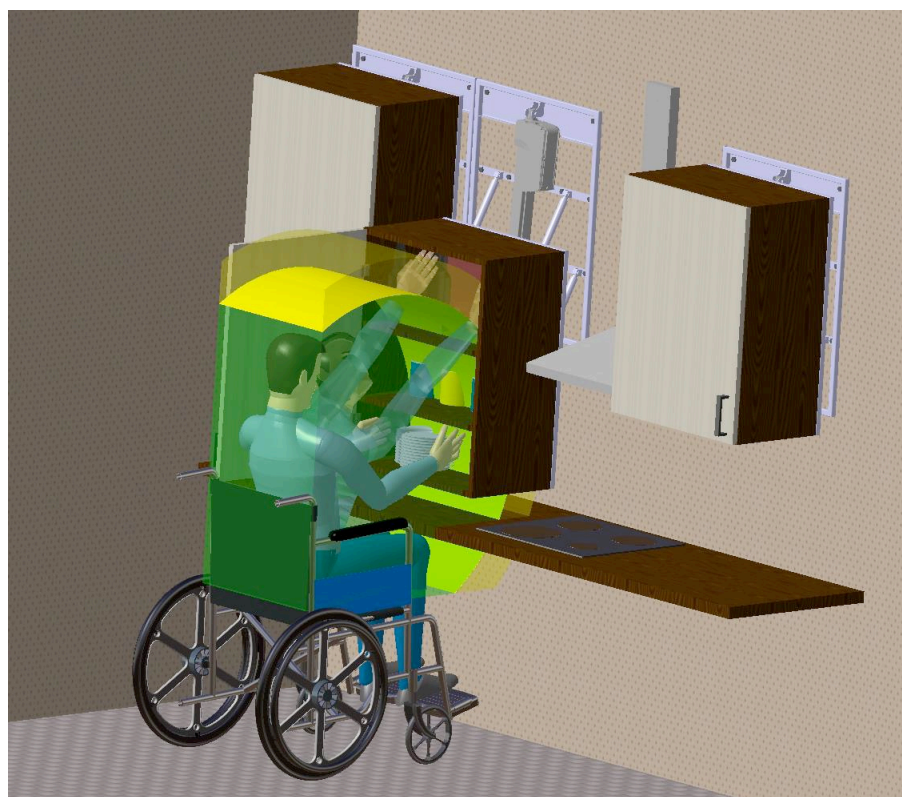
### 3.4. Analiza ergonomiczna urządzenia

W ostatnim etapie przeprowadzono analizę ergonomiczną urządzenia korzystając z modułu Ergonomics Design & Analysis dostępnego w oprogramowaniu CATIA v5. Znając zakresy ruchu badanego obiektu określono tzw. strefy komfortu, w których będzie się poruszać osoba niepełnosprawna ruchowo.

Na wstępie określono model osoby niepełnosprawnej ruchowo. Przyjęto, że:

- wzrost osoby wynosi 175 cm,
- zasięg ramion wynosi 700 mm,
- model będzie wykonany w pozycji siedzącej, dostosowanej do standardowego wózka inwalidzkiego,
- linia wzroku będzie skierowana w kierunku szafki wiszącej.

Na podstawie przyjętych założeń oraz doborze odpowiednich kątów kończyn górnych przeprowadzono niezbędne analizy ergonomiczne. Wyniki tych analiz przedstawiono na rys. 3.5.



Rysunek 3.5 Analiza stref ruchu [3]

Przeprowadzono również analizę pola widzenia, która ma na celu zweryfikowanie czy użytkownik będzie miał nie tylko dostęp do każdego miejsca w szafce, ale czy będzie w stanie dostrzec, co w szafce się znajduje. Wyniki analizy pola widzenia przedstawiono na rys 3.6.



Rysunek 3.6 Analiza pola widzenia [3]

Wyniki obydwu analiz potwierdzają, że użytkownik nie powinien mieć problemu z dostępem do zawartości szafek, jak również z tym, by mógł widzieć całą zawartość szafki.

### 3.6. Podsumowanie

W artykule opisano proces opracowania konstrukcji urządzenia umożliwiającego dostęp do szafek wiszących osobom niepełnosprawnym ruchowo. Proces obejmuje etapy od przyjęcia założeń, poprzez opracowanie koncepcji, po weryfikację urządzenia, zarówno wytrzymałościową jak i ergonomiczną. Opracowane urządzenie powinno ułatwić codzienne funkcjonowanie osobom poruszającym się na wózku inwalidzkim.



Przy opracowywaniu urządzenia głównymi aspektami były bezpieczeństwo oraz komfort użytkowania.

Urządzenie opracowano w taki sposób, aby w pozycji wyjściowej szafki znajdowały się w standardowym położeniu. Pozwala na swobodne korzystanie z blatu roboczego kuchni nie tylko osobie niepełnosprawnej, ale również np. pozostałym osobom pełnosprawnym.

Przyjęte rozwiązanie winno ułatwić wykonywanie codziennych czynności osobom poruszającym się na wózku, co w konsekwencji podniesie jakość ich życia i pozwoli na ich większą samodzielność i uniezależnienie od innych.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. GUS, Informacja o dostępności danych dotyczących osób niepełnosprawnych na poziomie województw, powiatów i gmin. <https://www.stat.gov.pl>.
2. Bródka J., Kozłowski A. (red.): Projektowanie i obliczanie połączeń i węzłów konstrukcji stalowych, t. 1. PWT, Rzeszów, 2009.
3. Jaksik Ł.: Konstrukcja urządzenia umożliwiającego dostęp do szafek wiszących osobom niepełnosprawnym ruchowo. Praca dyplomowa magisterska. Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Politechnika Śląska, Gliwice, 2021.
4. Electrak® HD. Linear Actuator with Flexible Onboard Controls. Katalog firmy Thomson. 2021.



# Rozdział 4

## PROJEKT PROTEZY KOŃCZYNY DOLNEJ DLA DZIECKA

Kiersnowski Wojciech<sup>1</sup>, John-Banach Małgorzata<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, wojkie774@student.polsl.pl

<sup>2</sup>Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, malgorzata.john-banach@polsl.pl

### 4.1. Wprowadzenie

Nikły zakres dostępnych rozwiązań w obrębie dziecięcego protezowania ortopedycznego wskazuje możliwy kierunek rozwoju tego obszaru. Odpowiedzią na te potrzeby jest więc projekt, którego celem jest rozwiązanie konstrukcyjne protezy kończyny dolnej dla dziecka pozostającego w ciągłej fazie wzrostu, uwzględniające możliwość wymiany elementów protezy lub ich adaptacji tak, aby zapewnić możliwe długi okres użytkowania. Podstawą dla tego opracowania było wykonanie projektu inżynierskiego o tożsamym tytule, w ramach którego zaproponowano rozwiązanie konstrukcyjne bazujące na adapterach umożliwiających wymianę modułów protezy oraz implementację segmentu teleskopowego, którego zakres regulacji pozwala na adaptacyjną zmianę długości względem zdrowej kończyny. Określono specyfikę zmian wartości masy oraz długości kończyny dolnej dziecka będącego przykładem badawczym. W toku pracy przeprowadzona została również analiza biomechaniczna chodu dziecka oparta o rejestrację poprawnego wzorca tej formy lokomocji. Otrzymane wyniki były pomocne w określeniu zakresu ruchomości projektowanej protezy. Końcowy model protezy został poddany analizie wytrzymałościowej celem weryfikacji poprawności założeń konstrukcyjnych.

## 4.2. Protezy kończyny dolnej

W języku greckim słowo *prosthesis* oznacza zamocowanie bądź przyłączenie. We współczesnym rozumieniu tego słowa, z perspektywy branży medycznej dokładniejszym stwierdzeniem wydaje się być „zastępowanie” lub „uzupełnienie”. Nadrzędną funkcją protezy jest przejęcie funkcji kończyny czy organu, który wskutek znacznej deformacji lub amputacji nie może pełnić swojej roli. I choć istota protezowania wydaje się jasna, potrzeby i możliwości ruchowe pacjenta w znaczący sposób warunkują proponowany układ mechaniczny, użyte materiały i stosowane technologie. Wymienione zmienne mogą znacząco różnić się względem siebie, stanowiąc o typie protezy. Podstawowy podział protez kończyn dolnych wyróżnia dwa główne typy protez: tymczasowe oraz ostateczne.

- Proteza tymczasowa jest pierwszym rozwiązaniem protezowym dla pacjentów, stosowanym możliwie szybko po wygojeniu i zahartowaniu kikuta. Jest to rozwiązanie proste, oparte o konstrukcję skorupową, o ograniczonej ruchomości, którego integralną częścią jest lej protezowy. Do najważniejszych korzyści płynących ze stosowania protez tymczasowych należy wskazać ochronę kikuta, kontrolę obrzęków i efektywną naukę pionizacji, dając szansę na wypracowanie nawyku efektywnego poruszania się.
- Proteza modułarna - w przeciwieństwie do protez tymczasowych, rozwiązanie modułarne jest ostateczne. Uznawane jest za standard protezowy na całym świecie. Z uwagi na modułową budowę pozwala na wysoki poziom personalizacji i optymalnego doboru elementów do aktualnego zapotrzebowania pacjenta. Rozwiązanie oparte jest między innymi o lej protezowy, przegub kolanowy, adaptery łączące oraz stopę protezową. Każdy z wymienionych komponentów ma zasadniczy wpływ na funkcjonowanie całej protezy, co skutkuje mnogością rozwiązań technicznych, szczególnie widocznych w zakresie kolana protezowego. Wyróżnić należy rozwiązania mechaniczne bazujące na jednoosiowych lub wieloosiowych przegubach, systemy hydrauliczne, pneumatyczne oraz mioelektryczne systemy wspomagane silnikami elektrycznymi.

Z uwagi na indywidualne możliwości ruchowe oraz zróżnicowane potrzeby pacjentów wskazać należy dodatkowe grupy rozwiązań protezowych, których specyfika warunkuje możliwe obszary zastosowania. Rozwiązania te są najczęściej uzupełnieniem ogółu rozwiązania modułowego mającym na celu poprawę działania protezy lub zmianę jej walorów estetycznych, a także dostosowanie protezy pod czynności o bardziej wymagającej i złożonej kinematyce. Wyróżnić należy protezy sportowe, protezy i pokrycia kosmetyczne oraz mioelektryczne elementy protez, stanowiące często odrębną, prężnie rozwijaną grupę określaną potocznie mianem protez bionicznych.

Trudno natomiast odnaleźć odrębną grupę protez dedykowaną najmłodszym użytkownikom. Wiądący producenci mają w swojej ofercie poszczególne moduły zoptymalizowane pod kątem młodych osób, o niższej wadze i sporych możliwościach ruchowych, jednak rzadko oferują kompleksowe rozwiązania czy serie produktów dedykowane dzieciom pozostającym w ciągłej fazie wzrostu. Tym samym, spodziewanym efektem pracy było poszerzenie stanu wiedzy w tym zakresie i propozycja rozwiązania konstrukcyjnego uzupełniającego tę lukę.

### **4.3. Elementy protezy modułowej**

Fakt uznania protez modułowych za standard w protezowaniu kończyn dolnych na całym świecie umotywowany jest możliwością dostosowania tego rozwiązania do zróżnicowanych potrzeb pacjenta, biorąc pod uwagę nie tylko poziom amputacji, ale przede wszystkim warunki fizyczne pacjenta takie jak waga, wzrost, wiek czy stopień ogólnej sprawności fizycznej. Uniwersalność stosowania tego rozwiązania ma swoje przełożenie w mnogości rozwiązań w obrębie poszczególnych modułów protezy. W skład protezy będącej przedmiotem pracy wchodzi wymienione kolejno elementy: stopa protezowa, kolano protezowe, lej protezowy i adaptory łączące.

#### **Stopa protezowa**

Nadrzędnym zadaniem stopy protezowej jest zapewnienie stabilizacji niezbędnej w trakcie chodu, jak również przenoszenie obciążeń wynikających z masy ciała użytkownika i reakcji podłoża. Wyzwaniem dla tego elementu protezy jest właściwa adaptacja do profilu terenu oraz zapewnienie wymaganej

amortyzacji. Główny podział stóp protezowych z uwagi na ich mechanikę wyróżnia dwa typy: stopy bierne (SACH) – z nieruchomym stawem skokowym oraz stopy aktywne, w których ruch w stawie skokowym zapewnia odpowiedni układ mechaniczny wspomagany często hydrauliką. Choć rozwiązanie bierne jest niewątpliwie mniej zaawansowane, dla wielu pacjentów o niskim poziomie aktywności fizycznej jest to wystarczający środek. Odpowiedzią na ograniczenia stóp biernych są stopy aktywne, w których ruchomy układ stawu skokowego i śródstopia pozwala osiągnąć dostateczny zakres ruchomości zbliżony do naturalnego. Połączenie wspomnianego układu kinematyki ze sprężystymi materiałami, które kumulują energię w trakcie stawiania pięty na podłożu, następnie oddając ją podczas fazy wybicia (oderwania palców od podłoża), pozwala na efektywną propulsję.

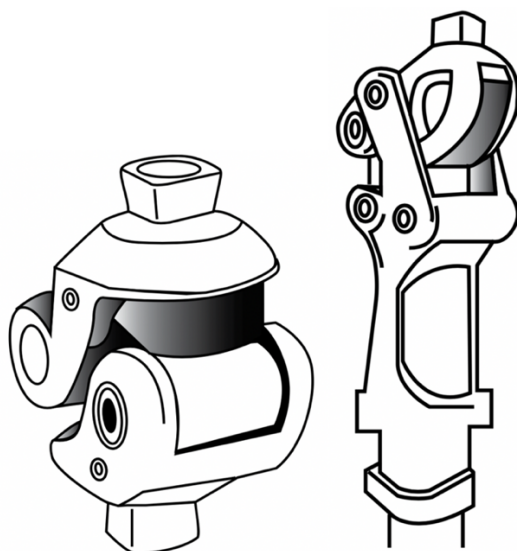


Rys. 4.1. Aktywna stopa protezowa *Ottobock Meridium* [9]

### **Kolano protezowe**

Kolano protezowe jest pod względem konstrukcyjnym najbardziej wymagającym i złożonym elementem. Sam staw kolanowy jest największym stawem w ciele człowieka, stanowi połączenie uda z podudziem, a jego kinematyka bazuje na złożeniu ruchu obrotowego i posuwistego oraz ruchach rotacyjnych. Do głównych zadań stawu kolanowego należy przenoszenie dużych obciążeń niezależnie od podejmowanych aktywności oraz zapewnienie pełnej wymaganej ruchomości przy zachowaniu dostatecznej stabilizacji. Z uwagi na rodzaj stosowanego mechanizmu, wyróżnia się dwa typy kolan protezowych: monocentryczne, z jedną osią obrotu, tym samym posiadające stały punkt

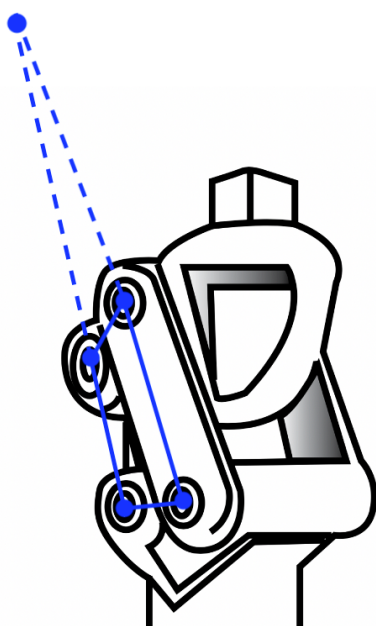
rotacyjny oraz kolana policentryczne, wieloosiowe, w których punkt obrotu jest zmienny - zależny od stopnia ugięcia, przemieszcza się po trajektorii półokrągłego łuku [1, 2]. Rozwiązanie jednoosiowe jest często określane w literaturze jako „simple hinge” - zawias prosty, co daje wyobrażenie o funkcjonalności tego mechanizmu. Do zalet rozwiązania z jedną osią obrotu należy wskazać prostotę układu, niską wagę, wytrzymałość oraz aspekt ekonomiczny.



Rys. 4.2. Kolana protezowe, od lewej: kolano jednoosiowe, kolano policentryczne [2]

Kolana policentryczne najczęściej przyjmują postać czworoboku przegubowego (ang. *four bar linkage*). Do niewątpliwych zalet tego rozwiązania należy wysoka uniwersalność z uwagi na możliwie najlepsze odwzorowanie wzorca ruchu kolana anatomicznego oraz efekt „skrócenia” dolnej części protezy w momencie oderwania palców stopy od podłoża, co pozwala uzyskać większy prześwit zapewniając tym samym lepsze bezpieczeństwo i swobodę chodu. Efekt ten jest wspólny dla wszystkich kolan policentrycznych dzięki ICR (the Instant Centre of Rotation). Jest to teoretyczny punktu obrotu, który znajduje się poza obrębem mechanizmu, w strzałkowej płaszczyźnie ruchu [3, 10].

Wymienione mechanizmy, jedno- lub wieloosiowe mogą stanowić gotowe rozwiązanie protezowe, jednak złożony wzorzec chodu oraz potrzeby pacjentów wymusiły opracowanie szeregu komplementarnych rozwiązań wspierających pracę podstawowych mechanizmów.



Rys. 4.3. Punkt ICR dla kolana policentrycznego o budowie czworoboku przegubowego (na podstawie [2])

Dla lepszej dynamiki układu oraz odciążenia pacjenta stosuje się aktywne systemy regulujące/wspomagające ruch. Ich celem jest imitacja pracy mięśni w obrębie stawu, która w naturalnych warunkach na bieżąco dostosowuje się do podejmowanej aktywności zapewniając płynny ruch, amortyzację i stabilizację. Jednym z najczęściej stosowanych rodzajów systemu regulującego jest rozwiązanie hydrauliczne, wspomagane często pneumatyką. Bazą tego rozwiązania jest jedno- lub wieloosiowy mechanizm zgięcia wspierany przez tłumik hydrauliczny, który pozwala na manualne lub zautomatyzowane dostosowanie parametrów pracy takich jak ugięcie wstępne, opór zgięcia czy tłumienie powrotu. Przeszkodą, która może stanowić wyzwanie dla bardziej konwencjonalnych rozwiązań są między innymi schody czy pochylnie, w przypadku pokonywania których, kompensacja i tłumienie wynikające z pracy jednostki hydraulicznej okazują się nieodzowne, a samo pokonywanie wspomnianych przeszkód maksymalnie uproszczone.

### **Lej protezowy**

Lej protezowy jest elementem integrującym protezę z ciałem pacjenta. Jego poprawny dobór jest kluczowy do osiągnięcia optymalnej funkcjonalności całej protezy oraz komfortu użytkowania, w tym ochrony kikuta. Na dobór odpowiedniej, spersonalizowanej formy leja oraz sposobu jego zawieszenia duży wpływ mają czynniki związane bezpośrednio z kikutem, takie jak jego długość,



kształt czy stan tkanek miękkich. Popularną, tym samym konwencjonalną metodą pozwalając osiągnąć indywidualny kształt leja, jest wykonanie formy gipsowej w postaci negatywu. Następnie tworzony jest pozytyw gipsowy, na którym wykonuje się gotowy lej protezowy. Metodą alternatywną, zyskującą w ostatnich latach na popularności jest skan 3D, który po odpowiednim przetworzeniu przy pomocy oprogramowania pozwala na zamodelowanie leja protezowego w programach CAD/CAM, umożliwiając późniejsze wytworzenie np. w technologii druku 3D. Najczęściej używanymi materiałami stosowanymi do produkcji leja są żywice (akrylowa/epoksydowa), włókno węglowe oraz wybrane termoplasty. Ponadto, materiały znajdujące się wewnątrz leja, mające kontakt z ciałem pacjenta muszą być biomateriałami o dodatkowych właściwościach bakteriostatycznych i/lub bakteriobójczych [6, 7]. Mocowanie leja protezowego do kikuta odbywa się poprzez: mechaniczne zawieszenie przy pomocy pasa lub szelek, system podciśnieniowy (lej pełnokontaktowy) oraz hybrydowe rozwiązanie z linerem wewnętrznym oraz pinem mocującym. Decyzja o wyborze konkretnego rozwiązania mocującego podejmowana jest w oparciu o poziom amputacji oraz ocenę kondycji kikuta.

### **Adaptory łączące**

Wymienione wcześniej składowe protezy kończyny dolnej stanowią spójną całość dopiero przy odpowiednim ich połączeniu. W tym celu stosowane są systemy adapterów i elementów łączących. Są one dobierane do zastosowanych elementów głównych, z zachowaniem możliwie jednolitego systemu mocującego (często autorskie rozwiązanie producenta). Adaptory rurowe i tulejowe zapewniają odpowiednią odległość między stawami protezowymi nadając całej protezie wymaganą długość. Wybrane adaptory pozwalają na szybką wymianę elementów, np. stopy protezowej, zależnie od potrzeb użytkownika. Stosowane są również adaptory skrętne, które w znacznym stopniu ułatwiają codzienne funkcjonowanie z protezą, umożliwiając np. krzyżowanie nóg siedząc [9].

## **4.4. Analiza biomechaniki chodu dzieci**

W kontekście tematu wykonanej pracy, zasadna wydaje się analiza biomechaniki chodu u szczególnej grupy pacjentów, którą są dzieci. Z uwagi na

fakt, iż wśród dzieci proces kostnienia nie jest jeszcze ukończony, a ich wzrost, w tym długość kończyn ulega ciągłej zmianie, specyfika chodu wymaga osobnej oceny.

Analizie został poddany jedenastoletni, pełnosprawny chłopiec, o wysokim poziomie sprawności ogólnej, zawodnik Judo. Badanie zostało wykonane przy pomocy algorytmu numerycznego, którego autorem jest firma *Skillforce Sp. z o.o.* Dzięki uprzejmości Pana Macieja Gduli, prezesa firmy, poddano analizie wcześniej nagrany materiał video, a efektem implementacji algorytmu są otrzymane wykresy kątów w stawach: skokowym, kolanowym i biodrowym. Wyznaczone tym samym kąty ugięcia w stawach jasno precyzują, do jakiej ruchomości protezy kończyny dolnej należy dążyć, aby zapewnić jej dostateczną funkcjonalność. Pierwszym krokiem badania diagnostycznego, było zebranie materiału video, obejmującego wykonywanie wskazanych czynności ruchowych przez pacjenta, tak jak pokazano na rys. 4.4.



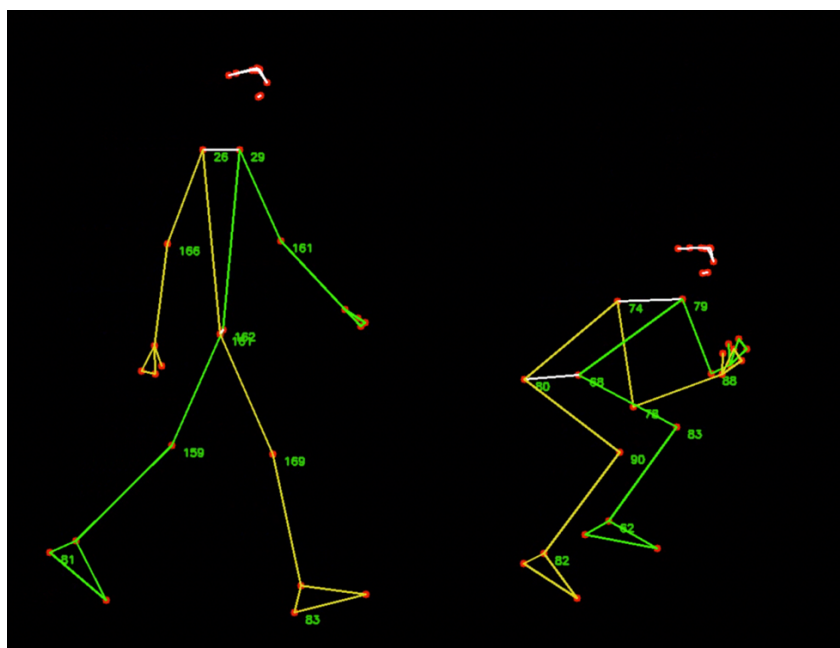
Rys. 4.4. Stopklatki z nagrań przedstawiających wykonywanie wybranych czynności ruchowych – chód i przysiad

Następnie, w celu zapewnienia dokładności pracy algorytmu dokonano wskazanych pomiarów ciała. Zebrane dane wprowadzono do oprogramowania. Wykonane pomiary dotyczyły wzrostu oraz przybliżonych długości kończyn i wybranych odległości między stawami, ujęte w tab. 4.1:

Tab. 4.1. Wybrane wymiary ciała pacjenta

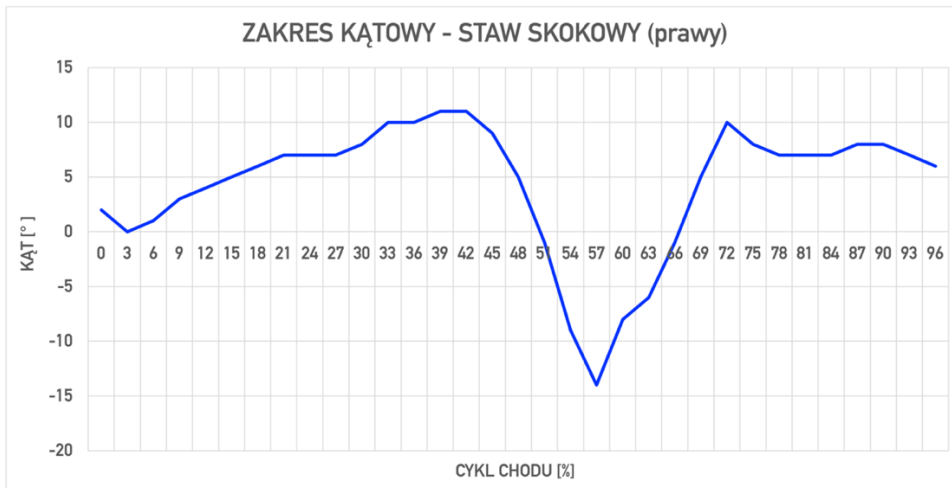
Wybrane wymiary ciała	Wzrost	Kość udowa	Kość piszczelowa	Stopa	Bark – Biodro	Mostek – Środek miednicy
Długość [cm]	145	36	35	23,5	38	36

Po wprowadzeniu wymiarów do programu, automatycznie została naniesiona siatka linii, zapisując obraz w postaci modelu fenomenologicznego, z uwzględnieniem kątów stawowych zmiennych w czasie trwania aktywności.

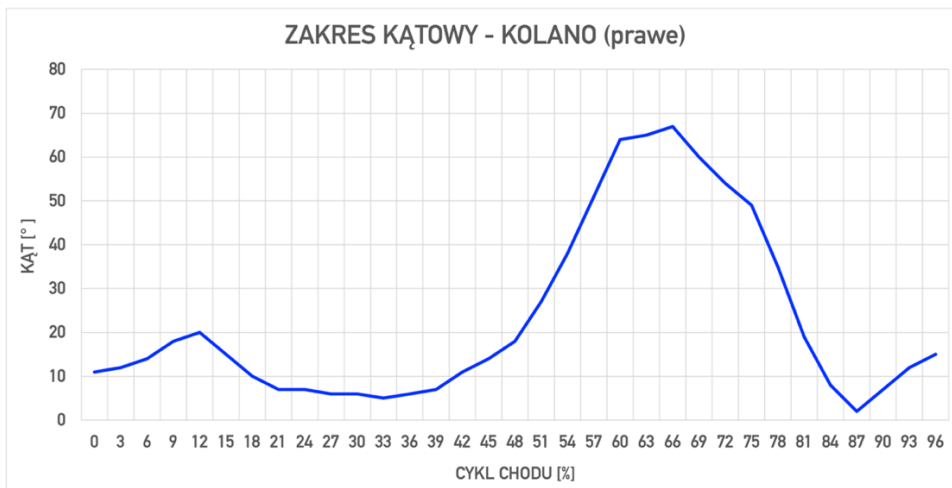


Rys. 4.5. Modele fenomenologiczne wybranych czynności ruchowych – chód i przysiad

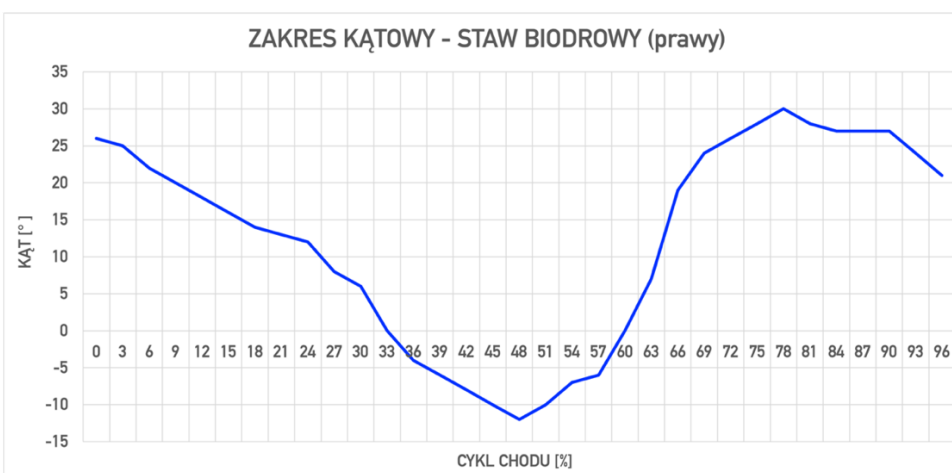
Wynikiem działania programu było zebranie danych numerycznych rejestrowanych w trakcie trwania aktywności ruchowej. Dysponując takimi danymi z łatwością można utworzyć wykresy przebiegów kątowych. Wykresy te zostały pierwotnie utworzone dla czasu trwania całego zarejestrowanego video, jednak w celu jednoznacznej interpretacji zmieniono je tak, aby prezentowały jedynie pojedynczy cykl. Badaniu ostatecznie została poddana tylko aktywność chodu.



Rys. 4.6. Zakresy kątowe w płaszczyźnie strzałkowej dla stawu skokowego



Rys. 4.7. Zakresy kątowe w płaszczyźnie strzałkowej dla stawu kolanowego



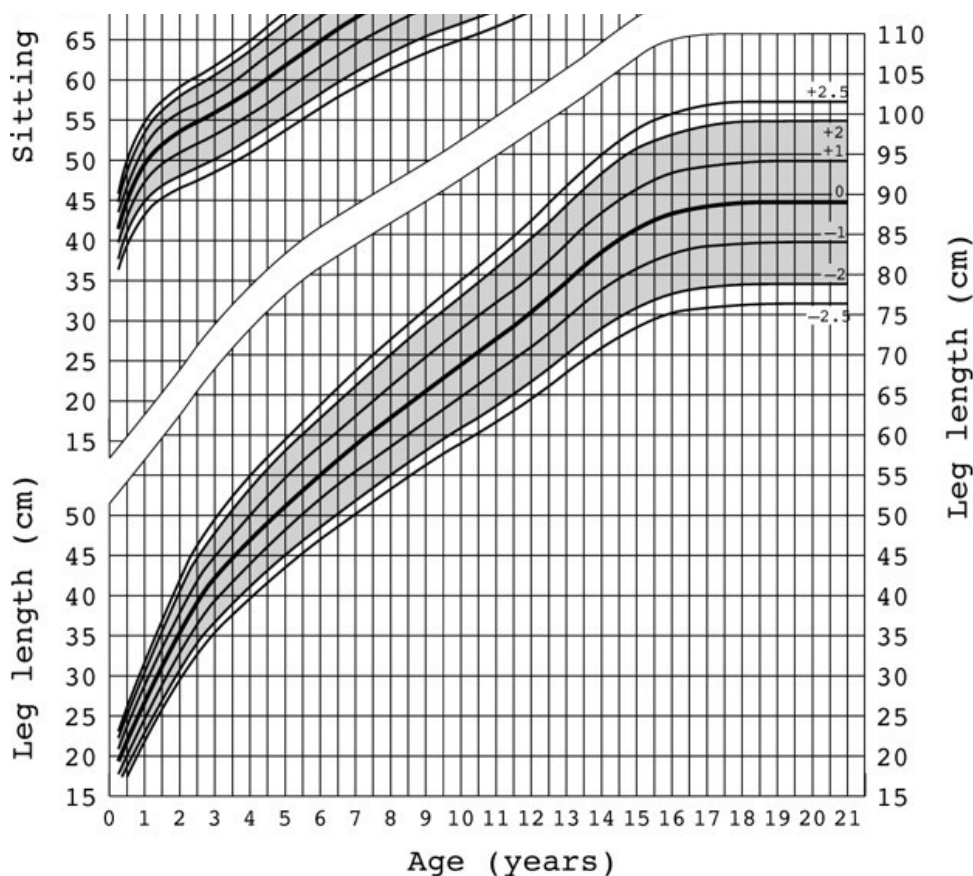
Rys. 4.8. Zakresy kątowe w płaszczyźnie strzałkowej dla stawu biodrowego

W celu potwierdzenia zgodności otrzymanych wyników ze stanem rzeczywistym dokonano porównania wyników z bliźniaczymi badaniami pod tytułem: „*Analiza Biomechaniczna chodu dzieci z zastosowaniem systemu BTS SMART*” prowadzonymi przez pracowników Katedry Mechaniki Stosowanej Politechniki Śląskiej w Gliwicach we współpracy z Katedrą i Zakładem Fizjoterapii Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach [5]. Wykresy otrzymane w wyniku wspomnianych badań są tożsame z wynikami analizy przeprowadzonej na potrzeby niniejszej pracy. Stanowi to potwierdzenie stanu rzeczywistego, a więc zapewnia użyteczność dla określania minimalnej ruchomości protezy i dalszych etapów jej projektowania. Uzyskane zakresy kątowe kształtują się następująco:

- dla stawu skokowego: od  $-14^{\circ}$  do  $11^{\circ}$ ,
- dla stawu kolanowego: od  $3^{\circ}$  do  $68^{\circ}$ ,
- dla stawu biodrowego: od  $-12^{\circ}$  do  $30^{\circ}$ .

#### **4.5. Analiza rozwoju fizycznego dziecka**

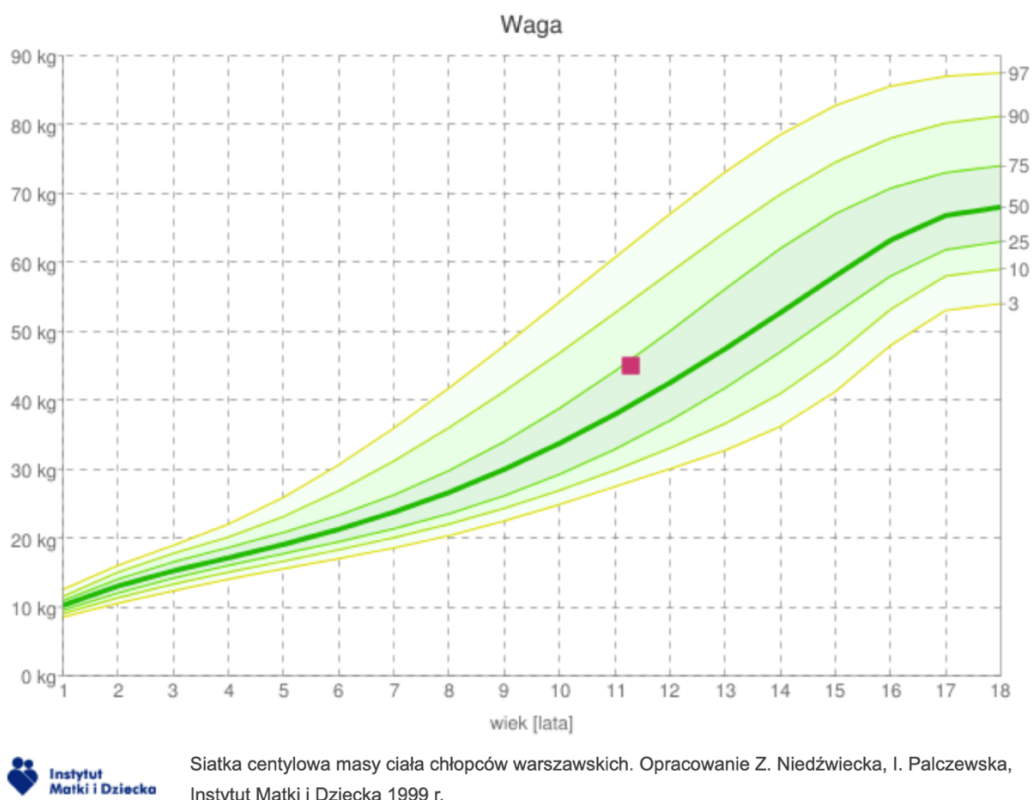
Jednym z wyzwań projektowania rozwiązań protezowych dla dzieci jest ich adaptacja do ciągłego wzrostu dziecka, co bezpośrednio wiąże się ze zmianą długości kończyn i przybieraniem na wadze. W przypadku mężczyzn, proces ten trwa z różną intensywnością od okresu niemowlęcego aż do ok. 18-19 roku życia. Rodzi się więc obawa, na ile uniwersalna w ujęciu czasowym może być proteza, której użytkowanie będzie bezpieczne i komfortowe, zakładając, że pacjent rozwija się poprawnie. W tym celu analizie zostały poddane wyniki badań holenderskiej grupy naukowców [4], których efektem jest poniżej charakterystyka zmian długości nóg oraz wysokości siedzenia wśród mężczyzn (fragment):



Rys. 4.9. Długość nóg i wysokość siedzenia dla mężczyzn w wieku 0-21 lat (fragment) [4]

Tym samym, jedenastolatek, który jest przykładem badawczym charakteryzuje się długością nogi równą 73 cm – co ma swoje odzwierciedlenie w długościach kości ujętych w tab. 4.1. Wartość ta wpisuje się dokładnie w środek normy (SD0). Tym samym, w oparciu o podaną kartę, znaną również pod nazwą siatki centylowej, można aproksymować, iż rozpatrywany chłopiec w wieku 13 lat będzie miał nogę długości 78 cm, w wieku 15 lat – 86 cm, zaś maksymalna długość wyniesie ok. 89 cm, tym samym koniec fazy wzrostu przypadnie na 18 rok życia.

O ile analiza wzrostu z perspektywy projektowania protezy nie wydaje się istotna, tak zmiany w wadze są kluczowe dla dobrania odpowiednich materiałów i zapewnienia protezie wymaganej wytrzymałości. W celu aproksymacji przyrostu wagi wykorzystano kolejną siatkę centylową, opracowaną przez Instytut Matki i Dziecka, na której czerwonym punktem zaznaczono aktualny stosunek wagi do wieku badanego chłopca:



Rys. 4.10. Siatka centylowa masy ciała dla chłopców w wieku 0-18 lat z zaznaczonym wskaźnikiem aktualnego stosunku wagi do wieku przykładu badawczego [11]

Obecnie chłopiec waży ok. 45 kilogramów. Wskazuje to na 75 centyl. Analiza siatki centylowej pozwala więc stwierdzić, iż w wieku 13 lat masa ciała wyniesie ok. 57 kilogramów, w wieku 15 lat – 66 kg, a w wieku 18 lat osiągnie 73 kilogramy. W praktyce, szereg zmiennych może definiować masę ciała na różnych etapach rozwoju, jednak na potrzeby rozważań w dalszej części pracy wymienione wartości przyjęto za wiążące.

## 4.6. Rozwiązanie konstrukcyjne

### Koncepcja i założenia

Punktem wyjścia dla dalszego opracowania koncepcji końcowego modelu jest ustalenie typu protezy. W odniesieniu do występujących na rynku konsumenckim protez, opisanych szerzej w punkcie 4.1, wybór pada na względnie uniwersalną protezę modułarną, której głównymi atutami jest wymiennosc

poszczególnych elementów oraz implementacja możliwie najnowszych rozwiązań, zależnie od potrzeb i możliwości. Proteza ta, zgodnie z przyjętym założeniem obejmować ma dwa stawy: skokowy i kolanowy, ponieważ za miejsce amputacji przyjęto poziom uda (transfemoral), z zachowaniem kikutu stanowiącego 35 – 60% długości przecinanej kości udowej. Wspomniana wymiennosc elementów ma w założeniu pozwolić na bezproblemową wymianę modułów ze względu na ich zużycie lub nagły wzrost masy ciała powodujący potencjalne niebezpieczeństwo użytkowania. Ponadto, skupiając się na możliwościach adaptacyjnych protezy do zmian powodowanych ciągłym rozwojem fizycznym, który przybliżono w punkcie 4.5, oraz zakresach kątowych otrzymanych wskutek przeprowadzonej analizy chodu, zaproponowano trzy główne rozwiązania konstrukcyjne, ujęte w poniższej tabeli:

Tab. 4.2. Wybrane rozwiązania projektowanej protezy

<b>Elementy protezy modularnej</b>	<b>Minimalny zakres ruchu</b>	<b>Przewidziane rozwiązanie</b>
<b>Stopa protezowa</b>	-14° do 11° (w płaszczyźnie strzałkowej)	Stopa protezowa ze zintegrowanym stawem skokowym
<b>Element łączący</b>	ok. 5 cm (w osi pionowej)	Segment teleskopowy
<b>Kolano protezowe</b>	3° do 68° (w płaszczyźnie strzałkowej)	Regulowany element pneumatyczno – hydraulicznego
<b>Lej protezowy</b>	ok. 5 cm (regulacja obwodu)	Hybrydowa konstrukcja oparta o system BOA®

Minimalny zakładany okres eksploatacji protezy, biorąc pod uwagę zarówno komfort użytkowania jak i aspekt ekonomiczny, wynosi 2 lata. Uwarunkowany jest on w dużej mierze znacznym wzrostem długości kończyn dolnych oraz masy ciała w okresie dojrzewania analizowanym w punkcie 4.5. Implementacja usprawnień ujętych w tab. 4.2 zgodnie z założeniem powinna przedłużyć okres użytkowania. Nie sposób jednak przewidzieć wszystkich



czynników definiujących zmiany w długości kończyn oraz wahania wagi, tym samym okres eksploatacji jest podany jedynie orientacyjnie.

### Model protezy

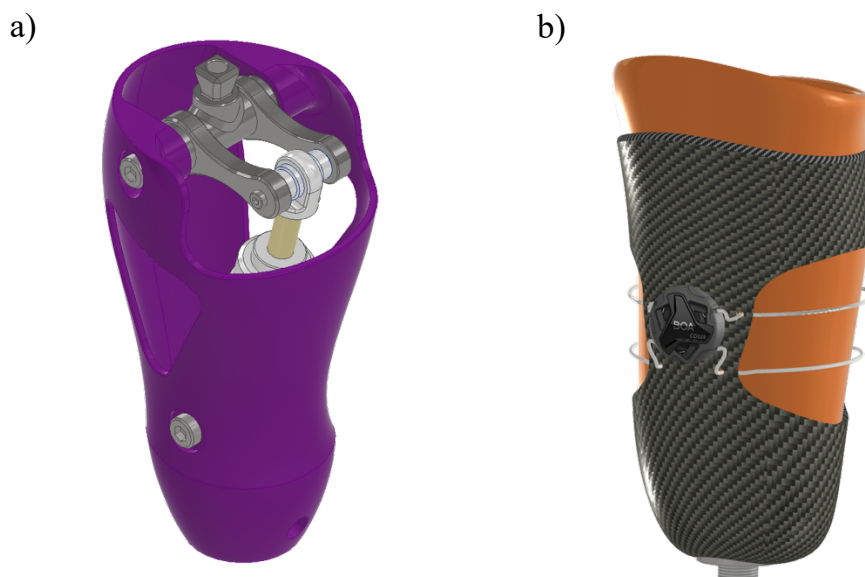
Przestrzenny model protezy uwzględniający poczynione założenia, wyniki badań oraz proponowane rozwiązania został wykonany w oprogramowaniu CAD Autodesk Inventor. Wybrane widoki modelu przedstawiono na rys. 4.11:



Rys. 4.11. Model CAD protezy kończyny dolnej dla dziecka

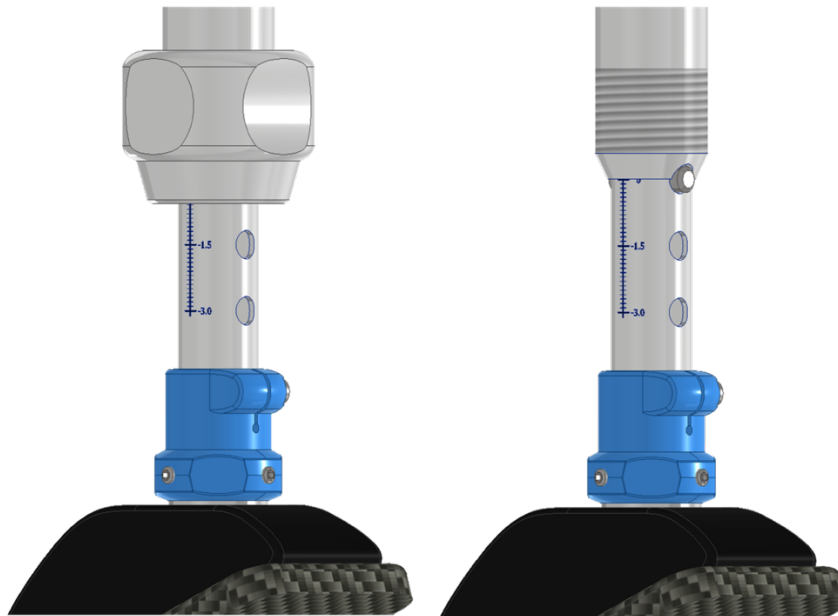
Budowa leja protezowego, widocznego na rys. 4.12 oparta jest o hybrydową konstrukcję wykorzystującą skorupę z kompozytu węglowego oraz wewnętrzną wkładkę z silikonu, która ma bezpośredni kontakt z ciałem pacjenta. Ponieważ w praktyce silikonowa wkładka (ang. *liner*) jest najczęściej wykonywana w oparciu o gipsowy odlew kikutu pacjenta, tym samym posiada skomplikowaną i indywidualną geometrię, jej model przestrzenny jest jedynie przybliżeniem. Skorupa stanowiąca zewnętrzną powierzchnię leja została zaprojektowana po określeniu wymiarów zewnętrznych wkładki, co pozwoliło na możliwie najdokładniejsze połączenie tych elementów, celem uniknięcia luzów. Zestaw został również wyposażony w system wiązania linek BOA<sup>®</sup> powszechnie stosowany w rozwiązaniach ortopedycznych, ortezach oraz stabilizatorach. Jego celem jest zapewnienie odpowiedniego dopasowania do zmieniających się wymiarów kikutu co może postępować znacząco szybciej u dzieci. Ponadto, proponowana regulacja byłaby również przydatna w ujęciu dobowym, ponieważ tkanki miękkie bardzo często podlegają

opuchliźnie, powodując zwiększenie obwodu kikuta. W takim wypadku zluźnianie linek oplatających *liner* wydają się realnie poprawiać komfort użytkownika.



Rys. 4.12. Wybrane elementy modelu protezy: a) Protezowy staw kolanowy z modułem pneumatyczno – hydraulicznym, b) Lej protezowy wykorzystujący system BOA®

Wspomniana już kilkakrotnie regulacja długości protezy kończyny dolnej (rys. 4.13) realizowana jest poprzez element łączący znajdujący się w miejscu kości piszczelowej. Przyjmuje on postać segmentu teleskopowego o pięciu poziomach regulacji, w którego skład wchodzi: rura węższa wykonana z tytanu, z nawierconymi pięcioma otworami (co 15 milimetrów) o średnicy 6,2 milimetra, rura szersza wykonana z aluminium z gwintem zewnętrznym na długości 20 milimetrów, trzpień ustalający oraz nakrętka z „koszykiem”, w którym od wewnątrz opiera się trzpień. Regulacja długości odbywa się poprzez przełożenie trzpienia przez wybrany otwór, a następnie nałożenia nakrętki od dołu, tak aby trzpień oparł się o jej wewnętrzną część. Celem złożenia całości i eliminacji luzów następuje nakręcenie nakrętki na gwint znajdującym się na szerszej rurze. Zamysł opisanego rozwiązania był efektem przeglądu istniejących rozwiązań, a właściwie ich braku. Dostępne rozwiązania protezowe dla młodszych użytkowników niezwykle rzadko przewidują adaptacje względem zmiany wzrostu dziecka. Jeśli już takowe są, najczęściej przyjmują postać elementów i obejm zaciskowych, nakładając tym samym restrykcyjny limit wagi użytkownika, wynoszący 45 kilogramów [8], który w przypadku tego projektu został przekroczony już na etapie określenia danych wejściowych.

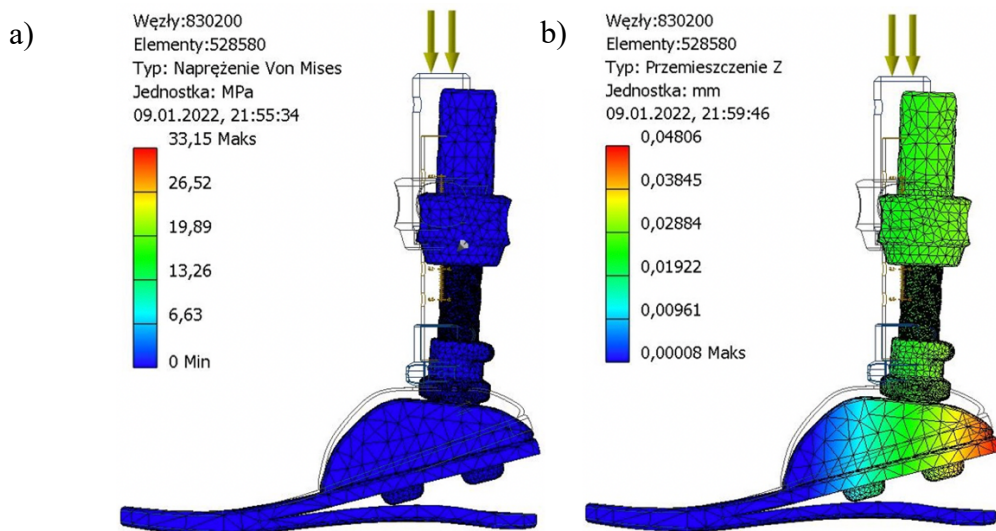


Rys. 4.13. Koncepcja regulowanego elementu teleskopowego

### **Analiza wytrzymałościowa**

W celu weryfikacji poprawności zaprojektowania modelu protezy oraz dowiedzenia słuszności proponowanych rozwiązań konstrukcyjnych przeprowadzono statyczną analizę wytrzymałościową opartą o wykorzystanie metody elementów skończonych (MES). W tym celu skorzystano z modułu „Analiza statyczna”, który wchodzi w skład środowiska Autodesk Inventor. Model został obciążony siłą odpowiadającą największej możliwej masie dziecka, która zgodnie z wykresem na rys. 4.10 wynosi 73 kilogramy. Mając na względzie specyfikę chodu, w szczególności składową pionową reakcji podłoża, która w oparciu o wyniki wspomnianych wcześniej badań biomechaniki chodu dzieci [11] wynosi 105% masy ciała, za wartość maksymalną przyjęto obciążenie równe 77,7 kilogramów. Na drodze analizy realnych warunków, w których działa proteza, wartość siły zdefiniowano jako równomierny naciski na wybraną powierzchnię. Obciążenie to w warunkach eksploatacji traktowane jest więc jako ciśnienie.

Rozkład naprężeń zredukowanych oraz przemieszczeń przedstawiony jest na poniższym rysunku (rys. 4.14):



Rys. 4.14. Analiza MES: a) Rozkład Naprężeń zredukowanych dla obciążenia maksymalnego, b) Rozkład przemieszczeń w osi pionowej dla obciążenia maksymalnego

#### 4.7. Wnioski i perspektywa rozwoju

1. Różnorodna gama produktów i podzespołów stosowanych w protezycie jest imponująca, jednak w nieznacznym stopniu uwzględnia potrzeby osób młodych, będących w ciągłej fazie rozwoju. Z tego względu stosowne wydaje się prowadzenie badań, których wynikiem mogą być nowe, bardziej zaawansowane rozwiązania protetyczne dla dzieci, uwzględniające specyficzne potrzeby tej grupy odbiorców.
2. Implementacja nowoczesnego zaopatrzenia ortopedycznego powinna opierać się o możliwie najwyższy poziom personalizacji, począwszy od etapu projektowego, aż po wykonanie i złożenie gotowej protezy. Indywidualizacja pozwala na opracowanie wygodnego w eksploatacji produktu, którego budowa pozwoli na uzyskanie ruchomości o poziomie mocno zbliżonym do kończyny zdrowej.
3. Zgodnie z celem projektu, wymiana poszczególnych elementów protezy jest możliwa dzięki modularnej konstrukcji, w której poszczególne moduły są ze sobą połączone systemem adapterów
4. Zakładany dwuletni okres eksploatacji protezy jest możliwy do osiągnięcia. Przeprowadzenie analizy wytrzymałościowej pozwoliło wykluczyć zmiany w wadze jako czynnik ograniczający okres eksploatacji. Problemem

pozostaje jednak nieliniowy przyrost długości nogi dziecka w czasie. W związku z tym, dysponując sześcioma centymetrami łącznego zakresu regulacji w osi pionowej, dwuletni okres eksploatacji dla rozpatrywanego przykładu dziecka jest możliwy między 11 a 13 oraz 15 a 18 rokiem życia. Zmiana długości kończyny dolnej w okresie między 13 a 15 rokiem życia wynosi 8 centymetrów, co przekracza możliwości regulacyjne proponowanego segmentu teleskopowego.

5. Należy zaznaczyć, że omawiana koncepcja protezy kończyny dolnej jest w dużej mierze zagadnieniem teoretycznym, w którym główną ideą było zwrócenie uwagi na aspekt ciągłego rozwoju fizycznego dziecka, tym samym problemów i wymagań konstrukcyjnych przez niego generowanych. Projekt nie jest wolny od wad, jednak jego rozwijanie może przynieść efekt w postaci produktu spełniającego wskazane w artykule kryteria.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. Srinivasan S., Mechanics of Human Movement, Design Considerations: Prosthetic Knee, Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology, Madras
2. Dupes B., Prosthetic Knee Systems, A publication of the Amputee Coalition of America in partnership with the U.S. Army Amputee Patient Care Program
3. Etoundi A.C., Lock R.J., Vaidyanathan R. & Burgess S.C., A Bio-Inspired Condylar Knee Joint for Knee Prosthetics, University of Bristol, Bristol, United Kingdom, 2013
4. Fredriks A. M., van Buuren S., van Heel W. J. M., Dijkman-Neerincx R. H. M., Verloove-Vanhorick S. P., Wit J. M., Nationwide age references for sitting height, leg length, and sitting height/height ratio, and their diagnostic value for disproportionate growth disorders, University Medical Centre, Holandia 2005
5. Jochymczyk K., Głowacka-Kwiecień A., Jureczko P., Tejszerska D., Łosień T., Analiza Biomechaniczna chodu dzieci z zastosowaniem systemu BTS SMART, KMS, Politechnika Śląska, Gliwice 2009
6. <https://ortopes.pl/abc-protez-konczyn/>

7. <https://ortotyka.pl/proteza-modularna-uda>
8. <https://www.ossur.com/en-us/prosthetics/adapters/height-adjustable-pylon-junior>
9. <https://www.ottobock.pl/protezy-konczyn/informacja-dla-amputowanych/zaopatrzenie-protetyczne/>
10. [https://www.physio-pedia.com/Prosthetic\\_Knees](https://www.physio-pedia.com/Prosthetic_Knees)
11. <http://siatkicentylowe.edziecko.pl>

# Rozdział 5

## ROBOT JAKO MOBILNA APTEKA

Krawczyk Aleksandra<sup>1</sup>, Cholewa Adam<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, ak300034@student.polsl.pl

<sup>2</sup> Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, adam.cholewa@polsl.pl

### 5.1. Wstęp

Pierwsze roboty w ochronie zdrowia pojawiły się w latach 80. ubiegłego wieku. Były to ramiona robotów chirurgicznych, które wspierały lekarzy podczas przeprowadzanych operacji. Z biegiem lat zastosowanie robotów zostało rozszerzone na inne obszary. Ostatnio można zaobserwować rosnące zainteresowanie opracowywaniem robotów wspomagających pracę pielęgniarek w szpitalach. Tacy robotyczni asystenci traktowani są jako członkowie zespołu i odpowiadają za wykonywanie prozaicznych zadań, takich jak rozwożenie posiłków, próbek do badań analitycznych czy leków [4,9]. Dzięki zastosowaniu robotów w szpitalach praca personelu staje się bezpieczniejsza, szybsza i bardziej wydajna. Pielęgniarki i pielęgniarze zaoszczędzony czas mogą przeznaczyć na wykonywanie innych, bardziej odpowiedzialnych zadań lub po prostu na opiekę nad pacjentami [9]. Pandemia COVID-19 pokazała, jak wiele zalet wykazuje zastosowanie robotów w szpitalach, zwłaszcza możliwość użycia robota do dostarczania leków osobom zarażonym, bez obawy o zdrowie i potencjalne zakażenie personelu medycznego. Roboty nie są wrażliwe na wirusy i inne patogeny, wystarczy regularne dezynfekowanie ich powierzchni.

## 5.2. Komercyjnie dostępne rozwiązania

W ostatnich latach pojawiło się wiele robotów dostępnych komercyjnie, które są obecnie stosowane w szpitalach do pomocy w zadaniach transportowych. Zestawienie dostępnych na rynku robotów do rozwożenia leków na terenie szpitala i ich specyfikację przedstawiono w tabeli 5.1. Jednym z najstarszych rozwiązań był robot HelpMate [1] zaprezentowany przez firmę Transitions Research Corporation w 1984 roku. Najbardziej znaczącą cechą tego robota jest jego autonomiczne poruszanie się po szpitalnych korytarzach, ale również komunikacja z windami. HelpMate został zaprojektowany do bezpiecznej pracy w otoczeniu ludzi, może on płynnie zmieniać swoją lokalną ścieżkę po natrafieniu na przeszkodę, jednocześnie zachowując cel dostawy. System wykrywania przeszkód, wyłączniki awaryjne, przełączniki trybu automatycznego/ręcznego, migające światła ostrzegawcze oraz kierunkowskazy zwiększają bezpieczeństwo pracy tego urządzenia. Robot wykorzystuje odometrię, ultradźwiękowe czujniki odległości, czujniki podczerwieni oraz dane z kamery jako dane wejściowe do nawigacji. Informacje pozyskane z czujników są używane do tworzenia i utrzymywania lokalnych map nawigacyjnych. Cały proces nawigacji i planowania ścieżki odbywa się z zastosowaniem procesorów pokładowych. Część funkcjonalna robota wyposażona jest w jedną szafkę, w której mogą być przewożone leki. Szafka jest zabezpieczona przed niepowołanym dostępem za pomocą kodu PIN. Robot HelpMate był rozwiązaniem pionierskim w latach, w których powstawał. Obecnie na rynku znajdują się urządzenia posiadające bardziej rozbudowane funkcje i większą wydajność.

Kolejne rozwiązanie to robot HOSPI [7,11] opracowany przez firmę Panasonic i w pierwszej wersji przedstawiony już w 1998 roku. Po otrzymaniu od personelu szpitala informacji o miejscu docelowym, HOSPI (Rys. 5.1.a), wyznacza trasę przejazdu na podstawie zapisanych w pamięci map i rusza w kierunku celu. Nowe trasy szpitalne mogą być zaprogramowane z wyprzedzeniem. Gdy HOSPI napotka na swojej ścieżce ludzi lub inne przeszkody, omija je na podstawie informacji wykrytych przez czujniki i kontynuuje jazdę. System robota komunikuje się z systemem wind, co pozwala na poruszanie się w wielopiętrowych budynkach oraz z systemem automatycznych drzwi, co pozwala mu na łatwe poruszanie się po oddziale szpitalnym. Autonomiczny robot komunikuje się i przekazuje w czasie rzeczywistym



informacje o swoim położeniu do centrum sterowania, dzięki czemu jego lokalizacja może być monitorowana i rejestrowana przez cały czas dostarczania leków do pacjentów. Dostęp do zawartości robota można uzyskać wyłącznie za pomocą karty identyfikacyjnej zbliżonej do modułu NFC. Istnieją również funkcje opcjonalne, które mogą zostać zainstalowane w robocie na życzenie klienta. Jedną z takich opcji jest obracająca się głowa – czujnik może rozpoznać obecność osób w pobliżu urządzenia, umożliwiając robotowi obrócenie ekranu (głowy) i witanie przechodniów. Inną z funkcji jest prowadzenie komunikacji na odległość, dzięki zainstalowaniu systemu wideokonferencyjnego. Połączenie podstawowej wersji robota z funkcjami opcjonalnymi, pozwoli stworzyć nowe rozwiązania, które zapewnią większe bezpieczeństwo i komfort użytkownika.

Innym tego typu produktem jest robot mobilny TUG [2] firmy Aethon (Rys. 5.1.b), który pomaga w dostarczaniu leków, ale również posiłków, materiałów eksploatacyjnych, testów i odpadów. Jednostka napędowa i sterująca robota są zasilane akumulatorowo. Moduł sterujący obsługuje Wi-Fi. Robot jest wyposażony w komputer sterujący, matrycę czujników do wykrywania ludzi i innych przeszkód, głośnik do komunikacji dźwiękowej oraz pokładowe urządzenia sterujące. Urządzenie wyposażone jest w pakiet Light Whiskerse firmy Aethon, czyli zestaw współpracujących czujników laserowych, ultradźwiękowych czujników odległości i czujników podczerwieni. Czujniki pozwalają robotowi wykryć każdą przeszkodę lub osobę znajdującą się na jego drodze, wtedy robot może autonomicznie ją ominąć i bezpiecznie kontynuować podróż. W razie potrzeby informacje o utrudnieniach są przekazywane do kontrolera, który tymczasowo może przejąć kontrolę nad TUGiem. Robot zapamiętuje plan piętra obiektu poprzez zaimportowanie rysunków CAD budynku. i na tej podstawie tworzona jest mapa pokładowa. Taka mapa weryfikowana jest przed uruchomieniem systemu. Jeśli nie istnieje plan budynku, instalator może utworzyć mapę poprzez ręczne prowadzenie TUG po całym obiekcie [3]. Każdy TUG może komunikować się z systemem wind szpitalnych. Robot przekazuje windzie instrukcje dotyczące piętra, na które ma wjechać oraz monitoruje różne sygnały ze sterownika windy, w tym aktualną lokalizację kabiny, kierunek jazdy, przybycie na żądane piętro oraz moment otwarcia drzwi. Flota robotów TUG jest kontrolowana przez centralny komputer, oprogramowanie może zawierać pakiet automatycznego monitorowania w czasie rzeczywistym stanu i lokalizacji całej floty. Moduł funkcjonalny robota służący do przewożenia leków posiada jedenaście automatycznie wysuwanych szuflad. Robot jest wyposażony w blokady

bezpieczeństwa, które umożliwiają otwieranie szuflad tylko upoważnionym osobom. Wyposażenie robota w system wymagający podania kodu PIN oraz zeskanowania linii papilarnych, gwarantuje bezpieczeństwo dostawy leków. Zaletą urządzenia jest jego elastyczność – możliwość odłączenia modułu funkcjonalnego, dzięki czemu jednostka napędowa może zostać wysłana do innego miejsca, podczas gdy moduł funkcjonalny jest ładowany kolejnymi porcjami leków. TUG polega na personelu medycznym w zakresie załadunku i rozładunku dostarczanych leków.

Tab. 5.1. Zestawienie komercyjnie dostępnych robotów wykorzystywanych do rozwożenia leków w szpitalach

Robot	Wymiary geometryczne	Masa urządzenia	Czas pracy na jednym naładowaniu	Maksymalna prędkość poruszania	Nawigacja	System rozpoznawania pacjenta
Helpmate (USA) [4]	długość: 914 mm szerokość: 812 mm wysokość: 1390 mm	260 kg	brak danych	0,5 m/s	ultradźwiękowe czujniki odległości i czujniki podczerwieni, kamera	kod PIN
HOSPI-R Panasonic (Japonia) [7]	długość: 630 mm szerokość: 705 mm wysokość: 1390 mm	170 kg	7 godzin	1 m/s	czujniki laserowe, mapowanie przestrzeni	moduł NFC
TUG Aethon (USA) [2]	długość: 1130 mm szerokość: 570 mm wysokość: 1220 mm	340 kg	10 godzin	1 m/s	czujniki laserowe, ultradźwiękowe czujniki odległości i czujniki podczerwieni; mapowanie przestrzeni	kod PIN, skanowanie linii papilarnych
Relay Swisslog (Szwajcaria) [8]	średnica: 510 mm wysokość: 920 mm	41 kg	4 godziny	7 m/s	czujniki laserowe, ultradźwiękowe czujniki odległości; mapowanie przestrzeni	moduł NFC
Moxi Diligent Robotics (USA) [6]	brak danych	brak danych	brak danych	0,5 m/s	czujniki laserowe, kamera	brak danych
TmiRob (Chiny) [12]	brak danych	brak danych	brak danych	brak danych	czujniki laserowe, ultradźwiękowe czujniki odległości, czujniki odległości na podczerwień	kod PIN, skanowanie linii papilarnych
TIAGO Delivery PALRobotics (Hiszpania) [5]	średnica: 540 mm wysokość: 1100 mm	70 kg	10 godzin	1,5 m/s	czujniki laserowe, ultradźwiękowe czujniki odległości; mapowanie przestrzeni	system rozpoznawania twarzy, moduł NFC

Robot mobilny Relay [8] firmy Swisslog Healthcare (Rys.5.1.c) dostarcza w wyznaczone miejsce leki, próbki laboratoryjne i inne ważne przedmioty. Relay

wykorzystuje technologię mapowania do dynamicznego planowania optymalnej ścieżki z punktu A do punktu B. Robot jest w stanie autonomicznie się poruszać i omijać ludzi oraz inne przeszkody na drodze, dzięki użyciu wcześniej wyznaczonej mapy i zestawu czujników laserowych oraz ultradźwiękowych. System robota jest zintegrowany z kontrolerem windy, co pozwala mu na bezprzewodowe wezwanie windy, określenie piętra i zbieranie informacji o dotarciu na docelowe piętro. Akumulator robota może pracować nieprzerwanie przez cztery godziny i ładuje się w połowie tego czasu. Pozwala to w większości przypadków na 24-godzinną pracę. Robot polega na personelu medycznym w zakresie załadunku leków. Relay posiada przestrzeń przeznaczoną do przewożenia leków tylko dla jednego pacjenta, dostęp do szafki możliwy jest dopiero po pozytywnej autoryzacji identyfikatorem. Urządzenie zostało zaprojektowane z myślą o współpracy z ludźmi. Dzięki zastosowaniu programowalnych alarmów świetlnych, dźwiękowych i prostego w obsłudze interfejsu jest przyjazne użytkownikowi.

Kolejnym przykładem robota używanego do przewożenia leków do pacjentów jest TMIRob [12]. TMIRob (Rys.5.1.e) podobnie jak TUG i Relay posiada zapisaną w pamięci mapę szpitala, dodatkowo używa laserowego skanera przestrzeni oraz czujników podczerwieni i ultradźwiękowych czujników odległości do wykrywania i modelowania otoczenia w czasie rzeczywistym, w celu utrzymania dokładnej pozycji i unikania przeszkód. TMIRob komunikuje się za pośrednictwem sieci bezprzewodowej z sterownikami wind oraz drzwi automatycznych. Moduł funkcjonalny robota jest wyposażony w osiem automatycznie wysuwanych szuflad zabezpieczonych przed niepowołanym dostępem autoryzacją kodem PIN oraz systemem skanowania linii papilarnych. Załadunek leków jest możliwy tylko przy pomocy personelu. Dużą zaletą urządzenia, podobnie jak w przypadku TUGa, jest możliwość odłączenia modułu funkcjonalnego robota, dzięki czemu jednostka napędowa może zostać połączona z inną jednostką funkcjonalną i wysłana z lekami do kolejnego miejsca. TMI automatycznie powraca do stacji dokującej po zakończeniu dostawy.

PAL Robotics we współpracy z firmą Accerion opracowało robota TIAGo Delivery [5]. Robot TIAGo (Rys.5.1.f) jest wyposażony w dwa czujniki Accerion, które wspomagają go w lokalizowaniu i mapowaniu przestrzeni, zwiększając wydajności i pozwalając na łatwe poruszanie się w środowisku szpitalnym. Użytkownik może łatwo sterować miejscem docelowym pracy robota za pomocą zintegrowanego panelu dotykowego i interfejsu. Aby zapewnić maksymalne

bezpieczeństwo przewożonych leków, robot TIAGo Delivery ma zamontowaną skrzynkę bezpieczeństwa, do której dostęp ma tylko upoważniona osoba po pozytywnym przejściu identyfikacji w systemie rozpoznawania twarzy lub zbliżeniu identyfikatora do moduły NFC. Urządzenie pozwala na dostarczenie porcji leków tylko do jednego pacjenta i wymaga konieczności każdorazowego załadowania robota przez personel.



Rys. 5.1. Roboty mobilne do rozwożenia leków na terenie szpitala: a) HOSPI-R Panasonic [7], b) TUG Aethon [2], c) Relay Swisslog [8], d) Moxi Diligent Robotics [6], e) TmiRob [12], f) TIAGO Delivery [5]

Kolejnym z robotów jest Moxi (Rys.5.1.d) opracowany przez firmę Diligent Robotics, który zdecydowanie różni się od przedstawionych wcześniej urządzeń. Moxi [6] składa się z mobilnej podstawy, robotycznego ramienia o siedmiu stopniach swobody (7-DOF) z chwytakiem dwupalczastym oraz czujników do obserwacji otoczenia, takich jak kamera i skaner laserowy. Robot posiada wgraną w pamięć wewnętrzną mapę szpitala ze wskazaniem pomieszczeń zaopatrzeniowych oraz miejsc, w które mają być dostarczone leki. Moxi jest w stanie poruszać się w pełni autonomicznie i bezpiecznie, omijając przeszkody statyczne i dynamiczne. Robot jest wyposażony w czujniki, które wyczułają go na osoby chodzące, stojące lub poruszające się w jego pobliżu. Jeśli Moxi napotka na przeszkodę, zmieni ścieżkę lub zatrzyma się do czasu, aż przeszkoda się przesunie.

Dzięki wyposażeniu urządzenia w robotyczne ramię zakończone chwytakiem, robot może manipulować obiektami, z którymi został wcześniej zapoznany. Moxi może korzystać z windy i otwierać drzwi automatyczne, ale również dzięki posiadaniu ramienia może otwierać tradycyjne drzwi z klamkami rekomendowanymi przez producenta robota. Urządzenie jest wyposażone w jedną zabezpieczoną szafkę, w której mogą zostać przewiezione leki, a dzięki ramieniu możliwy jest również samodzielny załadunek lekami. Firma Diligent Robotics pracuje nad wbudowaniem w robota inteligencji społecznej, dzięki czemu będzie mógł wchodzić w interakcję z pacjentami i wyróżni się na tle innych, dostępnych na rynku robotów. Testy przeprowadzone w szpitalach wykazały, że Moxi został zaakceptowany nie tylko przez pielęgniarki i personel kliniczny, ale także przez pacjentów [13].

Warto zaznaczyć, że naukowcy z Politechniki Śląskiej we współpracy z firmami APA Group i KUKA stworzyli robota wspomagającego personel w szpitalach zakaźnych [10]. Urządzenie składa się z mobilnej podstawy, na której zamontowane są: robot kooperujący, termometr, kamera termowizyjna, podajnik leków oraz tablet przeznaczony do komunikacji z personelem. Robot jest w pełni autonomiczny, porusza się po terenie szpitala z zachowaniem zasad bezpieczeństwa, a jego system sterowania pozwala na automatyczne nawigowanie w budynku. Obecnie prowadzone są dalsze prace nad modułami wykonawczymi urządzenia m.in. systemem wydawania leków.

### **5.3. Wyzwania stojące przed rynkiem autonomicznych robotów do rozwożenia leków**

Autonomiczny robot mobilny automatyzuje prozaiczne zadania transportowe takie jak przewożenie leków do pacjentów przebywających w szpitalu i pozwala wykwalifikowanym pracownikom skupić się na zadaniach o wyższej wartości. Jeśli dodać do tego wyposażenie robota w robotyczne ramię z możliwością chwytania i manipulowania, a w efekcie samodzielnego kompletowania zestawów leków dla pacjentów i samodzielnego załadunku, znaczenie to staje się jeszcze większe. Wyposażenie robotów w takie ramiona pozwoliłoby na praktycznie całkowitą automatyzację procesu dostarczania leków

do pacjentów. Do tej pory jedynym komercyjnie stosowanym rozwiązaniem stosowanym do rozwożenia leków i wyposażonym w manipulator jest Moxi [6].

Bardzo ważnym zadaniem autonomicznego robota mobilnego jest poruszanie się w określonym środowisku bez udziału człowieka. Postrzeganie otoczenia jest kluczowym zagadnieniem, ponieważ robot musi nawigować, lokalizować się, wykrywać co znajduje się w otoczeniu oraz unikać przeszkód na drodze, aby sprawnie wykonać swoją pracę. Robot ma spełniać wymogi bezpieczeństwa obowiązujące w danym obiekcie i powinien kierować się filozofią zorientowaną na człowieka. Flota robotów nie powinna znacząco ingerować w codzienne życie szpitala, nie powinna komplikować pracy personelu i tylko w minimalnym stopniu zmieniać otoczenie. Dlatego istotne jest, aby kontynuowane były prace nad systemem nawigowania, lokalizowania i wyznaczania ścieżek, wraz z rozwijaniem dziedzin, takich jak analityka danych, sztuczna inteligencja, uczenie maszynowe, systemy rozpoznawania obrazów i innych technologii.

Obudowa robota powinna być wykonana z materiałów spełniających wymogi dotyczące kontaktu z produktami spożywczymi, podobnie jak i wszystkie części robota mające bezpośredni kontakt z przewożonymi lekami. Do innych wymagań materiałowych należy wysoka odporność chemiczna i odporność na zużycie ściernie, ze względu na konieczność częstego dezynfekowania powierzchni. Obudowa urządzenia musi być łatwa w utrzymaniu w czystości i ma dokładnie osłaniać wszystkie elementy mechaniczne i elektroniczne. Obudowy robotów zaprezentowanych w rozdziale 5.2, wykonane są przeważnie z dużych, gładkich powierzchni połączonych w taki sposób, aby szczeliny między nimi były jak najmniejsze. Części z których wykonane są szuflady i szafki do przewożenia leków, powinny charakteryzować się gładką powierzchnią, pozbawioną ostrych kątów oraz szczelin. Podczas projektowania, konstruktorzy powinni mieć na uwadze, że takie miejsca są trudno dostępne dla środków dezynfekujących, przez co mogą stać się siedliskiem niepożądanych drobnoustrojów. Dodatkowo, obudowa robota musi zostać zaprojektowana w taki sposób, by być przyjazna użytkownikom a w przypadku kolizji nie spowodować uszczerbku na zdrowiu pacjenta.

Szpital, w którym mają pracować przedstawione w rozdziale 5.2 roboty musi charakteryzować się określoną infrastrukturą. Powinien być wyposażony w automatycznie otwierane drzwi i windy, podłogi muszą być pozbawione progów. Są to tylko niektóre z wymagań, ale wiele szpitali niestety ich nie spełnia.

W celu zwiększenia dostępności zastosowania robotów mobilnych w mniej nowoczesnych placówkach, trzeba rozbudować urządzenia o funkcje umożliwiające im samodzielne poruszanie lub wprowadzić niewielkie zmiany usprawniające pracę w przestrzeni placówek. Jednymi z utrudnień są tradycyjne drzwi, które robot musi pokonać by wjechać na salę. Rozwiązaniem może być rozbudowanie robota o ramię, które będzie w stanie otwierać tradycyjne drzwi, w których zostaną ujednolicone tylko klamki. Takie rozwiązanie ma miejsce w przypadku użycia urządzenia oferowanego przez firmę Diligent Robotics [6].

Większość urządzeń dostępnych komercyjnie może przewozić jednocześnie tylko jedną porcję leków, co wiąże się z każdorazowym ładowaniem robota a tym samym utratą czasu. Wyposażenie robota w większą ilość odseparowanych miejsc tak, aby można było przewozić w nich bezpiecznie leki dla większej liczby pacjentów bez ryzyka dostania się w niepowołane ręce, znacząco podniosłaby wydajność pracy robota i pozwoliłaby na zaoszczędzenie czasu. Do tej pory tylko robot TUG oferowany przez firmę Aethon [2] oraz TmiRob [12] są wyposażone kolejno w jedenaście i siedem szuflad, pozwalających na bezpieczne przewożenie leków dla kilku pacjentów jednocześnie. W obu przypadkach szuflady zabezpieczone są przed dostępem niepowołanych osób weryfikacją kodem PIN i systemem skanowania linii papilarnych. Ta ostatnia funkcja wiąże się z koniecznością zarejestrowania i przechowywania danych biometrycznych pacjenta. Wdrażanie tego typu rozwiązań wymaga analizy uwarunkowań prawnych związanych z administrowaniem tego typu danymi i każdorazowo wymaga bezwzględnej zgody pacjenta.

W miarę jak roboty wykonują swoją pracę wokół ludzi i wchodzą z nimi w interakcje np. podczas odbierania leków, ważne jest, aby wzbudzały one zaufanie i aby ludzie czuli się komfortowo w ich otoczeniu. Chcąc zyskać akceptację użytkowników, roboty muszą być łatwe w obsłudze, a ich wygląd musi być przyjazny. Dużą szansą na zwiększenie komfortu użytkowania tego typu urządzeń jest rozbudowanie ich o funkcję łączenia się w formie wideokonferencji z lekarzem lub innym członkiem personelu medycznego, co byłoby dużą zaletą np. w przypadku izolacji pacjenta. Inną możliwością jest rozbudowanie interakcji pomiędzy robotem a pacjentem. Przywitanie i poinformowanie o dostawie, ale również prosty dialog mógłby pozytywnie wpłynąć na samopoczucie przebywających w szpitalu pacjentów.

Istnieje już kilka skomercjalizowanych urządzeń, ale są one zazwyczaj bardzo drogie i skomplikowane. Problemy te są prawdopodobnie główną przyczyną braku rozpowszechnienia systemu autonomicznego dostarczania leków w szpitalach w niektórych krajach. Rozwiązanie, które łączy zagadnienia poruszania się robota w przestrzeni szpitala z wymogami bezpieczeństwa, a przy tym jest niedrogi i niezbyt skomplikowane, może być szansą na rozpowszechnienie robotyki w ochronie zdrowia.

#### **5.4. Podsumowanie**

Roboty przeznaczone do rozwożenia leków pojawiają się coraz częściej w szpitalach, a stosowane rozwiązania są wyposażone w coraz bardziej zaawansowane technologie i posiadają coraz większą ilość dodatkowych funkcji. Napęd robotów posiada już optymalne rozwiązania, jednak konieczne są dalsze prace nad systemem lokalizowania i nawigowania, wraz z rozwojem nowych technologii. W przyszłości twórcy powinni skupić się na optymalizacji procesów dostaw i załadunków, tak by możliwie zwiększyć wydajność tego rodzaju urządzeń. Kolejnym krokiem w rozwoju robotów stosowanych w szpitalach jest wprowadzenie interakcji między urządzeniem a pacjentem.

#### **BIBLIOGRAFIA**

- [1] Ackerman E.: How Diligent's Robots Are Making a Difference in Texas Hospitals, <https://spectrum.ieee.org/how-diligents-robots-are-making-a-difference-in-texas-hospitals> (dostęp z 30.03.2022)
- [2] Autonomous Mobility Robot for More Secure and Comfortable Life, <https://www.news.panasonic.com/global/stories/2019/69861.html> (dostęp z 27.03.2021)
- [3] Bloss R.: „Mobile hospital robots cure numerous logistic needs”, *Industrial Robot: An International Journal* 2011, 38(6), 567–571, DOI:10.1108/01439911111179075



- [4] Krishnamurthy B., Barrows B., King S., Stewis T., Pong W., Weiman C.: „Helpmate: A Mobile Robot For Transport Applications”, 1989, Mobile Robots III, DOI:10.1117/12.949110
- [5] Kyrarini M., Lygerakis F., Rajavenkatanarayanan A., Sevastopoulos C., Nambiappan H. R., Chaitanya K.K., Babu A.S., Mathew J., Makedon F.: „A Survey of Robots in Healthcare”, Technologies 2021, 9(1), 8; DOI:10.3390/technologies9010008
- [6] Moxi Helps Hospitals and Clinical Staff. Available online: <https://diligentrobots.com/moxi> (dostęp z 27.03.2022)
- [7] Murai R., Sakai T., Kawano H., Matsukawa Y., Kitano Y., Honda Y., Campbell K. C.: „A novel visible light communication system for enhanced control of autonomous delivery robots in a hospital”, 2012 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII). DOI:10.1109/sii.2012.6427311
- [8] Regulated Drugs Delivery Robot <http://www.tmirob.com/> (dostęp z 04.12.2021)
- [9] Relay Autonomous Service Robot for Hospitals, <https://www.swisslog-healthcare.com/en-us/products-and-services/transport-automation/relay-autonomous-service-robot/> (dostęp z 27.03.2022)
- [10] Szpitalny robot asystujący z Politechniki Śląskiej, <http://forumezdrowia.pl/info/aktualnosc/szpitalny-robot-asystujacy-z-politechniki-slaskiej/> (dostęp z 26.04.2022)
- [11] TIAGo Delivery makes an impact in hospitals tackling COVID-19 thanks to DIH-HERO, <https://www.pal-robotics.com/> (dostęp z 27.03.2021)
- [12] Tug. Change Healthcare. Mobile Robots Improve Patient Care, Employee Satisfaction, Safety, Productivity and More, <https://aethon.com/mobile-robots-for-healthcare/> (dostęp z 27.03.2022)
- [13] Wykorzystanie robotyki w opiece zdrowotnej w celu poprawy wyników leczenia pacjentów, <https://www.intel.pl/> (dostęp z 28.03.2022)



## Rozdział 6

### **DIGITALIZACJA ELEMENTU WYPOSAŻENIA WNĘTRZA HISTORYCZNEGO POJAZDU PRZEDPRODUKCYJNEGO**

**Lubos Jacek<sup>1</sup>, Wyleźoł Marek<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, jacelub640@student.polsl.pl

<sup>2</sup>Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, marek.wylezol@polsl.pl

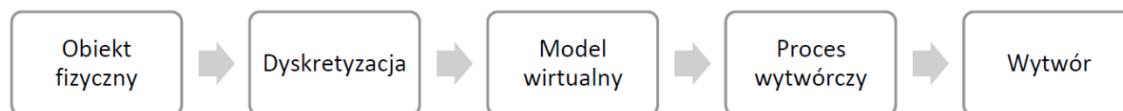
#### **6.1. Wprowadzenie**

Powszechnie oczekiwanym rezultatem digitalizacji badanego obiektu jest uzyskanie jego dyskretnej reprezentacji w postaci cyfrowej – użytecznej do dalszego zastosowania. Użytkownik musi sam ocenić satysfakcjonujący go poziom jakości odwzorowania. W takiej sytuacji, za każdym razem ograniczeniem pozostaje charakterystyka użytego digitalizatora oraz konieczność dopasowania jego parametrów do indywidualnych cech przedmiotu badań. Oferowana dokładność urządzeń oraz zaawansowane możliwości dedykowanego oprogramowania w sposób znaczący korelują z jego ceną. W artykule opisano porównanie uzyskanych efektów digitalizacji z użyciem dwóch skanerów światła strukturalnego, reprezentujących skrajnie różne klasy urządzeń.

#### **6.2. Zagadnienie inżynierii odwrotnej**

Inżynieria odwrotna to złożony proces, w którym na podstawie analizy obiektu rzeczywistego uzyskujemy informacje o jego konstrukcji a czasem nawet o technologii jego wykonania. Działania te zależnie od potrzeb mogą prowadzić do wykonania dokumentacji technicznej, rozwoju konstrukcji lub odtworzenia

elementu. Dlatego często dla jej realizacji konieczne jest całkowite rozłożenie analizowanego ujęcia na elementy składowe [3].



Rys. 6.1 Algorytm postępowania [1]

Kolejność wykonywania działań w inżynierii rekonstrukcyjnej przebiega według ustalonego wzorca (Rys. 6.1). W odróżnieniu do inżynierii klasycznej jako obiekt wejściowy przyjmuje się obiekt rzeczywisty [1].

Pierwszym etapem transformacji modelu rzeczywistego w wirtualny jest digitalizacja (potocznie nazywana skanowaniem 3D). Efektem tego etapu jest uzyskanie chmury punktów, w której każdy punkt odpowiada danemu punktowi fizycznej powierzchni skanowanego obiektu. Chmura ta stanowi bazę do procesu triangulacji i dalszej edycji modelu. W odróżnieniu od pozostałych etapów, digitalizacja wymaga wykorzystania odpowiednich urządzeń w celu uzyskania danych pomiarowych, a ich przetwarzanie specjalnego oprogramowania.

### **Charakterystyka rekonstruowanego elementu**

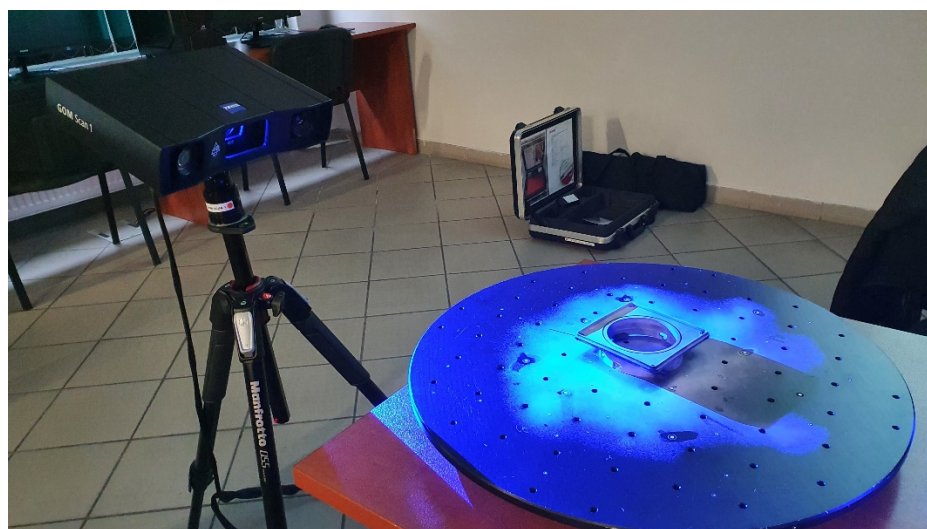
Przedmiot będący obiektem badań to korpus nawiewu, charakterystyczny wyłącznie dla przedseryjnych egzemplarzy polskiego samochodu osobowego marki FSO Polonez. Jednostkowość zachowanego oryginalnego nawiewu zmotywowała do podjęcia próby utrwalenia go w zdigitalizowanej formie. W dalszej perspektywie może okazać się to pomocne do rekonstrukcji wyposażenia egzemplarza przedseryjnego [2]. Element cechuje wykonanie technologią wtrysku, z pochodnej tworzywa ABS.

### 6.3. Digitalizacja

Wszystkie przedmioty przed podjęciem procesu skanowania należy dokładnie oczyścić i zweryfikować wzrokowo pod kątem wyboru sztuk możliwie najładniejszych. Z racji dysponowania jedynie pojedynczym egzemplarzem zdecydowano wstępnie o doraźnym wypełnieniu ubytków fragmentów jego uszkodzonej powierzchni przy pomocy plasteliny technicznej.

Użyty rodzaj skanerów wykorzystujących techniki projekcji prążków światła strukturalnego wymaga zmatowienia czarnych obiektów, aby ich powierzchnia lepiej odbijała światło. Znaczącym w tym względzie jest płynne prowadzenie ruchu ręki podczas rozpylania możliwie cienkiej, jednorodnej warstwy nie zniekształcającej cech geometrycznych.

Z uwagi obiektywnej konieczności każdorazowego podpierania skanowanego obiektu niemożliwe jest uzyskanie całkowitego odwzorowania geometrii obiektu przestrzennego podczas skanu z jednego kierunku. Z tego względu proces skanowania należy prowadzić w sposób przemyślany – zmieniając kierunkowość w miarę potrzeb.



Rys. 6.2 Proces digitalizacji - skaner GOM [2]

## Charakterystyka wykorzystanych skanerów

W przypadku użycia skanera EinScan SE wybrano tryb skanowania automatycznego z wykorzystaniem zintegrowanego obrotowego stolika. Wykonano łącznie kilkadziesiąt pojedynczych skanów z różnych kierunków. Każdorazowo należało dopasować wartość parametru jasności, związaną z refleksyjnością powierzchni obiektu oraz zakłóceniami otoczenia.

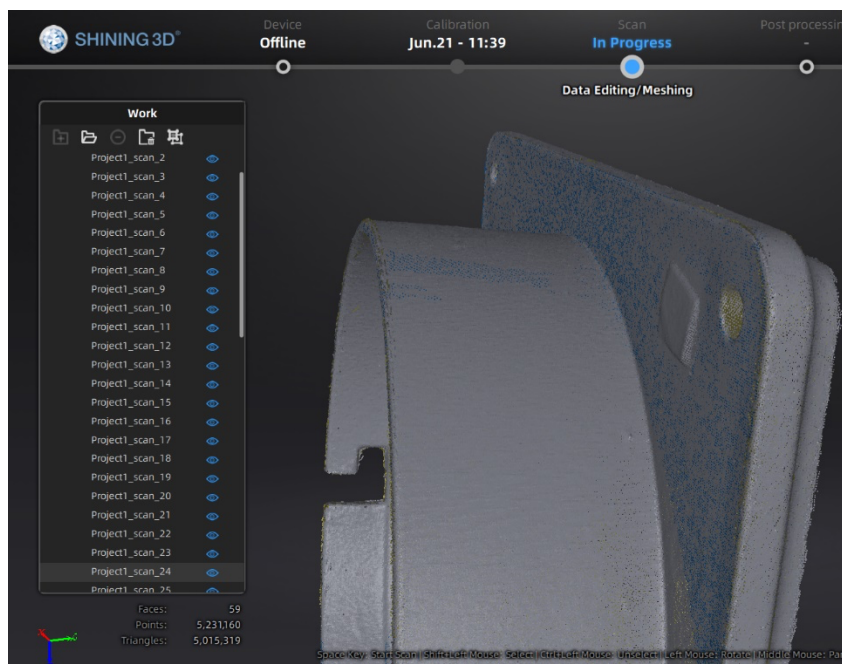
W przypadku użycia skanera GOM Scan 1 MV400 (Rys. 6.2) przed rozpoczęciem pracy rozklejono równomiernie pomocnicze punkty referencyjne na stoliku obrotowym. Gęstość rozmieszczenia znaczników, które można dodawać na bieżąco, była zdeterminowana wymiarami obiektu. W interfejsie programu wybrano tryb automatycznego łączenia skanów.

Tab. 6.1 Charakterystyka urządzeń

Producent	Shining 3D [4]	GOM [5]
Model	EinScan SE	Scan 1 MV400
Odległość [mm]	290 - 480	500
Dokładność [mm]	0,1	b.d.
Minimalna odległość pkt. [mm]	0,17 - 0,2	0,129
Obszar pojedynczego skanu [mm <sup>2</sup> ]	200 x 150	400 x 250
Waga [kg]	2,5	2,5
Oprogramowanie	EXScan S	GOM Inspect

## Weryfikacja chmury punktów

Wobec uwarunkowań optycznych najlepszy poziom odwzorowania elementu występuje w centralnej przestrzeni obszaru skanowania. Podczas pracy z urządzeniem EinScan, każdorazowo ręcznie docinano każdy pojedynczy skan w obrębie najdalej wysuniętych krawędzi zewnętrznych obiektu oraz elementy wsporcze (Rys. 6.3).

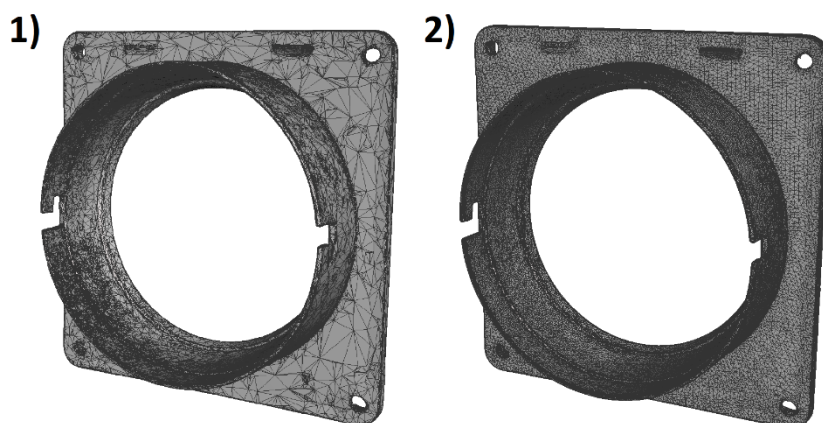


Rys. 6.3 Modyfikacja chmury punktów

Zespalaając ze sobą kolejne chmury punktów pochodzące z cząstkowych obrazów należy uważać na sztuczne zniekształcenie obiektu przez automatyczną implementację zbyt dużej liczby skanów, w skrajnym przypadku pogarszającą jakość odwzorowania względem nawet pozornie zbyt małej liczby iteracji.

## 6.4. Wyniki

Efektem przeprowadzonego skanowania było wygenerowanie dwóch triangulacyjnych modeli .stl z zachowaniem dużej rozdzielczości. Ich wizualna ocena pozwala zauważyć korelację między poziomem odwzorowania – gładkością powierzchni, a liczbą trójkątów. Gorzej pod tym względem wypada skaner EinScan, który ma tendencję do sztucznego nadawania charakterystycznej chropowatej struktury generowanym modelom, co skutkuje znaczącym zawyżeniem liczby trójkątów. Przez zwielokrotnienie liczby skanów niezbędne było zredukowanie sztucznie zawyżonej w ten sposób liczby trójkątów utworzonego modelu. Kompleksową optymalizację siatki trójkątów wykonano w oprogramowaniu Autodesk Netfabb z tolerancją dopasowania 0,01 mm.



Rys. 6.4 Modele triangulacyjne: 1) EinScan SE, 2) GOM

Zaskoczeniem była stosunkowo gorsza jakość uzyskanego skanu przy użyciu digitalizatora GOM. Analizując siatkę trójkątów (Rys. 6.4) można dostrzec całkowite wygładzenie rewersu oraz zniekształcenie rowka na części przedniej. Wynika to z mniejszej liczby wykonanych skanów i mniej równomiernego rozprowadzenia substancji matującej.

Tab. 6.2 Zestawienie liczby trójkątów [2]

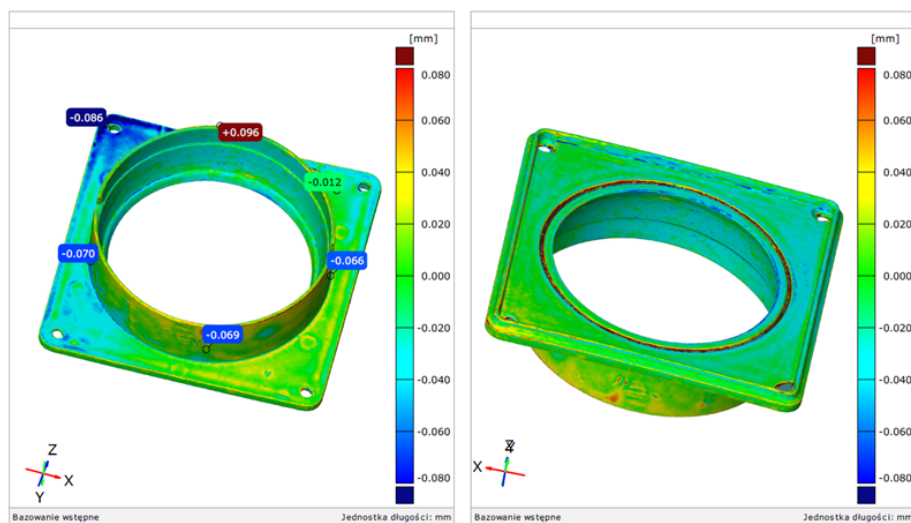
Nazwa	Skaner	Liczba trójkątów	Liczba wierzchołków
Korpus nawiewu	EinScan	1249997*	2500010*
		145718	291454
	GOM	131226	262572

\*liczba trójkątów przed redukcją

Dodatkowo do oceny wyników wykorzystano moduł do inspekcji metrologicznej GOM Inspect. Pozwoliło to na uzyskanie raportu w postaci barwnych map, zawierającego porównanie występujących odchyłek wymiarowych. Największa rozbieżność wyniosła +0,096 mm oraz -0,086 mm.



## Porównanie skanów - odchyłki



Rys. 6.5 Raport porównania odchyłek skanów [2]

## 6.5. Podsumowanie

Do realizacji pracy wykorzystano urządzenia: skaner EinScan SE z Katedry Podstaw Konstrukcji Maszyn oraz skaner GOM Scan 1 MV400 udostępniony z firmy Lenso. W tabeli (Tab. 6.2) zestawiono liczbę wierzchołków i trójkątów budujących poszczególne modele. Wiodącym celem pracy było uzyskanie wiernego odwzorowania historycznego obiektu rzeczywistego, a więc maksymalnej dokładności odwzorowania z uwzględnieniem wad wytwórczych. Zestawienie należy traktować jako próbę dorównania jakości efektów standardowego skanowania profesjonalnym digitalizatorem GOM przez wyteżoną pracę z „domowej” klasy skanerem EinScan SE. Urządzenie wyższej klasy pozwoliło na uzyskanie wysokiej jakości skanu w nieporównywalnie krótszym czasie, przy zachowaniu bardzo dużej dokładności. Ostateczny werdykt zależy mocno od wspomnianej we wstępie indywidualnej oceny użyteczności dożądanego zastosowania. Odwzorowanie szczegółów wypada na korzyść urządzenia niższej klasy, co okazało się możliwe dzięki zwielokrotnieniu nakładu pracy. Dowiodło to o dużym znaczeniu właściwej obsługi skanera, sumienności równomiernego matowienia powierzchni skanowanego obiektu i jego wpływowi na precyzję odwzorowania. Nie bez znaczenia pozostaje również skrupulatna weryfikacja uzyskiwanych rezultatów jeszcze w trakcie prowadzenia digitalizacji.

## BIBLIOGRAFIA

1. Wyleżoł M.: „Metodyka modelowania na potrzeby inżynierii rekonstrukcyjnej”. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2013
2. Lubos J.: „Digitalizacja elementów wyposażenia wnętrza historycznego pojazdu przedprodukcyjnego”. Praca przejściowa. Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn Pol. Śląska 2022.
3. Lubos J.: „Digitalizacja i opracowanie wirtualnego modelu emblematu prototypowego egzemplarza polskiego samochodu osobowego”. Projekt inżynierski. Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn Pol. Śląska 2021.
4. <https://www.igo3d.com/mediafiles/Sonstiges/Shining3D/Einscan%20SE.SP%20Eng.pdf> [Dostęp: 19.04.2022]
5. <https://www.gom.com/en/products/3d-scanning/gom-scan-1> [Dostęp: 19.04.2022]

# Rozdział 7

## WIRTUALNE STANOWISKO DYDAKTYCZNE MANIPULATORA 3-OSIOWEGO

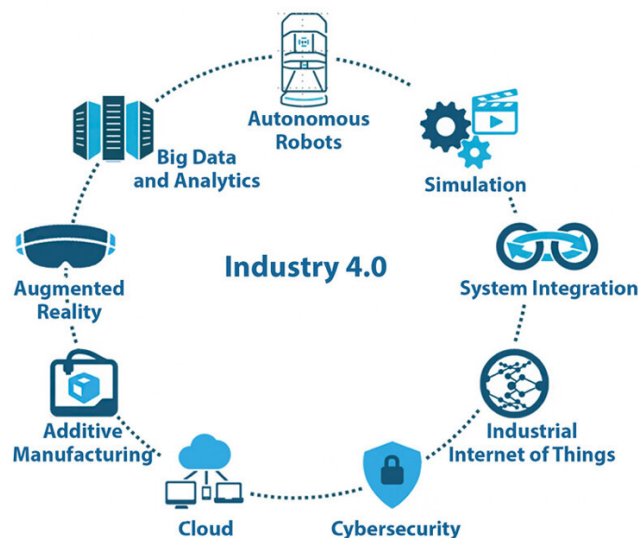
Łazarz Nikodem<sup>1</sup>, Chrzanowski Paweł<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, nikolaz170@polsl.pl

<sup>2</sup>Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, pawel.chrzanowski@polsl.pl

### 7.1. Wstęp

Na przestrzeni ostatnich lat dokonano znaczących postępów technicznych. Dzięki temu jesteśmy świadkami rozwoju takich dziedzin jak automatyka, robotyka, informatyka oraz elektronika co pozwala na zoptymalizowanie procesów projektowych jak i produkcyjnych. Przemysł 4.0 [1], to czwarta rewolucja przemysłowa, na którą składają się kluczowe technologie [2] wśród których można wyróżnić między innymi symulacje, poszerzoną rzeczywistość, roboty autonomiczne (rys. 7.1.)



Rys. 7.1. Kluczowe technologie Przemysłu 4.0 [3]

Roboty autonomiczne to nie tylko manipulatory wspierające pozycjonowanie ładunku, wykonujące szereg powtarzalnych czynności, pomoc w czasie obróbki, ale również autonomiczne urządzenia odpowiedzialne za logistykę wewnątrz zakładu [4]. Stosowanie robotów umożliwia zoptymalizowanie procesów pod względem wydajności, powtarzalności jak i niezawodności.

W przemyśle często znajdują zastosowanie manipulatory kartezyjskie realizujące tak zwane operacje *Pick and Place* [5], które polegają na przenoszeniu elementów/produktów w określone miejsce i o ustalonej orientacji. Do takich operacji możemy zaliczyć znaczną liczbę czynności wykonywanych na liniach produkcyjnych, np. sortowanie, wykonywanie pomiarów, pozycjonowanie oraz pakowanie. Zaletą manipulatorów kartezyjskich jest nie tylko prostota, ale i wysoka dokładność pozycjonowania, dzięki czemu urządzenia te również znajdują zastosowanie w montażu podzespołów elektronicznych na płytkach PCB [6] jak i stosowane są w drukarkach 3D.

W związku z tak szerokim wachlarzem możliwości zastosowania, koniecznym jest kształcenie na różnych poziomach edukacji przyszłych operatorów takich urządzeń, projektantów, czy też programistów. Wobec powyższego zaistniała potrzeba opracowania wirtualnego stanowiska dydaktycznego manipulatora 3-osiowego (kartezyjskiego) stosowanego w procesie kształcenia.

## **Założenia projektowe**

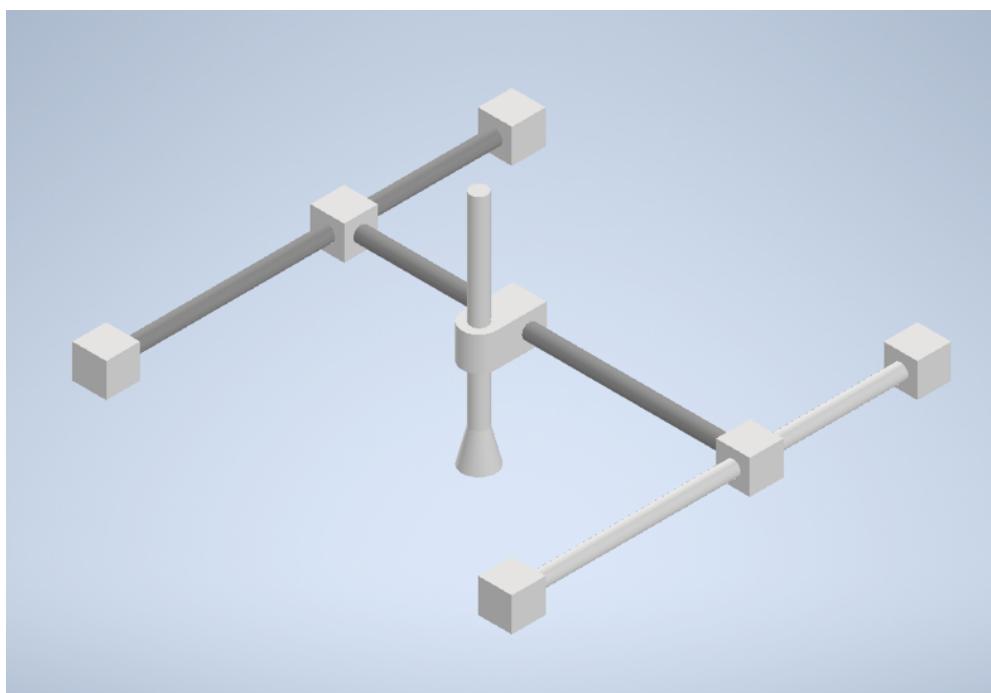
Przyjęto następujące założenia:

- rozwiązanie ma dotyczyć manipulatora 3-osiowego tzw. kartezyjskiego XYZ,
- model manipulatora zostanie opracowany w programie Autodesk Inventor,
- implementacja modelu, sterowanie i symulacja ruchów zostaną zrealizowane w środowisku Matlab Simulink,
- manipulator powinien posiadać następujące funkcjonalności:
  - możliwość sterowania kolejnością przemieszczających się wzdłuż osi,
  - dwa tryby pracy: ręczny oraz praca na podstawie listy kroków zdefiniowanej w pliku,
  - tryb, w którym manipulator wraca do pozycji początkowej między kolejnymi krokami,

- możliwość tworzenia wykresu przemieszczeń końcówki manipulatora;
- sterowania manipulatorem należy opracować graficzny interfejs.

## 7.2. Model manipulatora w programie Autodesk Inventor

Zgodnie z przyjętymi założeniami, utworzono w środowisku Autodesk Inventor modele poszczególnych elementów manipulatora, przyjmując, iż model manipulatora będzie wykonany na wystarczająco ogólnym poziomie bez wchodzenia w szczegóły postaci konstrukcyjnej. Złożenie całego modelu z wykorzystaniem odpowiednich wiązań umożliwiającą przemieszczanie się po linii prostej w trzech wzajemnie prostopadłych osiach przedstawiono na rysunku 7.2.



Rys. 7.2. Model manipulatora 3-osiowego

Model składa się z następujących podstawowych elementów:

- podstawa, prowadnica w osi X
- prowadnica w osi Y
- wózek poruszający się w osi Y
- ramię osi Z

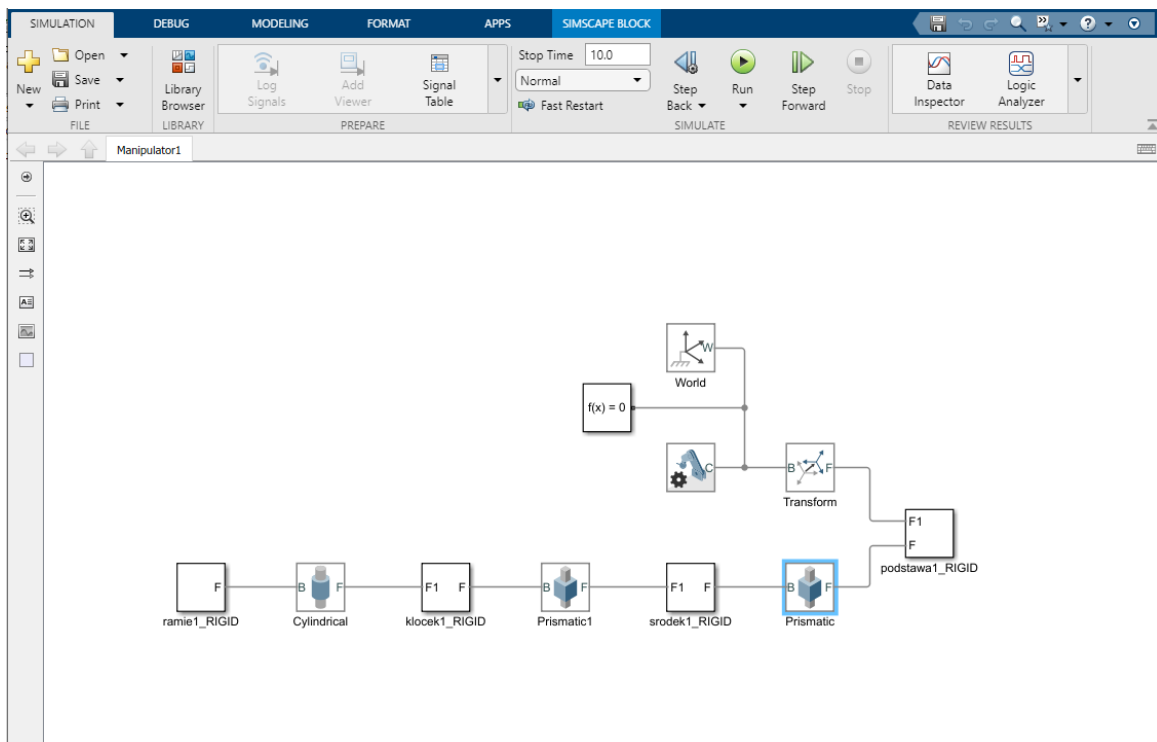
Następnie, przy użyciu dodatku *Add-in Simscape Multibody Link* [7], tak przygotowany model został wyeksportowany do zestawu plików umożliwiającą jego zaimplementowanie w środowisku Simulink:

- pliki o formacie STEP poszczególnych elementów modelu,
- plik o formacie XML.

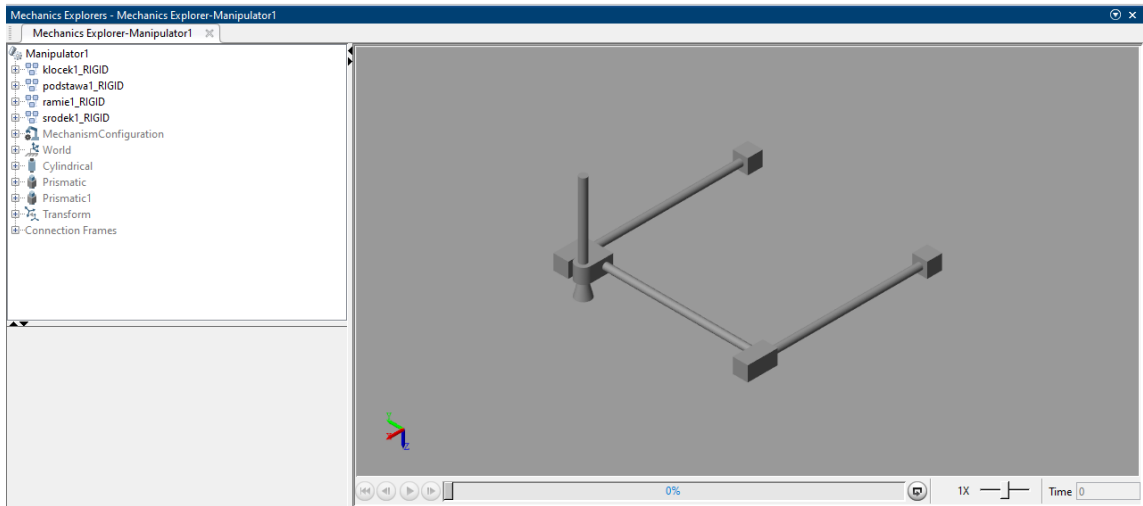
Pliki STEP zawierają całą bryłę modelu 3D [8], natomiast plik XML zawiera dane dotyczące struktury modelu oraz parametrów poszczególnych elementów.

### 7.3. Implementacja modelu CAD w środowisku Matlab/Simulink

W celu zaimplementowania przygotowanego w poprzednim kroku modelu mechanicznego do środowiska Matlab/Simulink zaimportowano plik XML. W narzędziu Simscape Multibody Mechanical Explorer [9] model ten został przedstawiony na rys. 7.3, natomiast jego postać mechaniczna na rys. 7.4

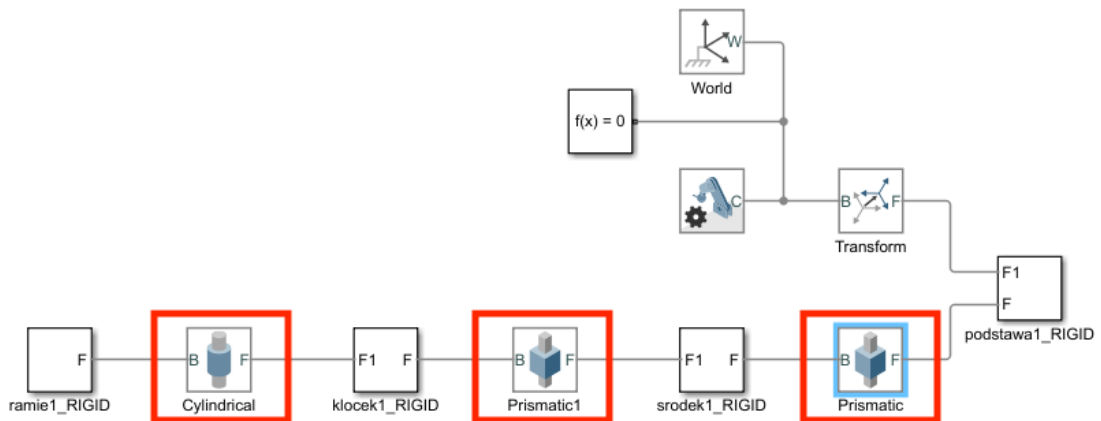


Rys. 7.3. Zaimplementowany model symulacyjny manipulatora w środowisku Matlab/Simulink



Rys. 7.4. Model przedstawiony w narzędziu Mechanics Explorer

Kolejnym etapem jest było utworzenie wejść w blokach wiązań (zaznaczonych na rys. 7.5), tak aby na podstawie danych uzyskanych ze źródeł odpowiednio przemieszczać manipulator określonych danych osiach.



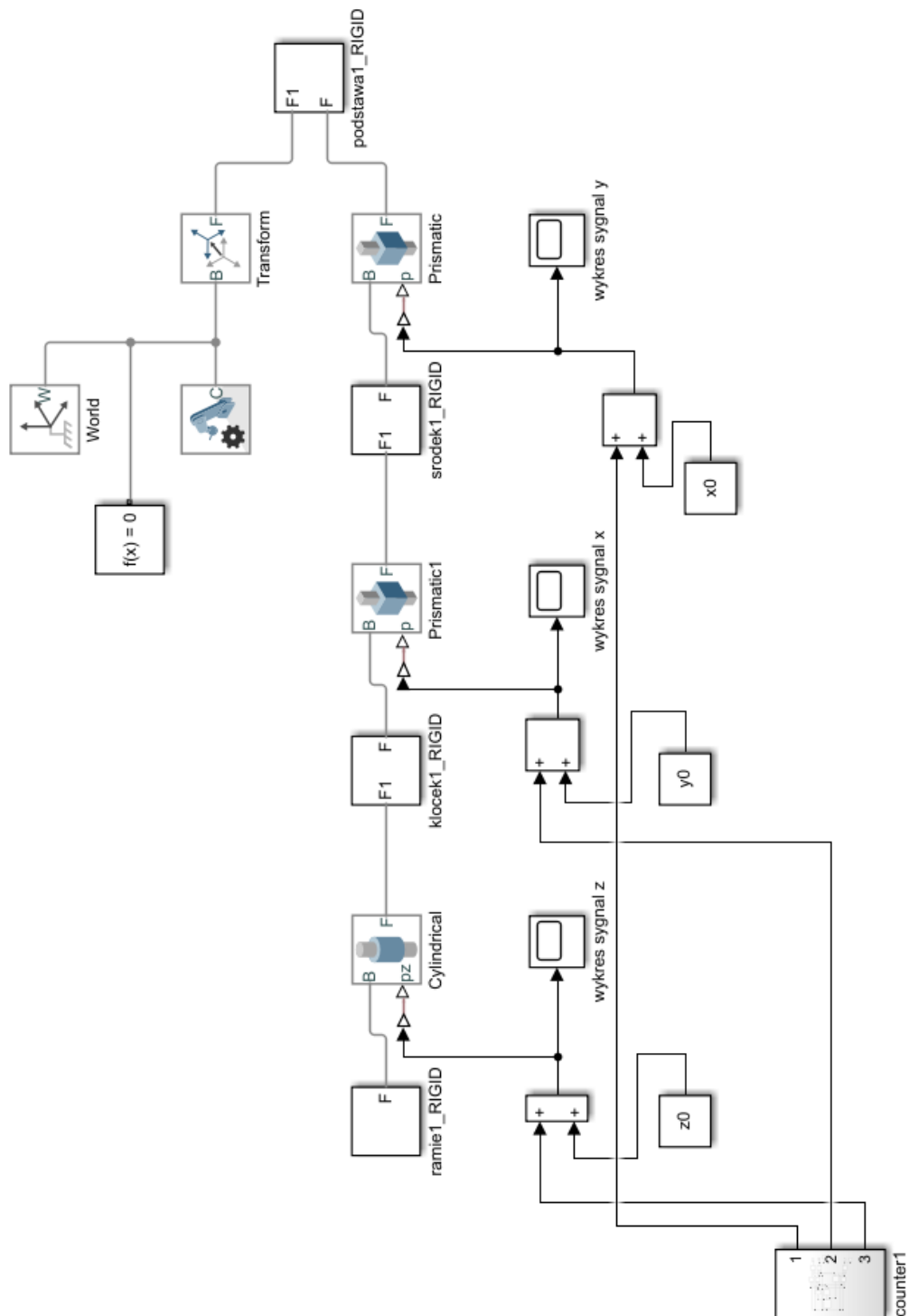
Rys. 7.5. Bloki wiązań elementów

Następnie utworzono podprogram `Counter1` zawierający odpowiednie *country* zliczające wymagana liczbę kroków oraz umożliwiające poruszanie ramionami (prowadnicami) manipulatora, tak aby animacja była płynna i przejrzysta dla użytkownika (rys. 7.6) wraz z funkcją warunkową decydująca o odpowiednim trybie pracy manipulatora (rys. 7.7).

Do pozycjonowania manipulatora następujące zmienne przechowywane są w przestrzeni roboczej Matlab'a (Workspace) [10]:

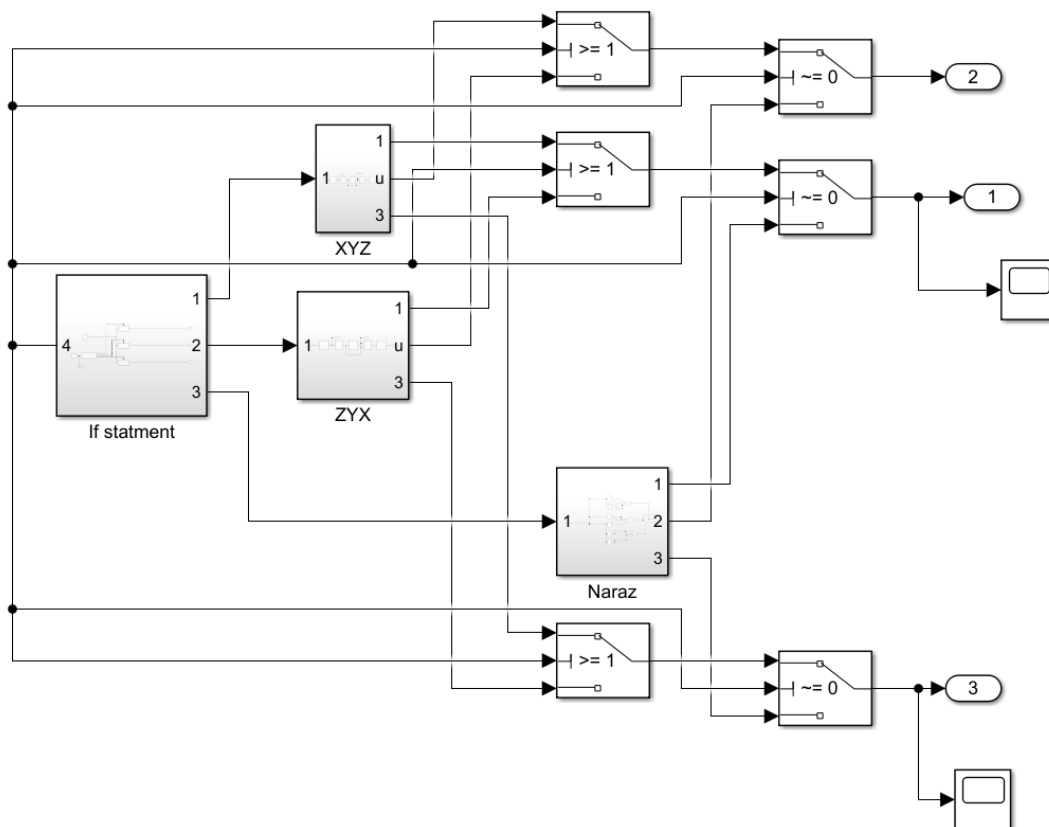
- zmienne  $x, y, z$  – aktualna pozycja manipulatora,

- zmienne  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $z_0$  – ostatnia osiągnięta pozycja,
- Zmienna  $S$  – odpowiadająca różnym trybom pracy manipulatora,
- Zmienne  $T_x$ ,  $T_y$ ,  $T_z$  – definiują czy kolejne kroki przemieszczania się są inkrementowane lub dekrementowane.



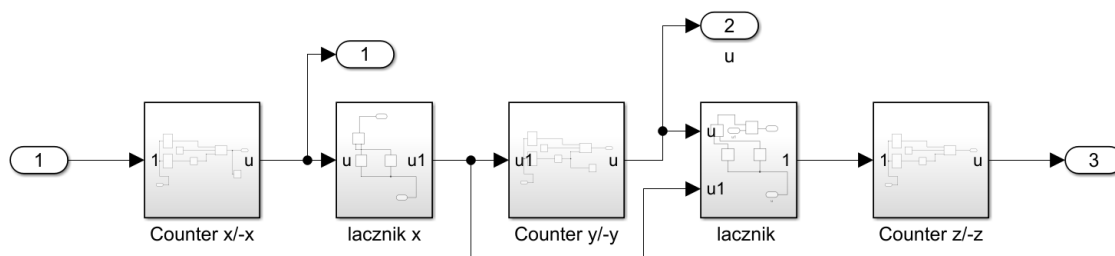
Rys. 7.6. Program z dodatkim blokiem Counter 1



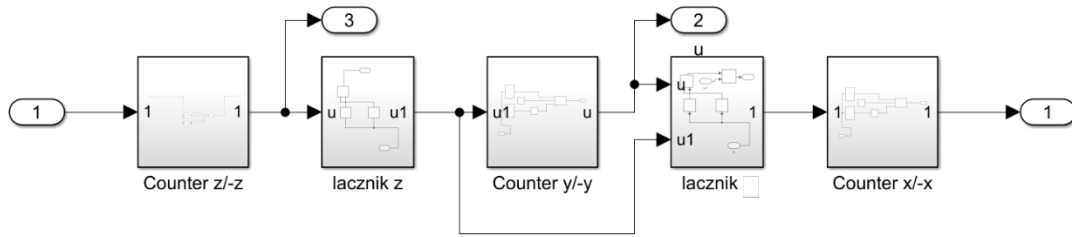


Rys. 7.7. Program zawarty w bloku Counter 1

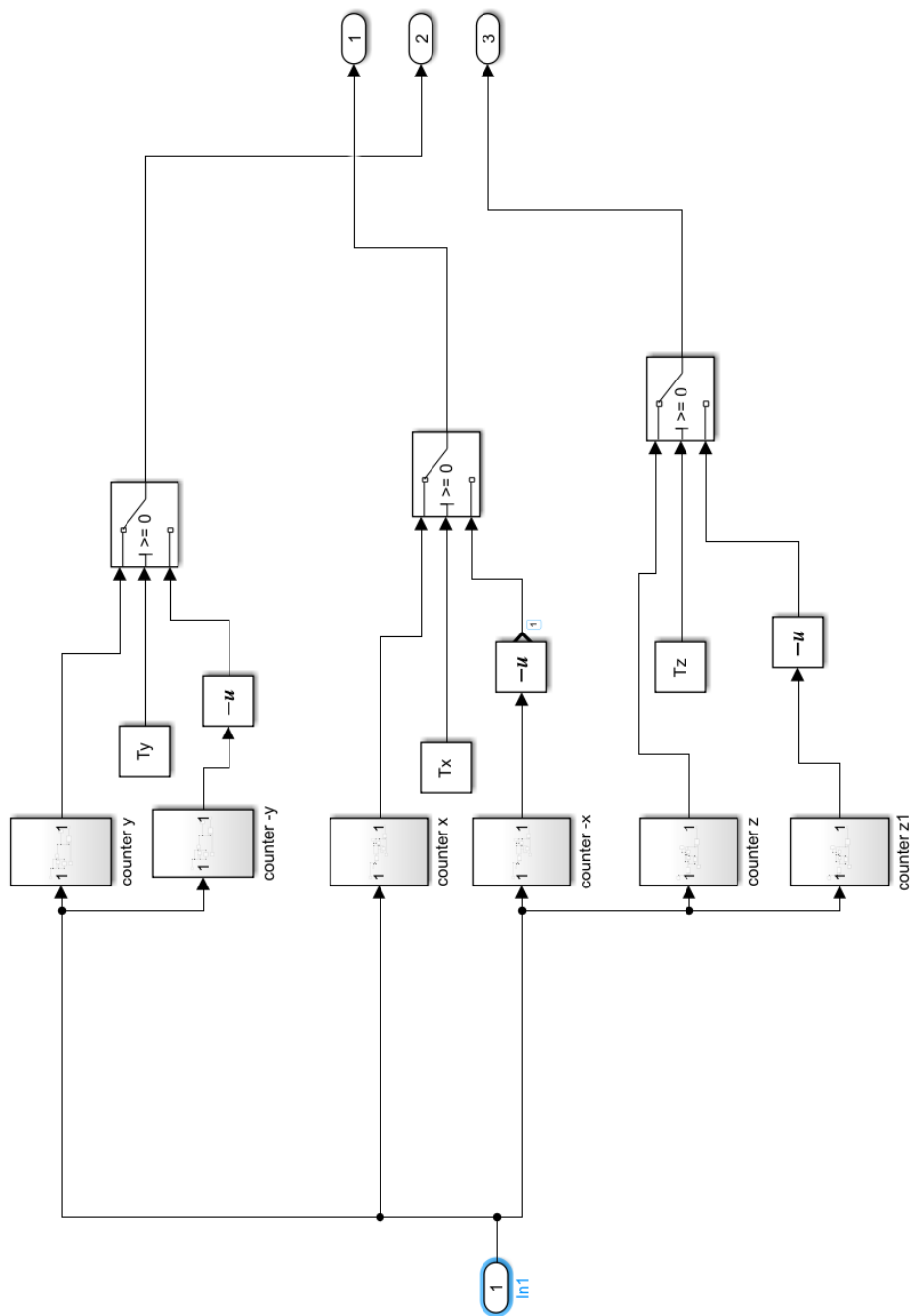
Bloki XYZ, ZYX oraz Naraz (ich zawartość przedstawiona jest na rys. 7.8, rys. 7.9 oraz rys. 7.10) używane są w zależności od tego w jakiej kolejności wykonywane są przemieszczenia na osiach manipulatora. W blokach tych zawarte są podobne podprogramy, które różnią się jedynie kolejnością wykonywanych operacji.



Rys. 7.8. Program zawarty w bloku XYZ

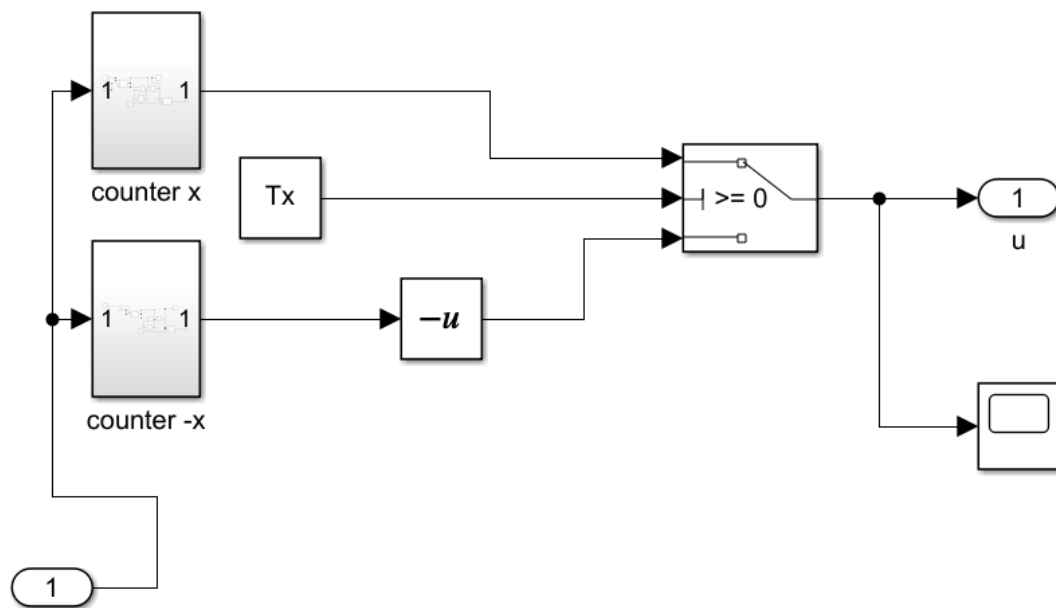


Rys. 7.9. Program zawarty w bloku ZYX



Rys. 7.10. Program zawarty w bloku Naraz

Przedstawione na rys. 7.8 bloki counter  $x/-x$  (rys. 7.11), counter  $y/-y$  oraz counter  $z/-z$  odpowiedzialne są za zliczanie kroków w górę lub w dół zależności od różnicy pozycji aktualnej oraz zadanej. Na schemacie tym przedstawione również są takie bloki jak łącznik  $x$  oraz łącznik. Blok łącznik  $x$  odpowiada za sprawdzenie czy oś  $X$  osiągnęła pozycje zadana i pozwala przejść programowi do przemieszczeń pozycji na osi  $Y$ . Natomiast łącznik sprawdza pozycje osi  $Y$  i w momencie osiągnięcia pozycji zadanej pozwala na rozpoczęcie przemieszczeń na osi  $Z$ . W pozostałych blokach  $ZYX$  oraz  $Naraz$  stosowane są te same podprogramy co w przypadku  $XYZ$ .

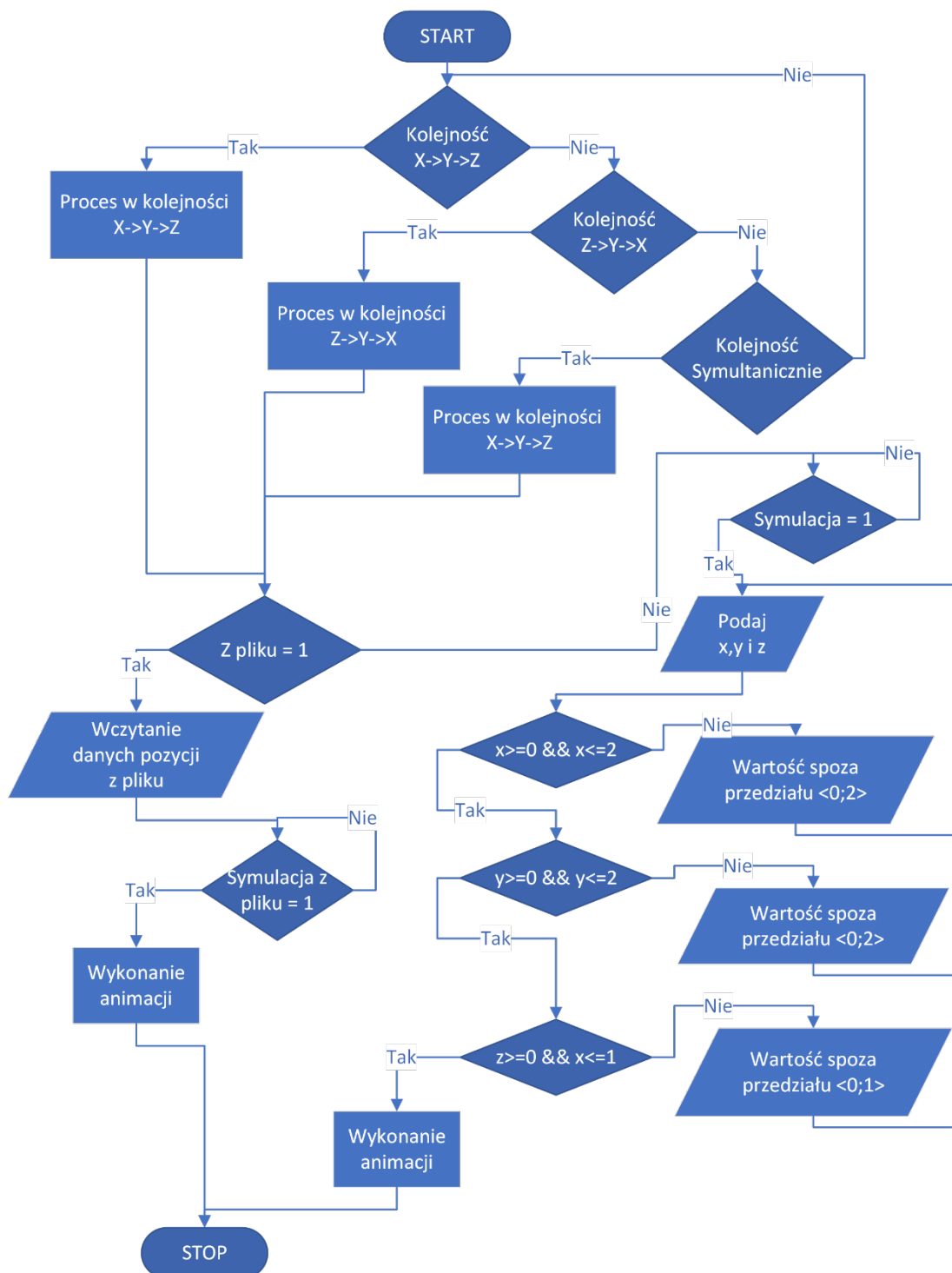


Rys. 7.11. Program zawarty w bloku counte  $x/-x$

Zmienne  $x$ ,  $y$ ,  $z$  po wykonaniu animacji zapisywane są do zmiennych  $x0$ ,  $y0$ ,  $z0$  oraz do pliku *DataFile*, tak aby po zamknięciu oraz ponownemu uruchomieniu programu manipulator znajdował się w ostatnio osiągniętej pozycji.

#### 7.4. Aplikacja do sterowania symulacją

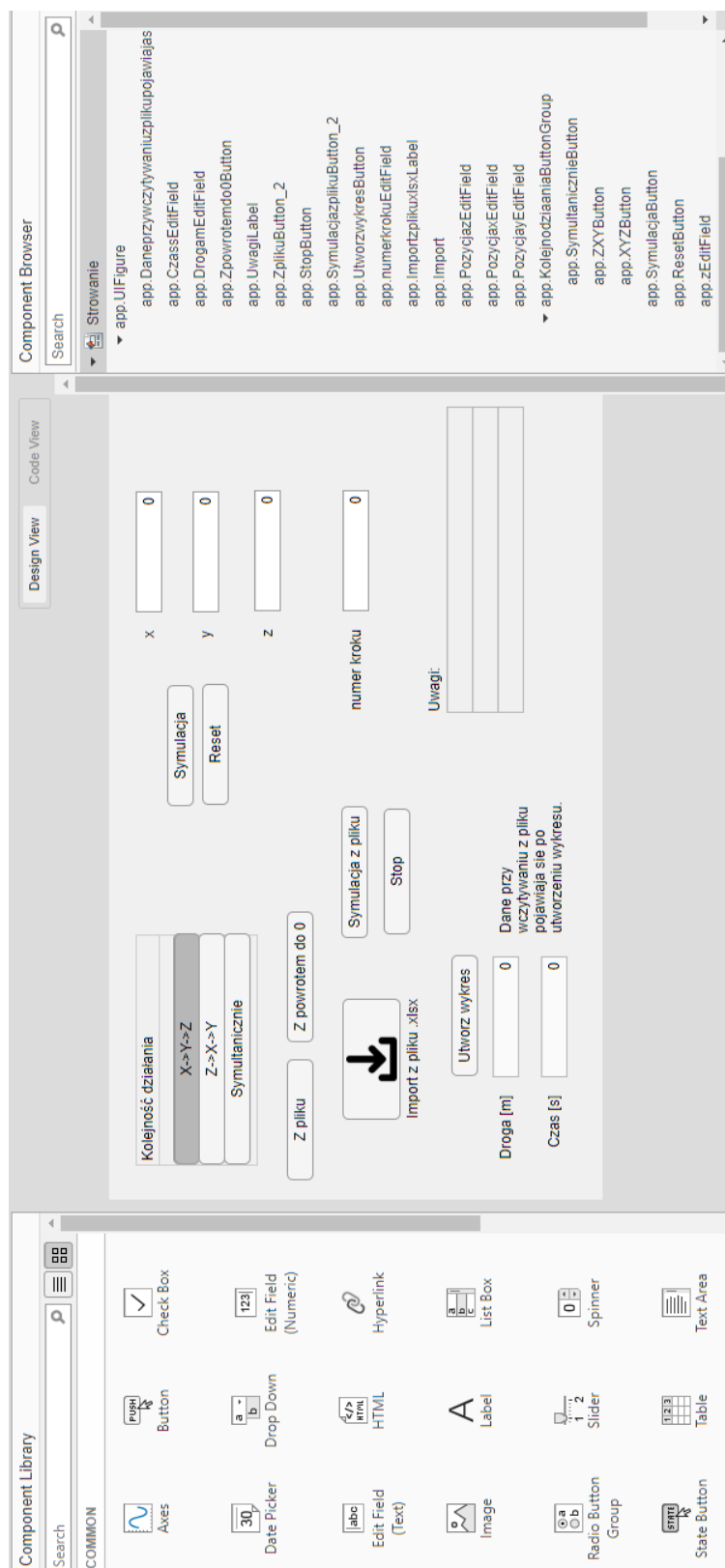
Ostatnim elementem przyjętych założeń początkowych było opracowanie aplikacji do sterowania symulacją manipulatora za pomocą graficznego interfejsu użytkownika GUI. W pierwszej kolejności opracowano schemat blokowy działania aplikacji, który przedstawiono na rys. 7.12.



Rys. 7.12. Schemat blokowy programu

Następnie wykonano implementację tego algorytmu w środowisku Matlab. Podstawowym założeniem było opracowanie interfejsu graficznego aplikacji umożliwiającej w wygodny i intuicyjny sposób symulować działanie

opracowanym modelem manipulatora. Do tego celu zastosowano narzędzie App Designer [11] (Rys.7.13)



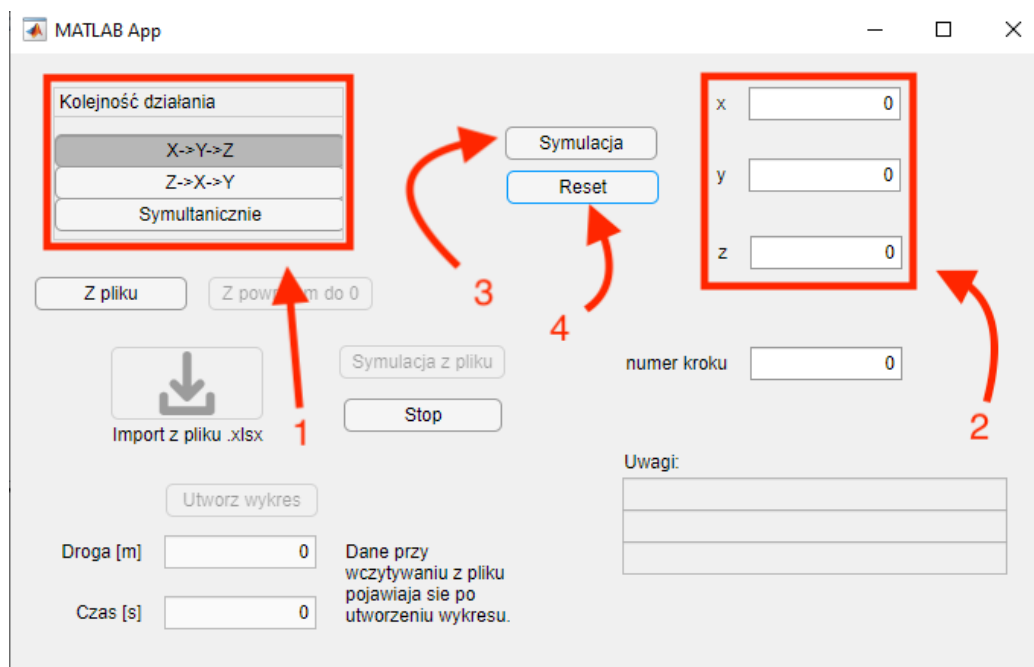
Rys. 7.13. Okno App Designer

## Tryb manualny

Pierwszym możliwym trybem sterowania manipulatorem jest ręczne wpisywanie pozycji w osiach  $X$ ,  $Y$  i  $Z$ .

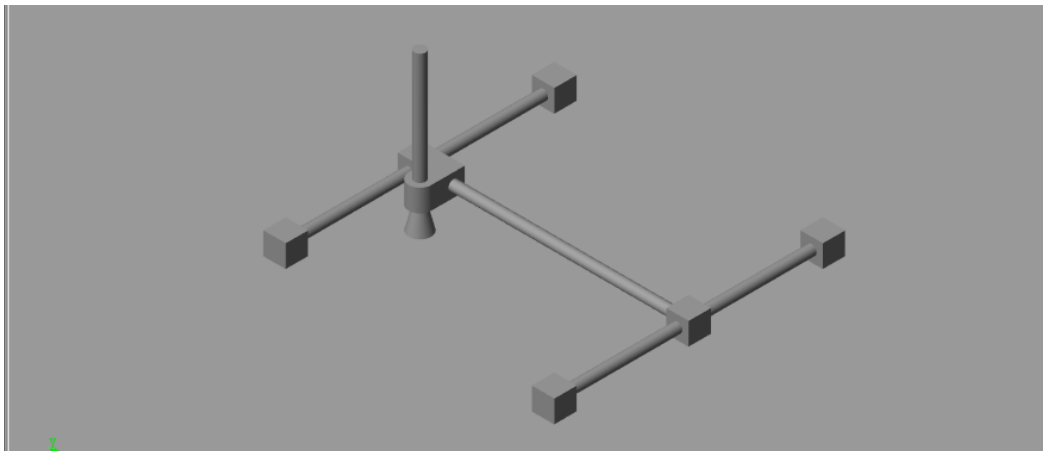
Aby sterować ręcznie należy wykonać następujące kroki:

1. Wybieramy kolejność osi, w których będzie poruszał się manipulator
  - **X->Y->Z** – pierwsze przemieści się w osi  $X$ , po osiągnięciu tej pozycji przemieści się w osi  $Y$ , a następnie w osi  $Z$ .
  - **Z->Y->X** – operacja zostanie wykonana jak w przypadku pierwszym, lecz zaczynając od osi  $Z$ , a kończąc na osi  $X$ .
  - **Symultanicznie** – manipulator przemieści się we wszystkich osiach jednocześnie.
2. Wprowadzamy pozycje na jakie ma się przemieścić manipulator (w osiach  $X$  i  $Y$  przedział  $\langle 0;2 \rangle$ , a w osi  $Z$   $\langle 0;1 \rangle$ )
3. Po wprowadzeniu wartości klikamy przycisk **Symulacja**, aby rozpocząć animację.
4. Jeżeli chcemy zmienić pozycje, powtarzamy krok 2 i 3, w innym przypadku wciskamy przycisk **Reset**, aby manipulator powrócił na pozycje  $[0;0;0]$ .

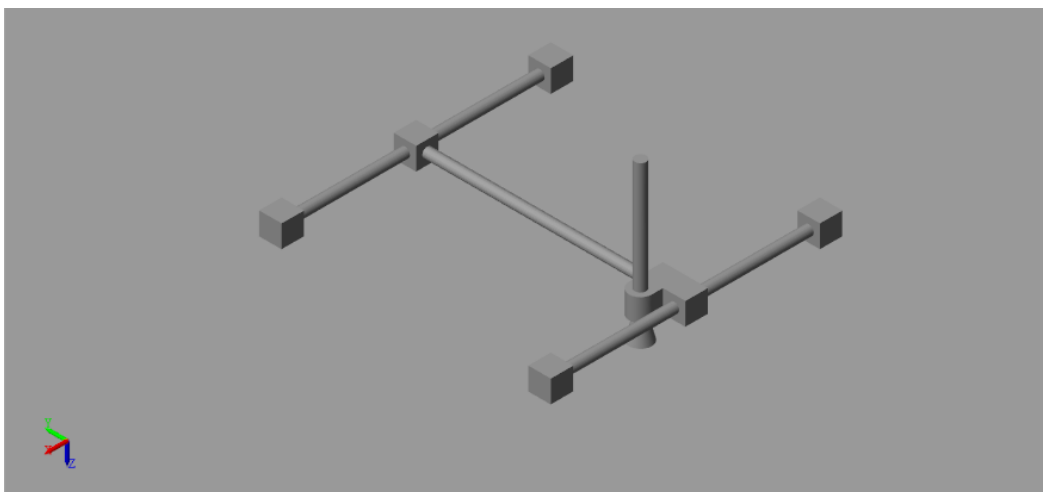


Rys. 7.14. Ręczne wprowadzanie pozycji

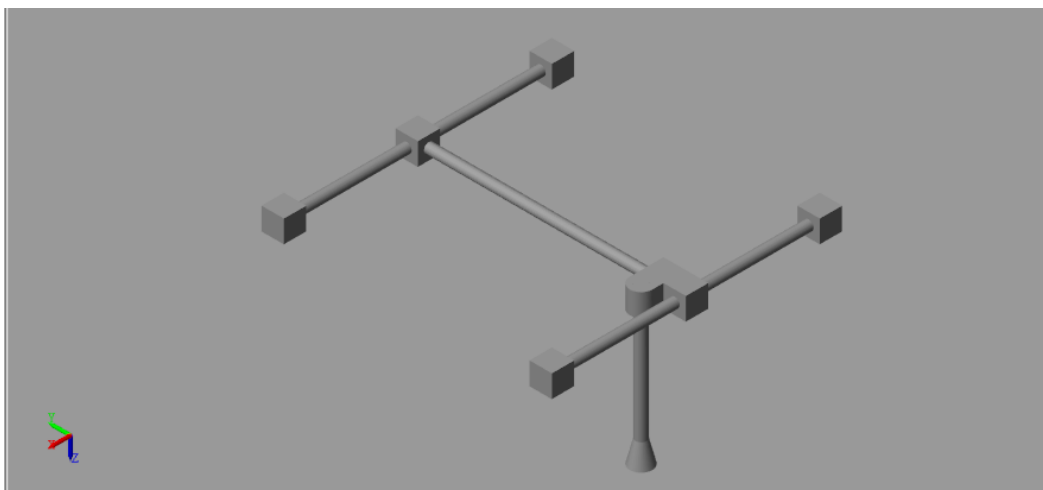
Przykładowe przejścia manipulatora dla pozycji [1;2;1] z wykorzystaniem trybu X->Y->Z, przedstawione na rys. 7.15, rys. 7.16, rys. 7.17.



Rys. 7.15. Przemieszczenie w osi X



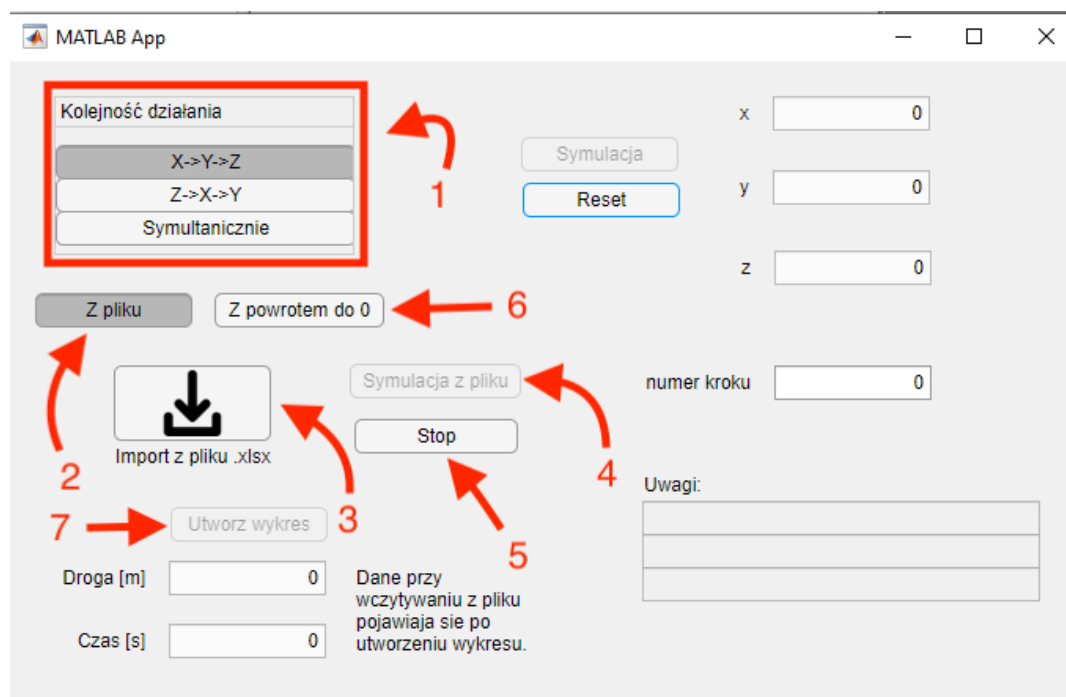
Rys. 7.16. Przemieszczenie w osi Y



Rys. 7.17. Przemieszczenie w osi Z

## Tryb symulacji z pliku wsadowego

Aplikacja do sterowania umożliwia również realizację symulacji na podstawie ścieżki zapisanej w pliku o formacie `xlsx` (przycisk: Import z pliku `.xlsx`) jako uporządkowana lista punktów przemieszczenia się kiści w przestrzeni  $X, Y, Z$ .



Rys. 7.18. Wczytywanie pozycji z pliku

Aby wczytać listę pozycji z pliku należy wykonać następujące kroki (Rys. 7.18):

1. Wybieramy kolejność osi, w których będzie poruszał się manipulator
  - **X->Y->Z** – pierwsze przemieści się w osi  $X$ , po osiągnięciu tej pozycji przemieści się w osi  $Y$ , a następnie w osi  $Z$ ;
  - **Z->Y->X** – operacja zostanie wykonana jak w przypadku pierwszym, lecz zaczynając od osi  $Z$ , a kończąc na osi  $X$ ;
  - **Symultanicznie** – manipulator przemieści się we wszystkich osiach jednocześnie.
2. Klikamy przycisk **Z pliku**.
3. Klikamy przycisk **Import z pliku `.xlsx`** następnie wybieramy plik, z którego chcemy wczytać listę pozycji.
4. Klikamy **Symulacja z pliku** (aktywny dopiero po wczytaniu pliku), aby rozpocząć animację.



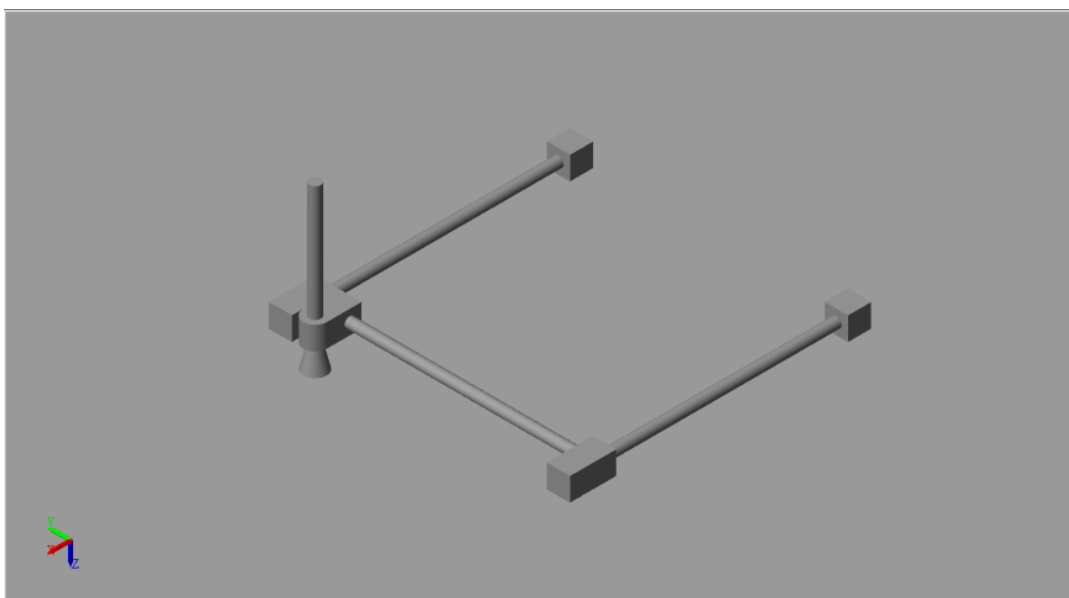
5. Symulację można przerwać w dowolnym momencie używając przycisku **Stop**.
6. Po aktywacji przycisku **Z powrotem do 0** manipulator pomiędzy pozycjami wczytanymi z pliku pozycji będzie powracał na pozycje [0;0;0].

Aplikacja będzie w tym trybie pracy do momentu ponownego kliknięcia przycisku **Z pliku**.

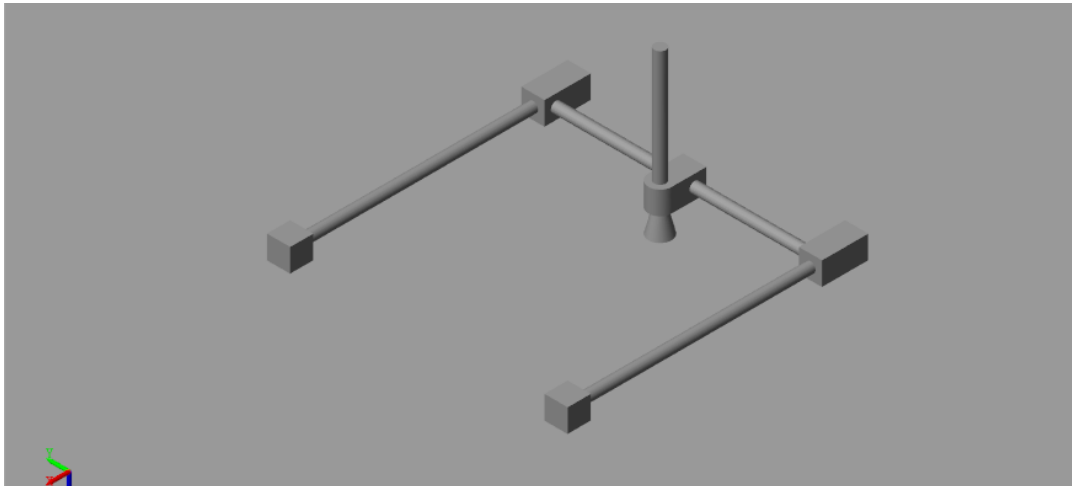
Przykładowe przejścia manipulatora dla danych z pliku zawartego w Tab. 7.1, przedstawione na rys. 7.19, rys. 7.20, rys. 7.21 oraz rys. 7.22.

Tab. 7.1 Przykładowa lista pozycji do symulacji w trybie wsadowym.

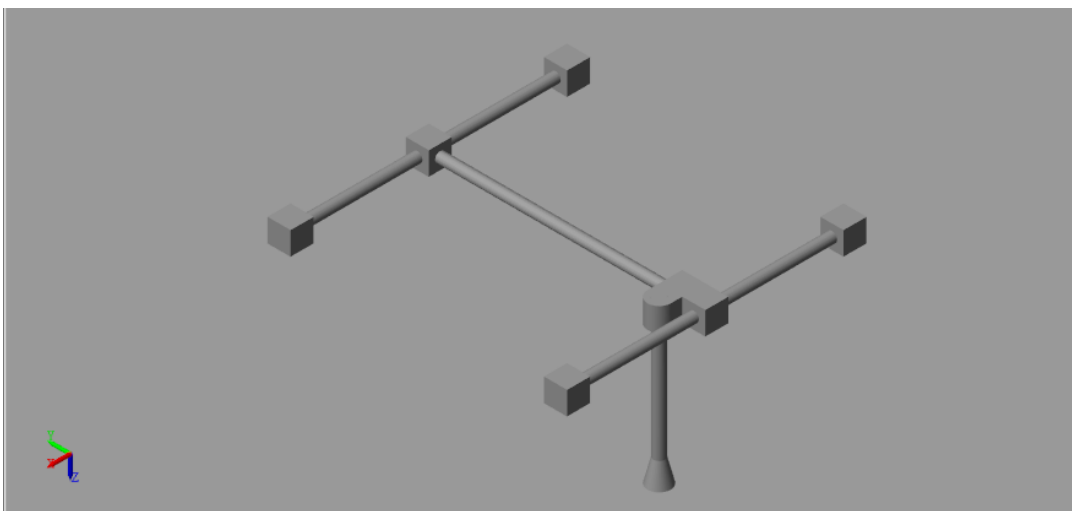
l.p.	$X$	$Y$	$Z$
1	0	0	0
2	2	1	0
3	1	2	1
4	1	1	1



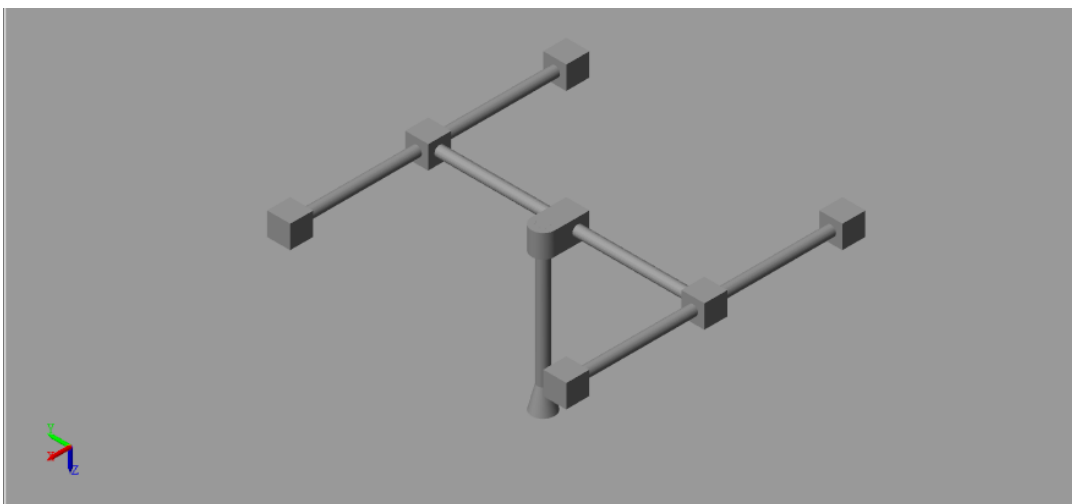
Rys. 7.19. Pozycja 1z Tab. 7.1



Rys. 7.20. Pozycja 2 z Tab. 7.1



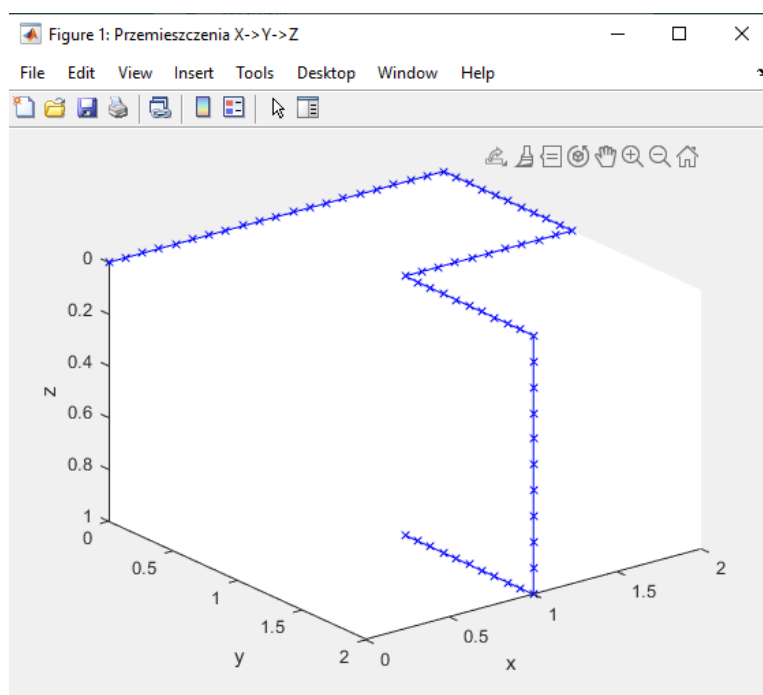
Rys. 7.21. Pozycja 3 z Tab. 7.1



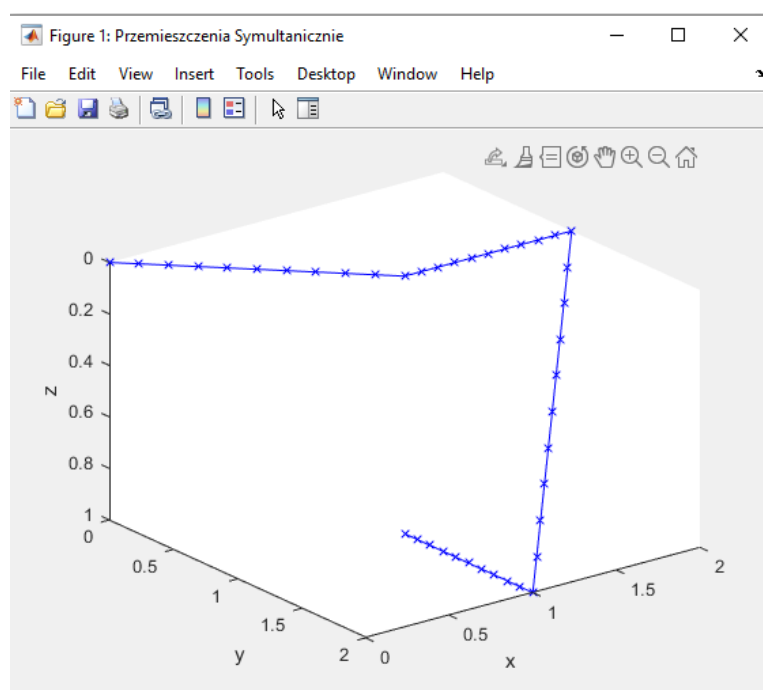
Rys. 7.22. Pozycja 4 z Tab. 7.1

## Tworzenie wykresów

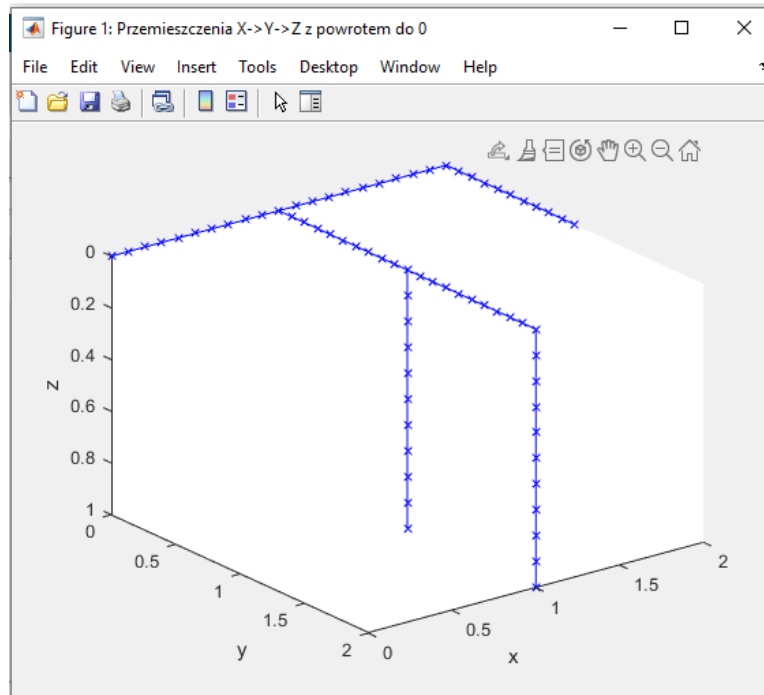
Aplikacja umożliwia również generowanie wykresu przemieszczeń manipulatora w przestrzeni  $X,Y,Z$ . Do tego celu służy przycisk **Utwórz wykres**, który staje się aktywny po wczytaniu pliku z pozycjami dla trybu wsadowego. Następnie wyświetlane jest nowe okno zawierające wykres przemieszczeń końcówki manipulatora.



Rys. 7.23. Przykładowy wykres dla danych z tabeli Tab. 4.1, kolejność X->Y->Z



Rys. 7.24. Przykładowy wykres dla danych z tabeli Tab. 4.1, kolejność Symultanicznie



Rys. 7.25. Przykładowy wykres dla danych z tabeli Tab. 4.1, kolejność X->Y->Z z powrotem do 0

## 7.5. Podsumowanie

Głównym celem badań było opracowanie wirtualnego stanowiska dydaktycznego manipulatora 3-osowego (kartezjańskiego  $XYZ$ ), gdzie:

- do wykonania modelu zastosowano środowisko Autodesk Inventor,
- zastosowano wtyczkę Simscape Multibody Link, aby wyeksportować model do formatu akceptowanego przez środowisko Matlab/Simulink,
- ze względu na brak dostępu do oprogramowania potrzebnego do wyeksportowania plików do formatu używanego przez Robotics System Toolbox w zamian wykorzystane zostało narzędzie Simscape Multibody [12],
- założone funkcjonalności manipulatora została osiągnięte,
- graficzny interfejs sterowania manipulatorem został wykonany z wykorzystaniem narzędzia App Designer.

Przyjęte założenia zostały zrealizowane, a aplikacja została poddana weryfikacji.

Opracowane stanowisko dydaktyczne z powodzeniem może być stosowane w ramach przedmiotów związanych z programowaniem manipulatorów, jak też modelowania i symulacji jako przykład realizacji złożonego zadania. Na tej podstawie można również kształcić studentów w zakresie implementacji modeli mechanicznych do środowiska Matlab/Simulink, która to umiejętność w edukacji na poziomie wyższym staje się koniecznością.

## BIBLIOGRAFIA

1. Elena G Popkova, Yulia V Ragulina, Aleksei V Bogoviz. *Industry 4.0: Industrial revolution of the 21st century*. Springer, 2019.
2. Jana Pieriegud. *Cyfryzacja gospodarki i społeczeństwa – wymiar globalny, europejski i krajowy. Cyfryzacja gospodarki i społeczeństwa. Szanse i wyzwania dla sektorów infrastrukturalnych*, 2016.
3. dr inż. Małgorzata Kaliczyńska. *Kluczowe technologie przemysłu 4.0*, 2018. <https://automatykaonline.pl/Artykuly/Przemysl-4.0/Kluczowe-technologie-Przemyslu-4.0> [Online; dostęp 3.01.2022].
4. *Czym jest intralogistyka? trendy w optymalizacji procesów intralogistycznych*, 2021. <https://www.mecalux.pl/blog/intralogistyka-czym-jest> [Online; dostęp 3.01.2022].
5. Tomas Lozano-Perez, Joseph L. Jones, Emanuel Mazer, Patrick A. O'Donnell. *Task-level planning of pick-and-place robot motions*. *Computer*, 22(3), 1989.
6. Osman Kulak, Ihsan Onur Yilmaz, H-O Günther. *Pcb assembly scheduling for collect-and-place machines using genetic algorithms*. *International Journal of Production Research*, 45(17), 2007.
7. *Export an Autodesk Inventor Robot Assembly Model*, <https://www.mathworks.com/help/physmod/smlink/ug/export-robot-assembly-from-autodesk-inventor-software.html>. [Online; dostęp 3.01.2022].
8. Chunxia Pan, Shana S-F Smith, Gregory C Smith. *Determining interference between parts in cad step files for automatic assembly planning*. *J. Comput. Inf. Sci. Eng.*, 5(1), 2005.
9. *Mechanics Explorer Visualize and explore multibody models*, <https://www.mathworks.com/help/physmod/sm/ref/mechanicsexplorer-app.html>. [Online; dostęp 3.01.2022].

10. Workspace Browser, Open Workspace browser to manage workspace, <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/workspace.html>. [Online; dostęp 4.01.2022].
11. App Designer, Create desktop and web apps in MATLAB, <https://www.mathworks.com/products/matlab/app-designer.html>. [Online; dostęp 4.01.2022].
12. Simscape, model and simulate multidomain physical systems, <https://www.mathworks.com/products/simscape.html> [Online; dostęp 4.01.2022].

# Rozdział 8

## WYŚWIETLACZ SYSTEMU POSZERZONEJ RZECZYWISTOŚCI DEDYKOWANY DLA SŁUŻB MEDYCZNYCH

Niwiński Piotr<sup>1</sup>, Januszka Marcin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, piotniw051@student.polsl.pl

<sup>2</sup>Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, marcin.januszka@polsl.pl

### 8.1. Wprowadzenie

Dostępność danych i informacji oraz zwiększenie szybkości odpowiedniego reagowania na nie są jednymi z podstaw filozofii Przemysłu 4.0 [8]. W ramach filozofii Przemysłu 4.0 wskazano technologię poszerzonej rzeczywistości (ang. *augmented reality*, AR) [1], jako kluczowy składnik tej filozofii. Poszerzona rzeczywistość, która pozwala łączyć komputerowo generowany świat ze światem rzeczywistym stanowi doskonałe narzędzie do dostarczania wszelkiego rodzaju danych, informacji i wiedzy w momencie wystąpienia zapotrzebowania na nie (ang. *just-in-time*) i dokładnie w miejscu wystąpienia tego zapotrzebowania (ang. *just-in-place*). W ramach systemów AR narzędzia sprzętowe stosowane we współpracy z narzędziami programowymi pozwalają na bardziej efektywne realizowanie wszelkiego rodzaju czynności, szczególnie tych które wymagają fachowej wiedzy. Technologia AR i jej korzyści wskazane w ramach filozofii Przemysłu 4.0 spowodowały, że stosowana jest praktycznie we wszystkich dziedzinach życia m.in. medycyna [4], wojskowość, przemysł rozrywkowy, transport i podróżowanie [3], prace inżynierskie i specjalistyczne (wspomaganie projektowania, wspomaganie eksploatacji maszyn i urządzeń, wspomaganie szkoleń specjalistycznych) [2] (rys. 8.1). Istotnym elementem każdego systemu AR są systemy wizualizacji, które najczęściej bazują na wyświetlaczach

montowanych na głowie (ang. Head-Mounted Displays, HMD) lub urządzeniach mobilnych tj. smartfony czy tablety.



Rys. 8.1. Przykładowe zastosowanie systemów HMD w aplikacjach wojskowych [7], rozrywkowych [5] i medycznych [6]

W ostatnim czasie, w związku z trudną sytuacją pandemiczną, z którą przyszło mierzyć się ludziom w każdym aspekcie życia, ale szczególnie w obszarze pomocy medycznej, intensywnie prowadzono prace zmierzające do usprawnienia działania wszelkiego rodzaju służb medycznych. Działanie personelu medycznego w warunkach ochrony sanitarnej i przeciwepidemicznej jest trudne i wymaga odpowiedniego rygoru sanitarnego. Każdy przedmiot, który przechodzi z rąk do rąk jest potencjalnym zagrożeniem, gdyż na jego powierzchni mogą zalegać różnego rodzaju groźne wirusy i bakterie. Z drugiej strony dla personelu medycznego konieczny jest ciągły dostęp, na bieżąco, do różnego rodzaju dokumentacji medycznej (często wciąż papierowej), formularzy (w celu przeprowadzenia wywiadu medycznego), gdzie gromadzi się różnego rodzaju wiedzę i informacje medyczne. Dokumentacja ta najczęściej występuje jednak w tradycyjnej formie papierowej. Trudno jest tego typu papierową dokumentację, którą przegląda wiele osób zabezpieczyć i ciągle dezynfekować. Rozwiązaniem są jednak systemy komputerowe, które pozwalają na efektywne gromadzenie,



przetwarzanie oraz prezentację różnego rodzaju wiedzy, informacji, danych. W tym obszarze doskonale może sprawdzić się technologia poszerzonej rzeczywistości oraz wyświetlacze HMD. Zastosowanie HMD jako urządzenia asystującego personelowi medycznemu, zwłaszcza dla pielęgniarzy i zespołów pierwszej pomocy, pozwala na połączenie informacyjne pracownika z bazą danych. Zezwala także na dynamiczne, odpowiednio szybkie reagowanie na zmieniającą się sytuację w szpitalu czy sytuację poszczególnego pacjenta. Integracja systemu danych pacjenta z systemem łatwego odczytu podczas sytuacji krytycznych czy wystawiania opinii medycznej, pozwala na lepsze dobranie leków dla pacjenta lub wybór skuteczniejszej metody leczenia. Pozostaje jednak jeszcze kwestia uzyskania odpowiedniej sterylności urządzeń. W celu zaspokojenia tak zidentyfikowanej potrzeby autorzy opracowali rozwiązanie wyświetlacza montowanego na głowie, pozwalającego na dostarczanie służbom medycznym danych w trybie poszerzonej rzeczywistości, jednocześnie spełniającego wymagania sanitarne pod kątem zabezpieczenia przed zagrożeniami wynikającymi z możliwości zakażenia wirusami i bakteriami.

## **8.2. Warunki środowiskowe oraz ogólne wymagania**

Wyświetlacz system poszerzonej rzeczywistości dedykowany dla służb medycznych szpitalnych i pozaszpitalnych (np. ratownicy medyczni) poza wymaganiami funkcjonalnymi, ergonomicznymi, powinien spełniać odpowiednie wymagania sanitarne. Środowisko szpitalne charakteryzuje się kilkoma bardzo ważnymi wymaganiami w kwestii wyposażenia i porządku. Przede wszystkim należy utrzymywać sanitarność szpitala. Aspekt ten osiągnąć jest poprzez dokładną dezynfekcję wszystkich przedmiotów, które mogą mieć kontakt z zakażonymi. Są to nie tylko pomieszczenia i ich wyposażenie - łóżka, pościel, szafki, żaluzje bądź umeblowanie – ale także przedmioty używane przez personel szpitala. Każdy z przyrządów jest regularnie dezynfekowany w celu utrzymania sanitarności i zmniejszenia ryzyka zakażeń. Do przyrządów zaliczają się narzędzia lekarskie jak i maszyny mające podtrzymywać lub monitorować funkcje życiowe.

Podczas sytuacji pandemicznej wirusa SARS-COV19, szpitale musiały przyjąć bardziej rygorystyczne kryteria utrzymywania sanitarności. Cały personel szpitalny musi używać przynajmniej podstawowej filtracji powietrza. Maskami

wybranymi przez większość szpitalnego personelu, były te wykonane z materiału z filtrami HEPA. W przypadku gdy takich masek niestety zabraknie, wymagane jest użycie maseczek jednorazowych - nie jest to jednak zalecane dla dłuższego użycia. Dla ochrony twarzy - nie jest ona wymagana, jest jednak stosowana przez większość szpitali – zgodnie z wymaganiami używa się prostej plastikowej przyłbicy. Dokładny model zależy od szpitala. Zasada działania jest jednak zawsze taka sama. Osłania ona całą twarz, sięgając od czoła, aż poniżej brody. Zasłania tym samym maskę, chroniąc ją i jej filtry przed rozbryzgami cieczy. Alternatywnym rozwiązaniem są plastikowe okulary ochronne. Osłaniają one jedynie oczy, posiadają natomiast atut bycia kompletnie szczelnymi, co zezwala na - w teorii - wyższy poziom bezpieczeństwa. Zapobiega też przypadkowemu wprowadzeniu zanieczyszczeń do oczu poprzez odruchowe dotknięcie twarzy. Jakikolwiek zanieczyszczenia, które osadzają się na odzieży, przyłbicy oraz rękawicach powinny być regularnie usuwane poprzez odpowiednie dezynfekowanie. Wyświetlacz systemu AR dla służb medycznych musi zatem także spełniać wymagania związane z odpowiednim poziomem ochrony przez zakażeniem oraz te dotyczące prostoty dezynfekcji.

W ramach prowadzonych prac wypracowano koncepcję systemu wsparcia służb medycznych przy użyciu wyświetlacza HMD z możliwością wizualizacji oraz akwizycji danych i informacji medycznych. Idea wyświetlacza AR dla służb medycznych bazuje na wyświetlaczu HMD, zintegrowanym z maską filtracyjną oraz osłoną twarzy. Na potrzeby projektu, wspólnie we współpracy z ekspertami w zakresie pomocy medycznej i działania służb medycznych, zidentyfikowano kilka istotnych podstawowych wymagań:

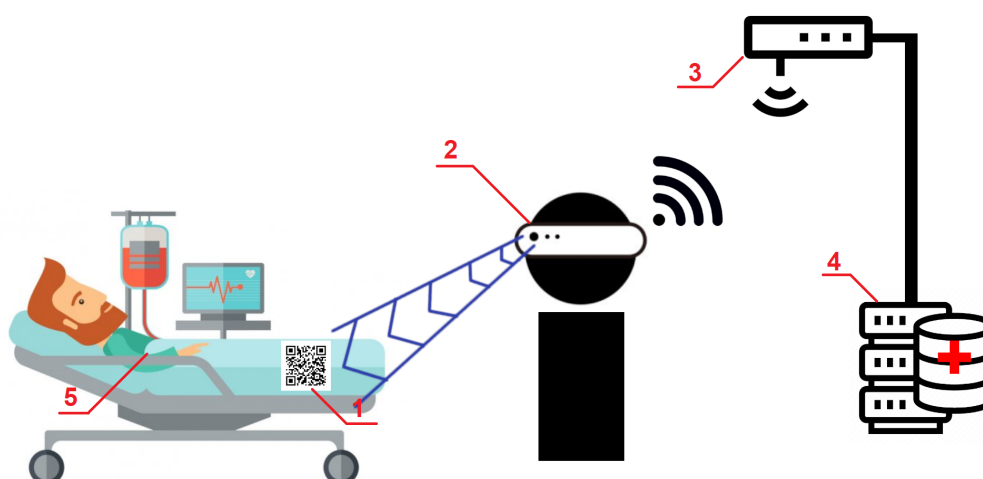
- zestaw powinien być lekki i kompaktowy, aby nie męczyć użytkownika,
- zestaw powinien umożliwiać bycie noszonym przez przynajmniej 8 godzin, zarówno w kwestii wykorzystywanej energii, jak i wygody noszenia,
- pole widzenia użytkownika nie może być zasłonięte poprzez wyświetlacz lub elementy zestawu,
- w przypadku awarii/wyłączenia się zestawu, nie powinien on przeszkadzać użytkownikowi,
- drogi oddechowe powinny otrzymywać wyłącznie filtrowane powietrze,
- zestaw nie może przeszkadzać użytkownikowi podczas sytuacji krytycznych i intensywnych fizycznie,
- cały zestaw powinien być „jednoczęściowy” – tzn. jego założenie lub zdjęcie, nie może wymagać rozebrania go na osobne części,

- zestaw nie powinien wymagać specjalnego przystosowania miejsca użytkowania, aby działać w pełni swoich możliwości.

### 8.3. Koncepcja systemu i scenariusz zastosowania

W ramach projektu, opracowano koncepcję całego systemu i scenariusze działania urządzenia, przeznaczonego do łatwego odczytu lub zapisu danych pacjenta. Zastosowanie takiego systemu odczytu danych i informacji o pacjencie, zezwoli na szybką i bezproblemową opiekę. System oparto o funkcjonalności wybranego wyświetlacza HMD. Celem było wykorzystanie ich potencjału oraz ułatwienie opieki nad pacjentem szpitala.

Podstawowa idea całego systemu pozwala personelowi medycznemu na zastąpienie dokumentacji medycznej z postaci papierowej - postacią elektroniczną, wyświetlaną za pośrednictwem wyświetlacza HMD. Użytkownicy poruszając się po szpitalu, odczytując odpowiednie kody identyfikują pacjenta. Po identyfikacji mają możliwość zapoznania się z aktualnymi danymi medycznymi (zapisanymi w bazie) lub mogą wprowadzić nowe dane (wyniki pomiarów, zdjęcia medyczne, skany dokumentów, filmy itp.) (rys. 8.2). Dane widoczne są poprzez wyświetlacz.



Rys. 8.2. Uproszczony sposób działania systemu: 1.Kod QR konkretnego pacjenta, 2.HMD z odbiornikiem Wi-Fi, 3.Nadajnik Wi-Fi, 4.Baza danych medycznych szpitala, 5.Pacjent

Po przybyciu pacjenta oraz spisaniu jego obecnego stanu zdrowotnego, wydrukowana zostaje kartka z kodem QR. Kod QR ten jest jednorazowy i jest ważny tylko w czasie obecnego pobytu klienta w szpitalu. Kod QR jest bezpośrednim łącznikiem do bazy danych zdrowotnych pacjenta w danym szpitalu. Wydrukowany kod QR zostaje przyczepiony do łóżka lub przyczepiony na drzwi sali – zależy to od stanu zdrowia pacjenta jak i charakterystyki szpitala. Kod ten może zostać zeskanowany przez dowolne urządzenie posiadającą funkcję skanowania takich kodów, a w założeniu autorów także przy pomocy urządzenia HMD. Aby kod QR działał właściwie, należy być podłączonym do sieci szpitalnej. Urządzenie także musi posiadać autoryzowany dostęp do bazy danych zdrowotnych – odbywa się to poprzez unikatowe ID które posiada każde z urządzeń HMD. Sieć rozprzestrzeniona jest po szpitalu za pomocą tradycyjnego systemu routerów, kabli oraz wzmacniaczy sygnału – jest to system tani i prosty w implementacji. Wszystkie jego elementy są dostępne komercyjnie.

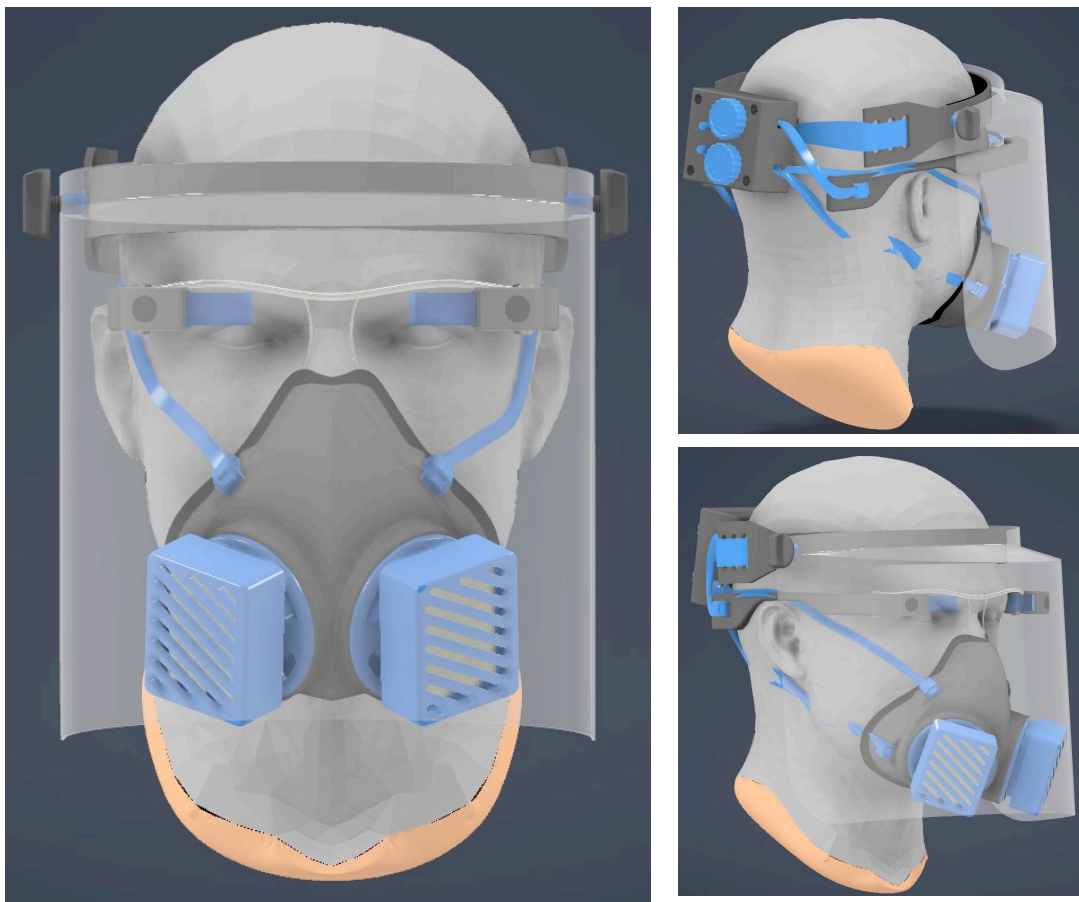
Wpisywanie danych, ich zmiana, usunięcie czy odczyt, może odbywać się z kilku stanowisk. Podstawowym sposobem jest przepisanie lub odczyt informacji o pacjencie przez jeden z kilku stacjonarnych komputerów które mają dostęp do bazy. Drugim sposobem, związanym z opracowanym rozwiązaniem wyświetlacza HMD, jest odczyt danych za pomocą właśnie tego urządzenia. Interfejs HMD zezwala na wydawanie komend głosowych, które służą do komfortowego i szybkiego poruszania się po dokumencie z informacjami medycznymi dotyczącymi danego pacjenta. Jeżeli tekstu jest zbyt dużo w bazie, możliwym jest także skorzystanie z funkcji *text-to-speech*, która odczyta bazę od wybranego momentu, jednocześnie wyświetlając słowa na jednym z ekranów dla ich łatwiejszego odbioru przez użytkownika. Modyfikacja bazy może odbywać się poprzez funkcjonalności modyfikowania dokumentu oraz *speech-to-txt*.

### **8.3. Komponenty wyświetlacza HMD dla służb medycznych**

W celu obniżenia kosztów całego systemu wsparcia służb medycznych projekt wyświetlacza HMD dla służb medycznych oparto na komercyjnym urządzeniu Google Glass Enterprise Edition 2 (GGEE2) [9]. Mimo zastosowania rozwiązania komercyjnego wyświetlacza istotne było jednak jego zaadaptowanie na potrzeby omawianego zastosowania dla wsparcia służb medycznych, w sytuacji

występowania zagrożenia epidemicznego. Kompletny wyświetlacz (rys. 8.3) dla służb medycznych opracowany przez Autorów składa się z kilku zintegrowanych ze sobą podstawowych elementów:

- właściwego wyświetlacza HMD GGEE2,
- przyłbicy,
- maski filtracyjnej,
- systemu ściągającego.



Rys. 8.3. Opracowany wyświetlacz HMD systemu poszerzonej rzeczywistości dla służb medycznych

Zastosowany wyświetlacz GGEE2 posiada kilka bardzo ważnych cech i funkcjonalności, które idealnie spełniają wymagania projektu. Alarmy, przypomnienia czy notatki, pozwalają na zapisanie ważnych informacji i wydarzeń, które mogą umknąć podczas pracy. Przykładowo, jeżeli na oddziale leży pacjent, którego stan należy sprawdzać co godzinę. Ustawienie godzinnego przypomnienia o tym za pomocą komendy głosowej, pozwala na szybki i niezawodny sposób dbać o pacjenta. Systemy audio, wideo oraz zintegrowana z

nimi kamera, zezwalają na wiele funkcji komunikatywnych, informacyjnych i dowodowych. Opcja transmisji obrazu na żywo i wideo-rozmowy pozwala na natychmiastowy kontakt z wymaganym doktorem - nawet gdyby ten posiadał jedynie telefon - oraz uzyskanie od niego potrzebnych informacji w danym momencie. Przeglądanie obrazów i dokumentów oraz modyfikacja tekstu zezwalają na szybkie zapoznanie się ze stanem i historią pacjenta na podstawie jego historii medycznej. W tym celu wymyślono również prosty system zarządzania danymi i historią medyczną pacjenta, który wykorzystuje GGEE2 i jego funkcjonalności. Dokument może być z łatwością odczytany lub odsłuchany za pomocą *text-to-speech*, następnie dokument można zmodyfikować za pomocą funkcji *speech-to-text*. Skaner kodów QR pozwala na odczyt. Sterowanie za pomocą touchpada jest proste i intuicyjne. Wykorzystano tutaj fakt, iż obecnie spory odsetek społeczności używa *smartphone'a*. Użytkownik znając standardowe ruchy wykorzystywane w swoim telefonie, bardzo łatwo jest w stanie nawigować po menu i funkcjach GGEE2. W przypadku gdy niemożliwe jest używanie touchpada, komendy głosowe są prostą i szybką metodą na sterowanie urządzeniem. W większości jest ono nawet szybsze niż touchpad. Komendy głosowe dodatkowo posiadają atut bycia sterowaniem kompletnie bezdotykowym - co zwiększa poziom sanitarności w szpitalu. Służą one także do modyfikacji tekstu oraz sterowania urządzeniem w przypadku sytuacji krytycznych i intensywnych. Moduły łączności Bluetooth oraz Wi-Fi zezwalają nie tylko na podłączenie urządzeń peryferyjnych w razie potrzeby, takich jak klawiatura czy głośnik. Zezwalają także na transmisję informacji - co również wykorzystano w zaprojektowanym systemie danych medycznych pacjenta. Z pomocą modułu Wi-Fi i łączności z internetem, istnieje możliwość użycia również i tych zasobów. Przykładowo, w przypadku gdy wymagany jest tłumacz, można skorzystać ze strony Google Translate i funkcji *speech-to-text*, aby porozumieć się z pacjentem, bądź odczytać poprawnie etykietę jego leków. Komercyjna dostępność jak i wsparcie techniczne dotyczące wyświetlacza HMD GGEE2, oferowane przez firmę Google okazują się także bardzo ważną cechą. W opracowanym rozwiązaniu wyświetlacza dla medyków konieczne było jednak opracowanie dodatkowej wersji lustrzanej wyświetlacza, tak aby użytkownik miał dostarczane informacje poprzez lewe i prawe oko jednocześnie.

Z uwagi na warunki panujące w szpitalach oraz sposób rozprzestrzeniania się niektórych wirusów (w tym wirusów z grupy SARS-COV) i bakterii, urządzenie musi posiadać osłonę twarzy. W ramach projektu zaproponowano więc

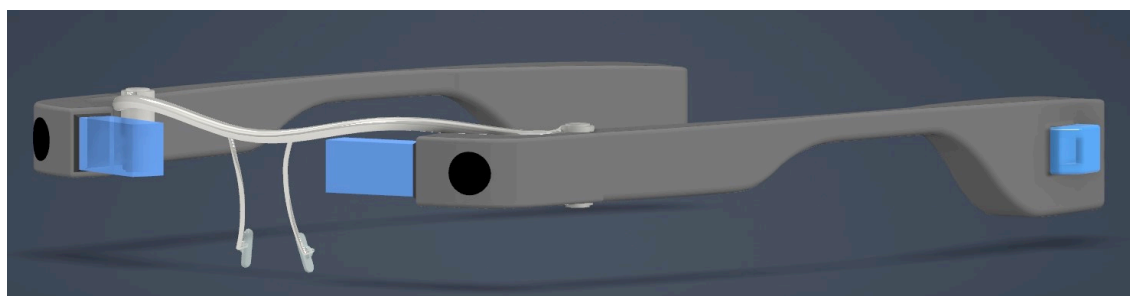
rozwiązanie przyłbicy chroniącej użytkownika przez łatwym dostępem wirusów rozprzestrzeniających się drogą kropelkową np. w efekcie kichania i bliskiego kontaktu z pacjentem. Osłonę na potrzeby rozwiązania zmodyfikowano i dostosowano w taki sposób, aby użytkowanie HMD nie było uciążliwe. Przyłbica w takiej formie pozwala na bardzo komfortowe i proste założenie. Przyłbica wykonana z lekkich materiałów, nie przeszkadza ani nie podrażnia użytkownika. Cechuje się także bardzo prostym sposobem założenia ochrony twarzy - jednocześnie pozwalając na regulację położenia.

Zadaniem przyłbicy jest przede wszystkim ochrona oczu użytkownika. Natomiast w celu ochrony przed wirusami i bakteriami układu oddechowego wyświetlacz zintegrowany jest z półmaską z wymiennymi filtrami HEPA (wysokosprawnych filtrów powietrza o skuteczności powyżej 99%).

Istotnym z funkcjonalnego punktu widzenia elementem całego zintegrowanego wyświetlacza jest system naciągu i dopasowania do głowy. Wyświetlacz z maską i przyłbicą montowany na głowie posiada zatem autorski system naciągu dla łatwego założenia i regulacji całego układu i wygodnego jego noszenia.

#### **8.4. Rozwiązanie konstrukcyjne zintegrowanego wyświetlacza HMD dla służb medycznych**

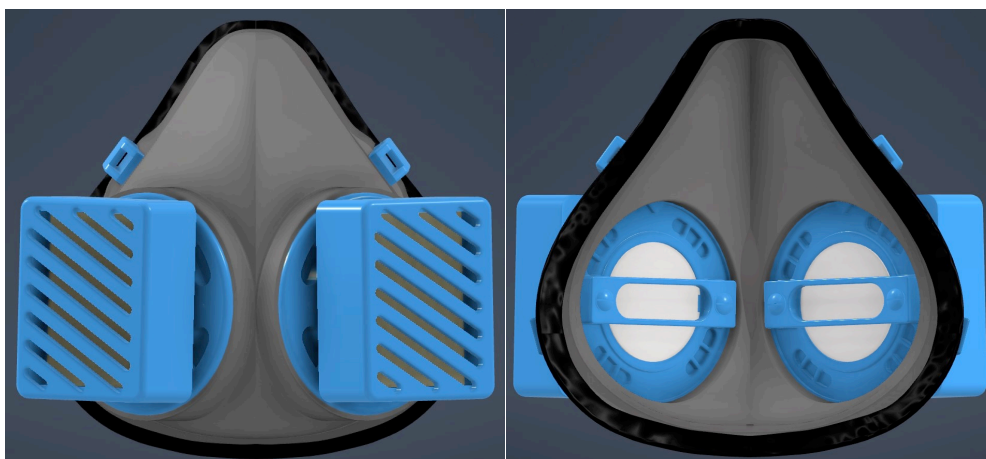
W ramach projektu, utworzono model CAD całego zestawu - obejmuje on: własny model GGEE2, przyłbicę, ściągacz oraz maskę. Cały model został opracowany w środowisku CAD Autodesk Inventor 2022. Ze względu na brak dostępnego modelu 3D CAD wyświetlacza GGEE2 konieczne było przeprowadzenie procesu inżynierii odwrotnej. Model wyświetlacza (rys. 8.4) przygotowano w wersji na lewe i prawe oko. Dodatkowo opracowano model ramki szkieł korekcyjnych dla osób korzystających na co dzień z okularów, integrującej lewy i prawy wyświetlacz HMD.



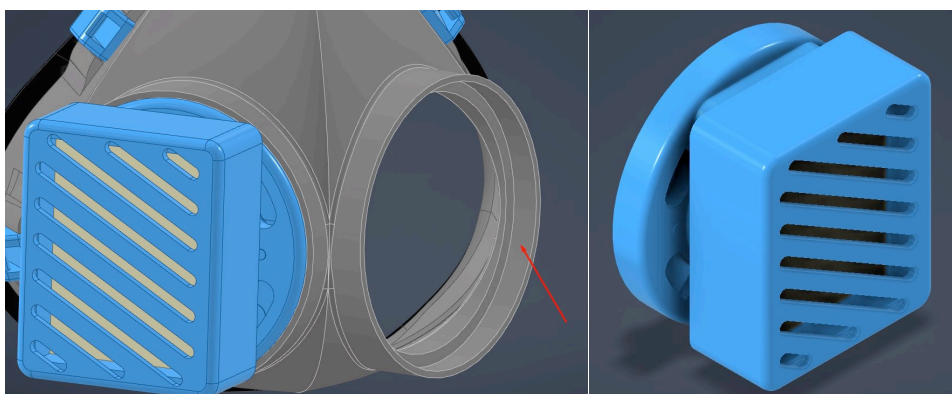


Rys. 8.4. Model 3D CAD wyświetlacza Google Grass Enterprise Edition 2 na potrzeby systemu

Do urządzenia została opracowana maska filtracyjna (rys. 8.5). Z powodu charakterystyki konstrukcyjnej wybranego HMD jak i przyłbicy, maska ta nie mogła być cało-twarzowa. Było to także spowodowane charakterystyką środowiska pracy. Zgodnie z opinią ekspertów medycznych szczelne zakrywanie twarzy nie było wymagane w warunkach szpitalnych. Półmaska filtracyjna w pełni wystarczy do filtracji zakażeń, a w kwestii osłony reszty twarzy, przyłbica chroni w pełni przed rozbryzgami cieczy. Dodatkowo, nie paruje ona w tak dużym stopniu, jak w pełni hermetyczna maska. Opracowany model maski posiada dwa miejsca na wymienne filtry (rys. 8.5). Filtry posiadają złącze o okrągłym kształcie, umożliwiającym łatwiejsze zamontowanie elementów obrotowych wymaganych w wymiennych systemach filtracyjnych. W korpusie maski, przedłużono miejsca na zamontowanie filtrów, które pozwalając na ich łatwiejszy montaż i uszczelnienie. Cylindryczny kształt pozwala na większą powierzchnię styku podczas montażu. Filtry są przyczepiane do maski za pomocą żywicy epoksydowej. Żywica ta stanowi doskonałe spoiwo pomiędzy dwoma plastikowymi elementami, a także zezwala na poprawne uszczelnienie filtrów. Wewnętrzna część cylindrów jest smarowana, a następnie wciśnięty zostaje w nie filtr. Po zaschnięciu spoiwa, główne gniazdo filtra jest na stałe zamontowane w masce.

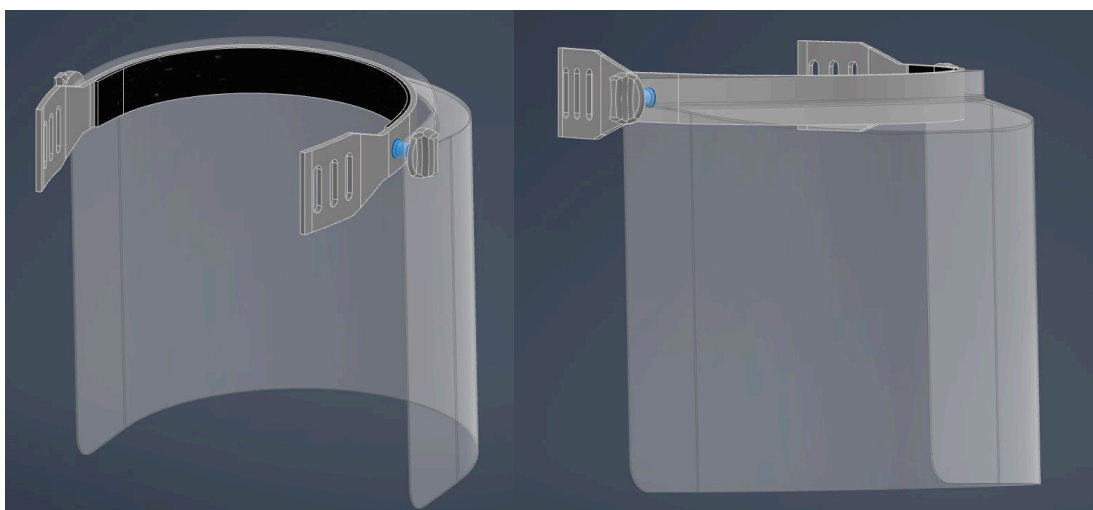






Rys. 8.5. Półmaska z filtrami HEPA jako komponent systemu wyświetlacza AR

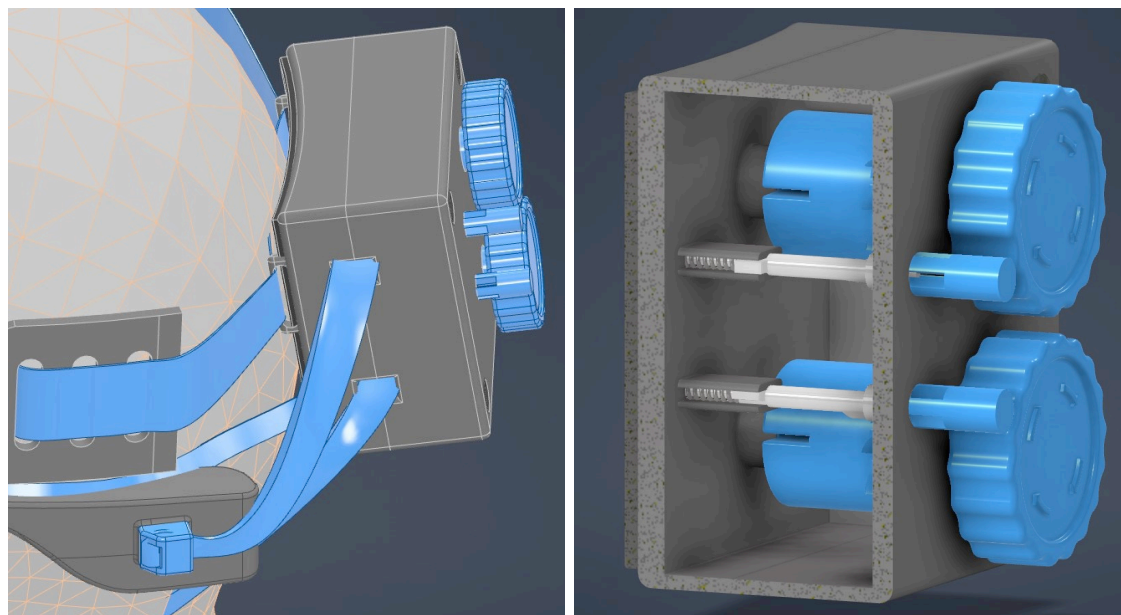
Jako przyłbice dla zintegrowanego urządzenia wybrano standardową przyłbicę dostępną na rynku. Podczas gdy taką handlową przyłbicę można zastosować w urządzeniu bez większych problemów, odpowiednie modyfikację znacznie poprawiły komfort noszenia i jakość użytkowania. Docelowe rozwiązanie przyłbicy przedstawiono na rysunku 8.6.



Rys. 8.6. Model przyłbicy jako komponent systemu wyświetlacza dla służb medycznych

Naciągnięcie maski na głowę oraz pozycja maski są regulowane poprzez system ściąający (rys. 8.6). Ponieważ całe urządzenie składa się z elementów, które wymagają odpowiedniej regulacji noszenia, całość została spięta poprzez system ściąający paski gumowo-materialowe. Wzorując się na popularnych systemach naciągowych utworzono własny układ zaciągający paski gumowo-materialowe. W projekcie uwzględniono potrzebę prostoty wytworzenia np. przy zastosowaniu technologii druku 3D. System ściąający łączy 3 pozostałe główne elementy urządzenia (wyświetlacz, maskę oraz przyłbicę) za pomocą układu pasków. Układ pozwala na regulowanie osobno siły zaciągnięcia paska GGEE2

oraz maski filtracyjnej. GGEE2 regulowane jest poprzez jeden pasek, natomiast maska filtracyjna przez dwa paski. Aby wyregulować dany element, należy przytrzymać przycisk zwalniający mechanizm blokujący a następnie kręcić pokrętką aż do otrzymania odpowiedniego napięcia elementu. Puszczanie przycisku powoduje zablokowanie się mechanizmu i zablokowanie napięcia paska regulacyjnego w danej pozycji



Rys. 8.6. System ściągający do prawidłowego montażu elementów systemu na głowie użytkownika

## 8.4. Podsumowanie

Celem prac omówionych w niniejszym rozdziale było opracowanie rozwiązania systemowego wyświetlacza montowanego na głowie, stosowanego na potrzeby służb medycznych. W założeniu wyświetlacz miał posiadać cechy pozwalające na dostarczanie niezbędnej wiedzy personelowi medycznemu w warunkach pracy przy pacjentach izolowanych w wyniku zakażenia groźnymi wirusami oraz bakteriami przenoszonymi drogą kropelkową. W szczególności projekt inspirowany był zaistniałą sytuacją pandemiczną w roku 2020/21. W założeniach określono, iż projekt przeznaczony jest do użytku przez służby medyczne i być używany w charakterze asysty podczas długich godzin pracy. Przegląd rynku w

tym obszarze ujawnił, iż obecnie brakuje urządzenia zaspokajającego potrzebę dostarczania danych gromadzonych w medycznych systemach informatycznych. Projekt wyświetlacza oraz wymagane cechy użytkowe konsultowane były na bieżąco z potencjalnymi użytkownikami z grona osób personelu medycznego. Należy więc uznać, że uwzględnia bezpośrednie potrzeby. Opracowane rozwiązanie wyświetlacza zintegrowanego z maską i przyłbicą spełnia wymagania WHO w zakresie ochrony przed zagrożeniem wirusem SARS-CoV-2 w czasie epidemii. Jednakże faktyczne jego użycie w warunkach szpitalnych, poza sytuacjami nadzwyczajnymi (takimi jak stan epidemii) wymagałoby w przyszłości dodatkowej certyfikacji, w celu potwierdzenia spełnienia wymagań norm CE oraz m.in. [10, 11, 12, 13]. W okresie epidemii wymagania dla stosowanego sprzętu medycznego są często łagodzone, co wynika z braku dostępu do sprzętu medycznego w wymaganych ilościach. Zatem wszelkiego rodzaju sprzęt medyczny do przeciwdziałania zagrożeniu pandemicznemu także mógł być zakupiony przez jednostki medyczne i stosowany pod warunkiem, że jest zgodny z wytycznymi krajowego konsultanta w dziedzinie chorób zakaźnych, opublikowanymi w Biuletynie Informacji Publicznej na stronie podmiotowej ministra właściwego do spraw zdrowia. Środki te mogły być nabywane przed zakończeniem oceny ich zgodności i bez oznakowania CE nie dłużej niż 30 dni od dnia zakończenia stanu epidemii. Dla opracowanego wyświetlacza w przypadku chęci jego ciągłego stosowania w przyszłości także po zakończeniu stanu epidemii wymagane byłoby jednak uzyskanie stosownych certyfikatów dopuszczenia, wydawanych np. przez Ośrodek Badań Atestacji i Certyfikacji OBAC Sp. z o.o. czy Polskie Centrum Badań i Certyfikacji S.A.

Kolejnym krokiem prac zmierzających do wdrożenia rezultatów, poprzedzającym ewentualną certyfikację, będzie jednak wytworzenie prototypu urządzenia. Przyjęte rozwiązania, bazujące w dużej mierze na komercyjnym wyświetlaczu GGEE2, typowej półmasce oraz pozostałych podzespołach całego systemu wyświetlacza, które można wytworzyć przy zastosowaniu niskokosztowych technologii wytwórczych tj. druk 3D w przyszłości powinny pozwolić Autorom szybko wytworzyć prototypy w celu walidacji przyjętych rozwiązań z perspektywy funkcjonalnej. Dostępność bibliotek SDK dla oprogramowania obsługującego wyświetlacz GGEE2 od strony programowej również pozwoli na szybkie opracowanie prototypowego systemu informatycznego obsługującego wyświetlacz. W tym kierunku zmierzać będą dalsze prace Autorów.

## BIBLIOGRAFIA

1. Azuma R. T.: "A Survey of Augmented Reality". Teleoperators and Virtual Environments Nr 6-4, 1997, s. 355–385.
2. Januszka M.: „Techniki poszerzonej rzeczywistości w celu wspomaganiania pracowników utrzymania ruchu”. Utrzymanie Ruchu nr 1, 2021, s. 46-50.
3. Regenbrecht H., Baratoff G., Wilke W.: "Augmented reality projects in automotive and aerospace industry". Computer Graphics and Applications, 2005, s. 48–56.
4. Sielhorst T., Obst T., Burgkart R., Riener R., Navab N.: "An augmented reality delivery simulator for medical training". AMI-ARCS'04, 2004, s. 11–20.
5. GSM ARENA. Oculus quest 2 review. Dostępne pod adresem: [https://www.gsmarena.com/oculus\\_quest\\_2\\_reviewnews-46255.php](https://www.gsmarena.com/oculus_quest_2_reviewnews-46255.php) (dostęp dnia: 12.01.2022 r.).
6. Behance. HMD projects — photos, videos, logos, illustrations and branding on behance. Dostępne pod adresem: <https://mir-s3-cdn-cf.behance.net/projects/404/fe97c1109641555.5fd898f42f479.jpg> (dostęp dnia: 12.01.2022 r.)
7. Elbit Systems. Helmet Mounted Displays (HMD). Dostępne pod adresem: <https://www.elbitsystems-uk.com/what-wedo/air-space/aircraft-systems/helmet-mounted-displays> (dostęp dnia: 12.01.2022 r.)
8. Piątek Z.: Czym jest przemysł 4.0? Dostępne pod adresem: <https://przemysl-40.pl/index.php/2017/03/22/czym-jest-przemysl-4-0/> (dostęp dnia: 12.01.2022 r.)
9. Google Glass Enterprise Edition 2. Dostępne pod adresem: <https://www.google.com/glass/start/> (dostęp dnia: 12.01.2022 r.)
10. Norma PN-EN 140:2001/Ap1:2003 - Sprzęt ochrony układu oddechowego – Półmaski i ćwierćmaski – Wymagania, badanie, znakowanie (lub odpowiednio EN 140:1998 EN 140:1998/AC:1999)
11. Norma PN-EN 149+A1:2010 - Sprzęt ochrony układu oddechowego – Półmaski filtrujące do ochrony przed cząstkami – Wymagania, badanie, znakowanie (lub odpowiednio EN 149:2001+A1:2009)

12. Norma PN-EN 167:2005 - Ochrona indywidualna oczu – Optyczne metody badań (lub odpowiednio EN 167:2001)
13. Norma PN-EN 168:2005 - Ochrona indywidualna oczu – Nieoptyczne metody badań (lub odpowiednio EN 168:2001)



# Rozdział 9

## ZDALNIE STEROWANE ROBOTY DO ZASTOSOWANIA W E-SPORCIE

**Puchała Igor<sup>1</sup>, Januszka Marcin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, igor.puchala@gmail.com

<sup>2</sup>Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, marcin.januszka@polsl.pl

### 9.1. Wprowadzenie

Robotyka jest stosunkowo młodą, interdyscyplinarną dziedziną nauki. Stanowi ona połączenie wielu dziedzin techniki w celu tworzenia robotów – mechanicznych urządzeń będących w stanie wykonywać zaprogramowane im zadania [3]. Urządzenia te znajdują zastosowania między innymi przemysłowe, militarne, edukacyjne oraz badawcze. Robotyka obejmuje swoim zakresem następujące działy nauki i techniki [4]: inżynieria mechaniczna, elektrotechnika, elektronika, informatyka, mechatronika, automatyka, bioinżynieria. Robotyka mobilna jest obecna w wielu dziedzinach. Pomimo jej znacznego wkładu w rozwój przemysłu nie należy zapominać o sferze edukacji i popularyzacji nauki. Doskonałą formą do zdobywania doświadczeń, rozwoju edukacyjnego, a także popularyzacji nauki są roboty mobilne konstruowane na potrzeby różnego rodzaju zawodów. Zmagania robotów to m.in. turnieje, w których poszczególne drużyny konstruują roboty mające wykonać ściśle określony cel. Celem może być nawigacja toru w jak najkrótszym czasie, odzyskanie przedmiotu lub bezpośrednia konfrontacja w „walce” robotów. Przykładowe zawody i konkurencje robotyczne to [1]:

- European Rover Challenge - zawody robotów eksploracyjnych podczas których wykonują one zadania konkurencje, analogiczne do potencjalnych zadań łazików marsjańskich a konkurencje odbywają się na symulowanym marsjańskim terenie (rys. 9.1).
- Robotic Arena - interdyscyplinarne zawody robotyczne, w ramach których uczestnicy biorą udział w 18 konkurencjach, takich jak Sumo (rys. 9.1), RoboSprint, Combat, Linefollower, Puck Collect i Rescue.
- DARPA Robotics Challenge - konkurs organizowany przez Departament Obrony USA. Jego celem było wyłonienie kreatywnych rozwiązań w robotach do zadań specjalnych.



Rys. 9.1. Przykładowe roboty w trakcie konkurencji typu Sumo [6] oraz łazik zespołu Silesian Phoenix z Politechniki Śląskiej podczas zawodów European Rover Challenge 2019 [2]

Celem zawodów robotycznych jest często wyłonienie i sprawdzenie nowatorskich rozwiązań. Uczestnicy mimo mniejszego doświadczenia od profesjonalistów potrafią rzucić nowe spojrzenie na istniejące problemy. Niektóre rozwiązania są



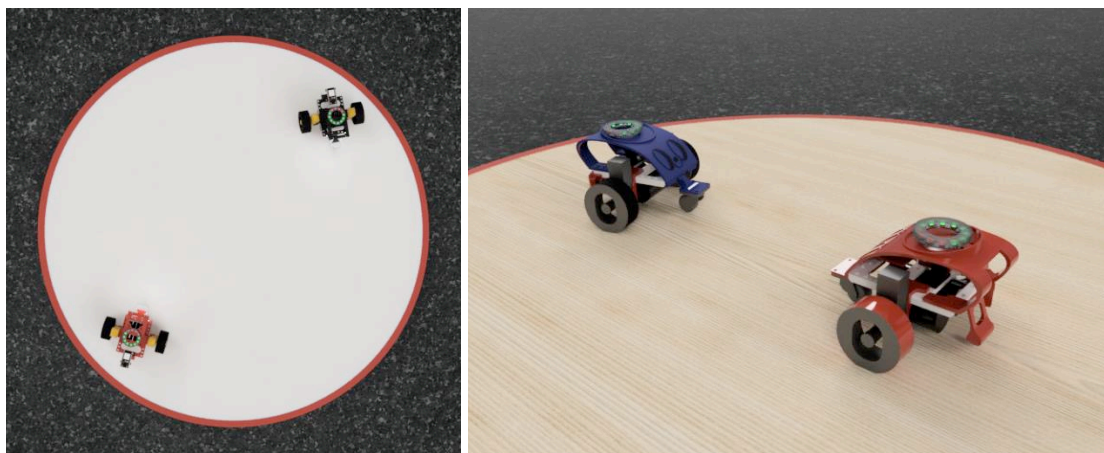
potem rozwijane w profesjonalnym środowisku firm badawczo-rozwojowych. Dobrym przykładem takiego podejścia jest konkurs *Hyperloop Pod Competition* organizowany od 2015 roku przez amerykańską firmę *SpaceX*. Studenckie drużyny z całego świata biorą w nim udział, budując prototypy pociągów próżniowych (zwanym Hyperloop). Organizator zbudował tunel próżniowy o długości 1600 metrów, a drużyny konkurują ze sobą w kilku kategoriach, między innymi o uzyskanie najwyższej prędkości maksymalnej. Jak dotąd, najwyższą prędkość – 463 km/h uzyskał zespół TUM z Uniwersytetu Technicznego w Monachium [5]. Zawody robotyczne można też podzielić na takie, gdzie konkurencje są ustandaryzowane. Przykładem są zawody *Robotic Arena*, organizowane corocznie we Wrocławiu. Zadania mają ściśle określone, usankcjonowane zasady. Dwoma najbardziej popularnymi konkurencjami są *Sumo* i *Linefollower*.

Większość wspomnianych zawodów, które organizowane są na świecie polega na konkurowaniu ze sobą głównie twórców/projektantów robotów. Nie są jednak organizowane często zawody, które ukierunkowane są bardziej na współzawodnictwo operatorów robotów. W przypadku takich zawodów, które można byłoby nazwać zawodami o charakterze e-sportowym uczestnicy otrzymywaliby identyczne roboty, a konkurencje oceniałyby zdolności operatorów zamiast umiejętności projektantów i same rozwiązania konstrukcyjne robotów. Tego typu zastosowanie robotów mobilnych do zawodów e-sportowych zostało zatem zaproponowane przez Autorów. Dodatkowo założono, że roboty, zostaną opracowane jako zasilane niekonwencjonalnym źródłem zasilania tj. kondensatorami o dużej pojemności, zwanymi superkondensatorami. Ta wciąż rozwijająca się technologia ma potencjał zastosowania w wielu dziedzinach, w tym w robotyce mobilnej. Główne zalety takiego źródła zasilania to niezwykle szybki czas ładowania oraz wysoka wydajność prądowa.

## **9.2. Koncepcja zawodów e-sportowych z zastosowaniem robotów mobilnych**

Proponowana koncepcja zawodów polega na starciu robotów, zdalnie sterowanych przez dwóch zawodników za pośrednictwem aplikacji na telefonach

komórkowych. Na początku rundy, oba roboty są postawione po przeciwległych stronach ringu, ale skierowane w różnych kierunkach (rys. 9.2).



Rys. 9.2. Przykładowa pozycja startowa robotów na ringu (po lewej) oraz roboty w czasie walki (po prawej) [1]

Robot, który pierwszy przekroczy krawędź pola gry (ringu), przegrywa rundę. Na robotach znajdują się wyraźnie widoczne wskaźniki LED, informujące o stanie naładowania. W przypadku rozładowania się jednego z robotów, jego przeciwnik może z łatwością wypchnąć go poza pole gry. Jeśli jednak sam nie ma wystarczająco dużo energii i obaj uczestnicy pozostaną na ringu, runda kończy się remisem. Zarządzanie energią jest jednym z istotnych elementów rywalizacji uczestników zawodów.

Sterowanie robotami odbywa się za pośrednictwem sieci Wi-Fi, poprzez aplikację na telefonie komórkowym, która działa jako panel operatorski uczestnika. Uczestnicy mogą pobrać aplikację na swój telefon albo skorzystać z urządzeń użyczonych przez organizatora zawodów. Wskaźnik LED składa się z adresowalnych diod RGB, które mogą przekazywać różne informacje, takie jak stan naładowania. Pole gry jest kołem o średnicy 1100 mm. Daje to odpowiednio dużo miejsca na manewrowanie robotami, jednocześnie będąc wystarczająco kompaktowym do transportu w bagażniku większego samochodu osobowego.

Dzięki modularnej konstrukcji, roboty mogą być modyfikowane do alternatywnych konkurencji zawodów. Przykładowe konfiguracje robotów to:

- bardziej zwrotny robot, który jest mniej stabilny,
- stabilniejszy robot, który jest mniej zwrotny,
- szybszy robot, który zużywa więcej energii,
- energooszczędny robot, który ma niższą prędkość.

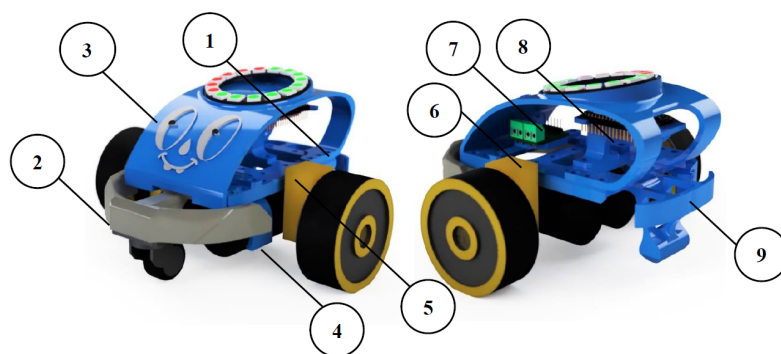
### 9.3. Założenia projektowe

Przy opracowaniu rozwiązania projektowego robota przyjęto następujące założenia:

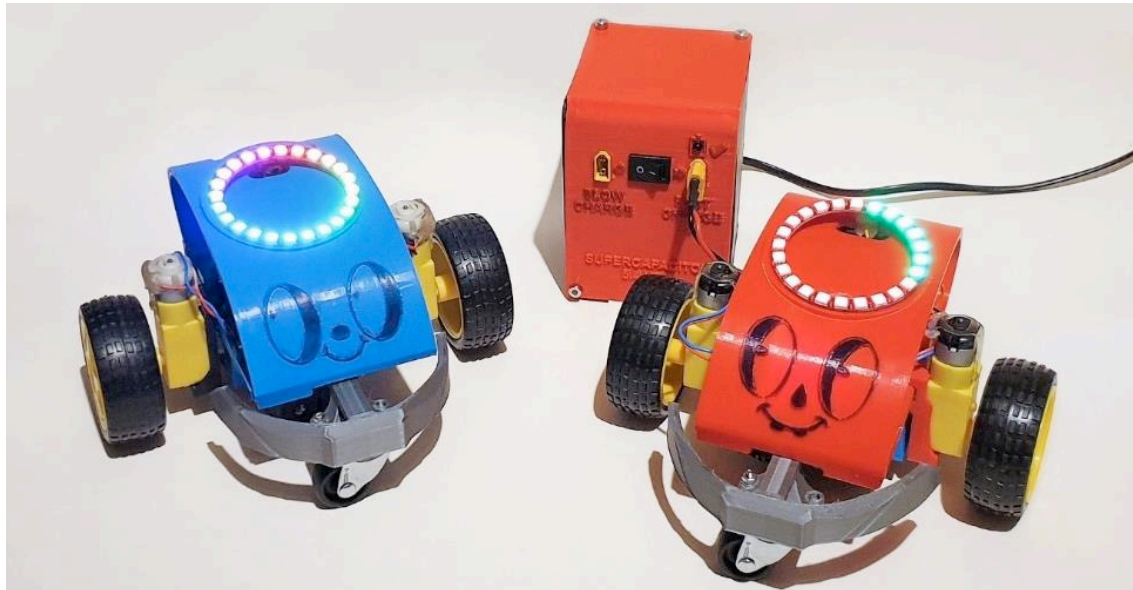
- Zastosowanie superkondensatorów jako źródła zasilania;
- Modułarna konstrukcja, pozwalająca na szybkie prototypowanie i iteracyjne usprawnianie konstrukcji. Takie rozwiązanie ułatwia również demonstrację budowy robota zainteresowanym uczestnikom;
- Wykorzystanie drukarki 3D FDM do wytworzenia zaprojektowanych elementów konstrukcji;
- Wykorzystanie powszechnie dostępnych podzespołów elektronicznych i elementów złącznych;
- Odporność mechaniczna na warunki starcia robotów;
- Zdalne sterowanie z szybkim czasem reakcji;
- Interaktywne oświetlenie LED RGB;
- Koszt komponentów poniżej 200 zł za jeden egzemplarz robota.

### 9.4. Projekt i prototypy robotów oraz ładowarki

Projekt robota został opracowany przy użyciu oprogramowania Autodesk Fusion 360. Końcowa wersja rozwiązania składa się z dziewięciu zaprojektowanych elementów. Każdy z nich został wykonany w technologii druku 3D na urządzeniu Ender 3 V2. Wizualizacje projektu oraz wytworzone prototypy przedstawiono na rys. 9.3 i 9.4.



Rys. 9.3. Wizualizacja modelu 3D CAD robota (1- Modułarne podwozie, 2- przedni zderzak, 3- karoseria, 4- uchwyt kondensatorów, 5, 6- mocowania silników, 7- mocowanie sterownika L9110S, 8- mocowanie mikrokontrolera ESP8266, 9- tylni zderzak) [1]



Rys. 9.4. Prototypy robotów [1]

Modularne podwozie jest bazą całej konstrukcji robota. Szereg otworów specjalnej płyty montażowej pozwala na łączenie pozostałych elementów za pomocą śrub. Na spodniej części znajduje się wzmocnienie, zwiększające ogólną sztywność konstrukcji. Główne elementy konstrukcyjne podwozia to: płyta montażowa, przedni zderzak, tylny zderzak oraz mocowania silników. Płyta montażowa służy do montażu podzespołów robota, m.in. elektroniki, układu zasilania, układu jezdnego. Ponieważ zadaniem robotów podczas konkurencji jest wypychanie i zderzanie się, zderzaki są bardzo istotnymi elementami. Zostały zaprojektowane tak, aby były podatne (sprężyste), a wykonano je z materiału PET-G. Rolą zderzaka jest także stabilizowanie pozycji robota i uniemożliwienie jego przewrócenia. Karoseria robota została zaprojektowana jako smukła, półotwarta pokrywa przykręcana do podwozia. Jej zadaniem jest osłanianie układu elektroniki oraz mocowanie pierścienia LED Neopixel. Półotwarta konstrukcja pozwala uczestnikom zobaczyć układ elektroniki pod spodem, zarazem chroniąc przed przypadkowym rozłączeniem elementów układu. Kształt karoserii pozwala również na naturalne chwycenie za nią i przeniesienie robota.

Na podstawie opracowanego projektu wytworzone zostały prototypy robotów. Do wytworzenia prototypów użyto w głównej mierze technologii druku 3D, co było zgodne z założeniami projektu dla docelowych rozwiązań robotów. Ostateczna specyfikacja parametrów technicznych opracowanych robotów zasilanych superkondensatorami przedstawiona została w tabeli 9.1.

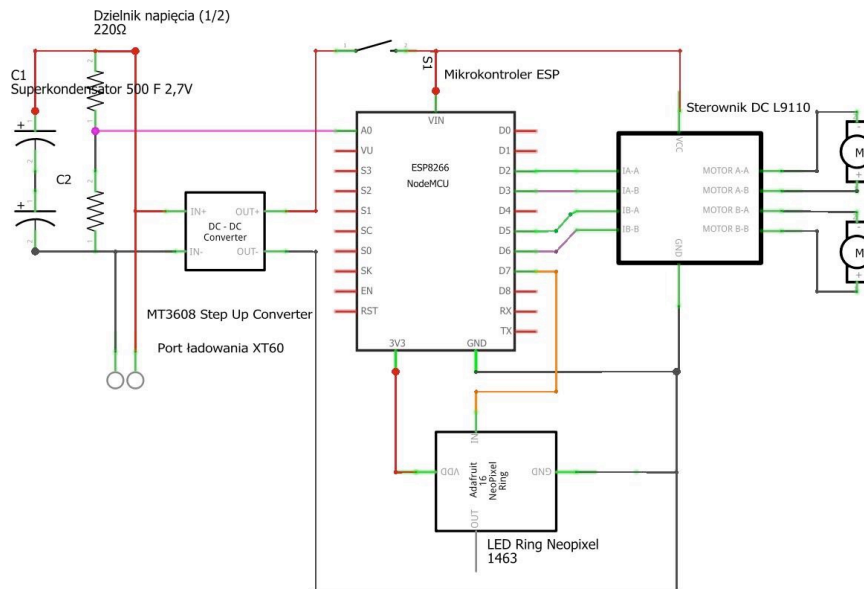
Tabela 9.1. Specyfikacja parametrów opracowanych robotów

Parametr	Wartość
Wymiary gabarytowe (L x W x H)	180x190x110 mm
Masa całkowita	0,553 kg
Napięcie zasilania (na gnieździe zasilającym)	8V DC
Napięcie źródła zasilania	5,4V DC
Pojemność całkowita kondensatorów	0,96 Wh = 3465 J
Pojemność użyteczna	0,65 Wh = 2340 J
Czas działania na naładowaniu	~ 4 min
Czas działania w trybie stand-by	~ 30 min
Czas ładowania (tryb szybki)	60% w 5 sekund
Czas ładowania (tryb wolny)	100% w 3 minuty
Prędkość maksymalna	$1,5 \frac{m}{s}$
Prędkość w trybie zawodów	$0,8 \frac{m}{s}$
Prędkość obrotu	720 °/s
Typ sterowania	Aplikacja, Wi-Fi
Zasięg sterowania	8 m
Koszt komponentów	100 zł

W ramach prowadzonych prac zaproponowano również autorskie rozwiązanie układów elektronicznych z uwzględnieniem zasilania za pomocą superkondensatorów. Na schemacie widocznym na rys. 9.5 występują wszystkie komponenty elektroniczne robota. Zaczynając od układu zasilania, dwa superkondensatory 500 F 2,7V są w szeregowej konfiguracji. Ich połączenie do przetwornicy step-up DC MT3608 można przerwać przełącznikiem kołyskowym, całkowicie odłączając zasilanie robota. Przetwornica podnosi napięcie z kondensatorów do wartości 8V. Tym napięciem zasilane są mikrokontroler ESP8266 i sterownik DC L9110S.

Źródłem energii robota są dwa superkondensatory o pojemności 500 F połączone szeregowo. Jest to rozwijająca się technologia, która dopiero od niedawna jest dostępna na rynku konsumenckim. Z racji tego dokumentacja dotycząca wykorzystania superkondensatorów jako źródła zasilania jest bardzo ograniczona. Zaproponowana metoda zasilania i ładowania jest autorska i stanowi

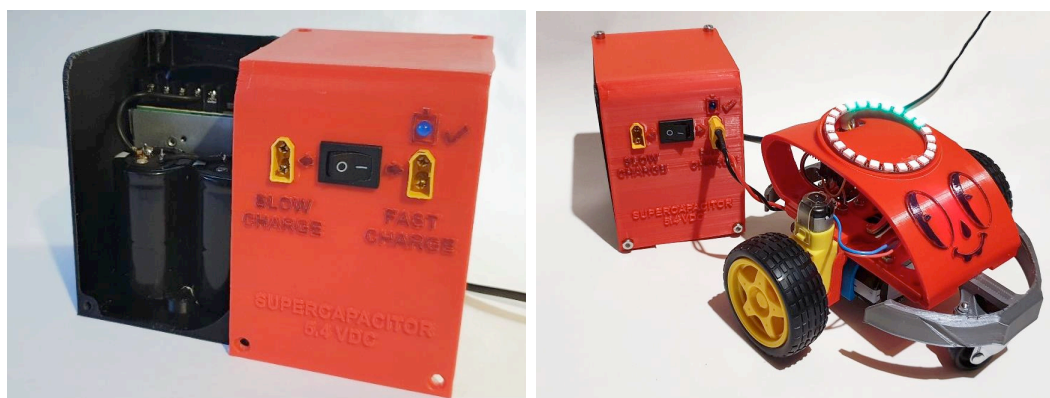
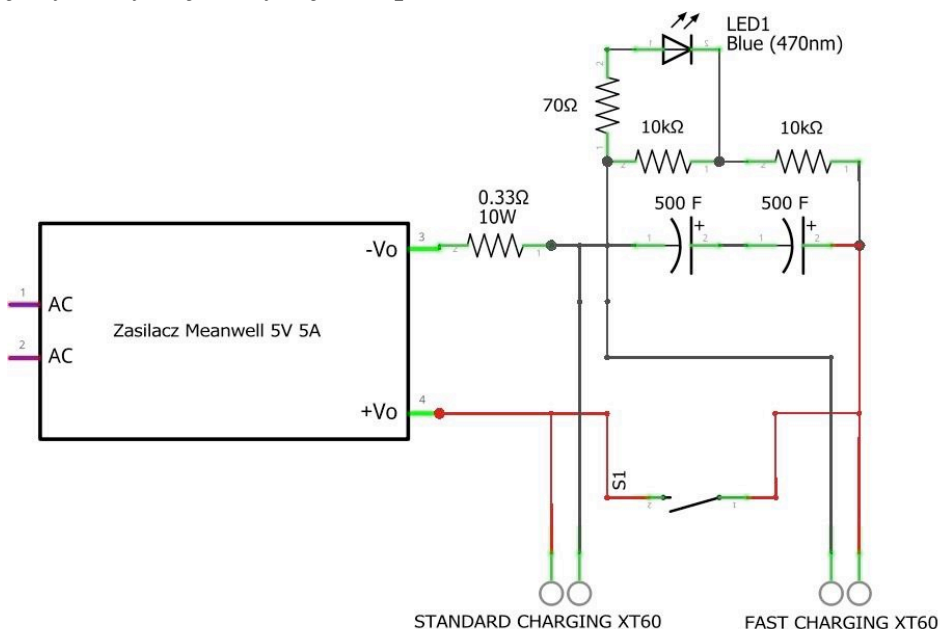
propozycję wykorzystania tej technologii w robotach mobilnych. Zaletami kondensatorów jest bardzo szybki czas ładowania, wydajność prądowa i żywotność.



Rys. 9.5. Schemat układu elektroniki robota [1]

Jednakże względem najpopularniejszych ogniw litowo-jonowych mają one swoje wady i ograniczenia, które należało mieć na uwadze podczas projektowania układu: niska pojemność, liniowy spadek napięcia zasilania, brak dostępnych rozwiązań ładowania. Brak dostępnych komercyjnych ładowarek do superkondensatorów spowodował potrzebę opracowania własnego autorskiego rozwiązania ładowarki. Zaprojektowano i wykonano szybką ładowarkę będącą w stanie naładować kondensatory w około 15 sekund. Ładowarka (rys. 9.6) posiada dwa porty ładowania – standardowy i szybki. Pomiędzy nimi umiejscowiony jest przełącznik kołyskowy, za pomocą którego można wybrać tryb ładowania. Rozłączenie go powoduje odcięcie wewnętrznych superkondensatorów od zasilacza, zostawiając standardowe ładowanie. Dzięki temu przełącznikowi w trybie standardowym nie ładowane są niepotrzebnie oba zestawy (wewnątrz oraz podłączony). Jako porty ładowania zastosowane zostały gniazda XT60 – ich specyfikacja wyznacza 60 A jako maksymalną wartość ciągłego poboru prądu [11]. Do okablowania użyto przewodów 14AWG. Źródła wykazują wytrzymałość takich przewodów do 100-120 A prądu poniżej 10 sekund (tzw. burst current) [12][13]. Zasilaczowi w ładowarce może zająć kilka minut, aby naładować wewnętrzne kondensatory do zadanego napięcia 5,4 V. Z tego powodu

zastosowany został wskaźnik ich naładowania. Zdecydowano się wykorzystać do tego niebieską diodę LED, której napięcie przewodzenia wynosi 2,6 V. Zastosowanie dzielnika napięcia na wyjściu z kondensatorów oznacza, że dioda zaczyna świecić, gdy ich napięcie osiąga 5,2 V. Do ładowarki dołączono zasilacz Meanwell 5V 5A [10]. Posiada on zabezpieczenie przed nadmiernym natężeniem typu Hiccup, co oznacza, że przy przekroczeniu maksymalnej wartości zasilacz wyłącza się i włącza z powrotem. Z tego powodu konieczne było zastosowanie dużego rezystora cementowego  $0,33\Omega$  10W, który ogranicza natężenie prądu w układzie. Ładowarkę można dalej usprawnić, stosując np. zasilacz 5V 10A z trybem Foldback lub Constant Power. Tryby te automatycznie ograniczają prąd, lepiej wykorzystując wydajność prądową zasilacza.



Rys. 9.6. Schemat elektroniczny ładowarki robotów (na górze) oraz prototypowa ładowarka (na dole) [1]

## 9.5. Podsumowanie

Celem prowadzonych prac była propozycja kompleksowego opracowania nowej formuły zawodów z zastosowaniem robotów mobilnych, które będą miały charakter zawodów e-sportowych. Jest to nowa formuła, która miałaby na celu weryfikację umiejętności operatora robota, a nie zdolności konstruktora czy ocenę samej konstrukcji robota. Na potrzeby zawodów zaproponowano autorskie rozwiązanie robotów mobilnych. Na podstawie projektu wytworzono prototypy. Prototypy robotów zostały także przetestowane w ramach wydarzenia Śląski Festiwal Nauki 2021, gdzie zorganizowano pokazowe zawody dla uczestników. Cechą wyróżniającą projektu były zastosowane źródła zasilania w postaci superkondensatorów, a w szczególności innowacyjne rozwiązanie ładowarki. Ta wciąż rozwijająca się technologia ma potencjał zastosowania w wielu dziedzinach, w tym w robotyce mobilnej. Główne zalety takiego źródła zasilania to niezwykle szybki czas ładowania oraz wysoka wydajność prądowa. Niniejsza praca stara się być załącznikiem badań nad zastosowaniem tej technologii jako źródła zasilania w robotyce.

## BIBLIOGRAFIA

1. Puchała I.: „Projekt i konstrukcja zdalnie sterowanych robotów zasilanych kondensatorami do zastosowania w e-sporcie”; Praca Dyplomowa Magisterska, Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Gliwice 2022
2. Strona Studenckiego Koła Naukowego AI-METH – SilesianPhoenix, dostępne pod adresem: <https://sknaimeth.polsl.pl/silesian-phoenix/>; Dostęp dnia: 04.04.2022 r.
3. Robotyka.com – teoria robotyki, dostępne pod adresem: [https://www.robotyka.com/teoria\\_spis.php](https://www.robotyka.com/teoria_spis.php); Dostęp dnia: 19.12.2020 r.
4. UW Białystok – Robotyka, dostępne pod adresem: <https://uw.bialystok.pl/robotyka-interdyscyplinarna-dziedzina-wiedzy/>; Dostęp dnia: 02.08.2021 r.



5. Designspark.com – TUM Hyperloop Wins SpaceX Competition, dostępne pod adresem: <https://www.rs-online.com/designspark/tum-hyperloop-wins-spacex-2019-competition>; Dostęp dnia: 08.01.2021 r.
6. Wikimedia Commons, RoboCore Robot Sumo, dostępne pod adresem: [https://en.wikipedia.org/wiki/Robot-sumo#/media/File:RoboCore\\_Robot\\_Sumo.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Robot-sumo#/media/File:RoboCore_Robot_Sumo.jpg); Dostęp dnia 08.01.2021 r.
7. Solarbotics – XT60 Connector, dostępne pod adresem: <https://solarbotics.com/product/14239/>; Dostęp dnia 25.08.2021 r.
8. Dronelab – Wire Tests, dostępne pod adresem: <https://dronelab.se/siliconewire.html>; Dostęp dnia 25.08.2021 r.
9. OscarLiang – Wire AWG Chart, dostępne pod adresem: <https://oscarliang.com/wire-awg-chart-quadcopter-rc/>; Dostęp dnia 25.08.2021 r.
10. Meanwell – RS-25 Datasheet, dostępne pod adresem: <https://www.meanwell.com/Upload/PDF/RS-25/RS-25-SPEC.PDF>; Dostęp dnia 25.08.2021 r.
11. Forbot.pl – Robot gąsienicowy, dostępne pod adresem: <https://forbot.pl/forum/topic/16844-robot-gasienicowy-penetrator/>; Dostęp dnia: 22.12.2020 r.
12. Botland.pl – DFRobot 6WD, dostępne pod adresem: <https://botland.com.pl/podwozia-robotow/6626-dfrobot-6wd-6-kolowe-podwozie-robota-z-napedem.html>; Dostęp dnia: 22.12.2020 r.
13. Hattig M., Horswill I., Butler J., “Roadmap for mobile robot specifications - IEEE Xplore”, Las Vegas 2004



# Rozdział 10

## ROBOT WSPÓŁPRACUJĄCY W ZROBOTYZOWANYM STANOWISKU TESTOWYM

Stępień Izabela<sup>1</sup>, Cholewa Adam<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, izabste644@student.polsl.pl

<sup>2</sup>Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, adam.cholewa@polsl.pl

### 10.1. Wstęp

W niniejszym opracowaniu przedstawiono projekt zrobotyzowanego stanowiska do testowania urządzeń APULSE-W z zastosowaniem robota współpracującego wyposażonego w system wizyjny. Urządzenie APULSE-W jest nakładką radiową instalowaną na różnego typu wodomierzach (np. Baylan, Itron). Urządzenie to służy do rejestracji profilu konsumpcji, a także wykrywa wszelkie próby sabotażu, takie jak przyłożenie do wodomierza pola magnetycznego. Wysyłanie danych z nakładek następuje lokalnie do urządzenia odczytowego, poprzez system GSM bądź za pośrednictwem technologii IoT. Realizacja projektu była możliwa dzięki współpracy z firmą Aiut Sp. z o.o. w Gliwicach, która jest producentem nakładki APULSE-W stanowiącej część systemu z grupy rozwiązań AIUT Smart City [6].

Urządzenia APULSE-W posiadają kilka wariantów obudów, dedykowanych dla wybranych producentów urządzeń pomiarowych (wodomierzy). W czasie realizacji projektu założono opracowanie kilku propozycji budowy stanowiska, z których każda będzie zawierała odmienny rozkład podstawowych elementów składowych. W dalszej części projektu dokonano rozeznania zarówno w warstwie sprzętowej, jak i komunikacyjnej, aby w końcowym etapie było możliwe opracowanie wstępnej wersji oprogramowania.

## 10.2. Dokładny przebieg robotyzowanego procesu

Jednym z pierwszych i jednocześnie istotnych elementów etapu projektowania stanowiska zrobotyzowanego było zapoznanie się z dokładnym przebiegiem procesu testowania urządzeń APULSE-W oraz próba odpowiedzi na pytanie: „Jaki pozytywny wpływ może mieć robotyzacja stanowiska na ogólny przebieg procesu produkcyjnego?”

Obecnie używane stanowisko testowe jest to stanowisko jednoosobowe wyposażone w tester odpowiedni dla każdego rodzaju obudowy urządzenia APULSE-W. Składa się ono z podstawy zawierającej trzy sloty pozycjonujące urządzenie za pomocą odpowiednio przygotowanego gniazda oraz zestawu pinów. Przed rozpoczęciem testów następuje zablokowanie urządzenia przy użyciu głowicy zamykającej. Głowica jest dodatkowo wyposażona w interfejs optoelektroniczny lub magnetyczny służący do komunikacji z testowanym urządzeniem.

Urządzenia, po zeskanowaniu kodu kreskowego umieszczonego na bocznej naklejce, są umieszczane przez pracownika w testerze, a po jego pełnym załadunku następuje rozpoczęcie testu, który trwa średnio 3 minuty. Po zakończeniu procesu, urządzenia umieszczano w specjalnym pojemniku w zależności od wyniku testu. W trakcie trwania testu pracownik może przygotować kolejne urządzenia do pracy wykonując proste czynności takie jak, oczyszczenie urządzenia z nadmiaru żywicy, czy zabezpieczenie anteny. Pracownik nie może się jednak oddalić, z racji konieczności śledzenia wyniku testu i reagowania na ewentualne problemy. Cała procedura stanowi dla pracownika czynność nie tylko nużącą, ale również uciążliwą, która w przypadku robotyzacji pozwoliłaby na automatyczną reakcję robota w przypadku wystąpienia problemów, a w trakcie trwania testu na realizację obsługi dodatkowych testerów.

Charakter pracy przy stanowisku wymaga dodatkowo, aby zastosowany robot był robotem kolaboracyjnym, tj. oprócz stanowienia programowalnej, wielozadaniowej maszyny, był wyposażony w zaawansowane systemy bezpieczeństwa umożliwiające współpracę z człowiekiem [1] ze względu na ograniczoną ilość miejsca na stanowisku roboczym. Istotny okazał się także brak możliwości postawienia ogrodzenia oraz konieczność operacji w bezpośrednim sąsiedztwie operatora, którego zadaniem będzie rozłożenie

na polu odkładczym detali, które mają przejść test oraz zebranie tych, które zostały przetestowane.

### **Przegląd aktualnych rozwiązań**

Roboty kolaboracyjne są urządzeniami, które stosowane są na rynku od niedawna, bo dopiero od 1997 r., kiedy to amerykańscy profesorowie uniwersytetu Northwestern J. Edward Colgate oraz Michael Peshkin, złożyli wniosek patentowy na robota kolaboracyjnego. Rok wcześniej miała miejsce publikacja opisująca ideę urządzenia określonego nazwą „cobot” jako robota, który manipuluje obiektami we współpracy z ludzkim operatorem [2][3][4].

Analiza dotychczasowych wdrożeń robotów kolaboracyjnych pozwala zauważyć, że są one najczęściej stosowane przy aplikacjach mających na celu manipulowanie i przemieszczanie przedmiotami. Ograniczenia wdrożeń robotów kolaboracyjnych wynikają bezpośrednio ze współpracy z człowiekiem – zadania i procesy niebezpieczne dla człowieka ograniczają możliwość użycia robota, którego zastosowanie zakłada kooperację z człowiekiem [2].

### **10.3. Propozycje budowy stanowiska**

W trakcie procesu projektowego założono, że stanowisko testowe musi zawierać podstawowe elementy takie jak:

- tester,
- skaner kodu kreskowego,
- pole na detale przeznaczone do testu,
- pole odstawcze dla urządzeń, których test zakończył się wynikiem pozytywnym,
- pole odstawcze dla urządzeń, których test zakończył się wynikiem negatywnym.

Po uwzględnieniu założeń opracowano cztery propozycje budowy stanowiska.

### **Koncepcje**

W przypadku pierwszej koncepcji założono zastosowanie standardowej wielkości stołu roboczego o wymiarze 150x75 cm. Robot miał zostać umieszczony

w jego centralnej części. Naprzeciwko robota miał zostać umieszczony jeden tester.

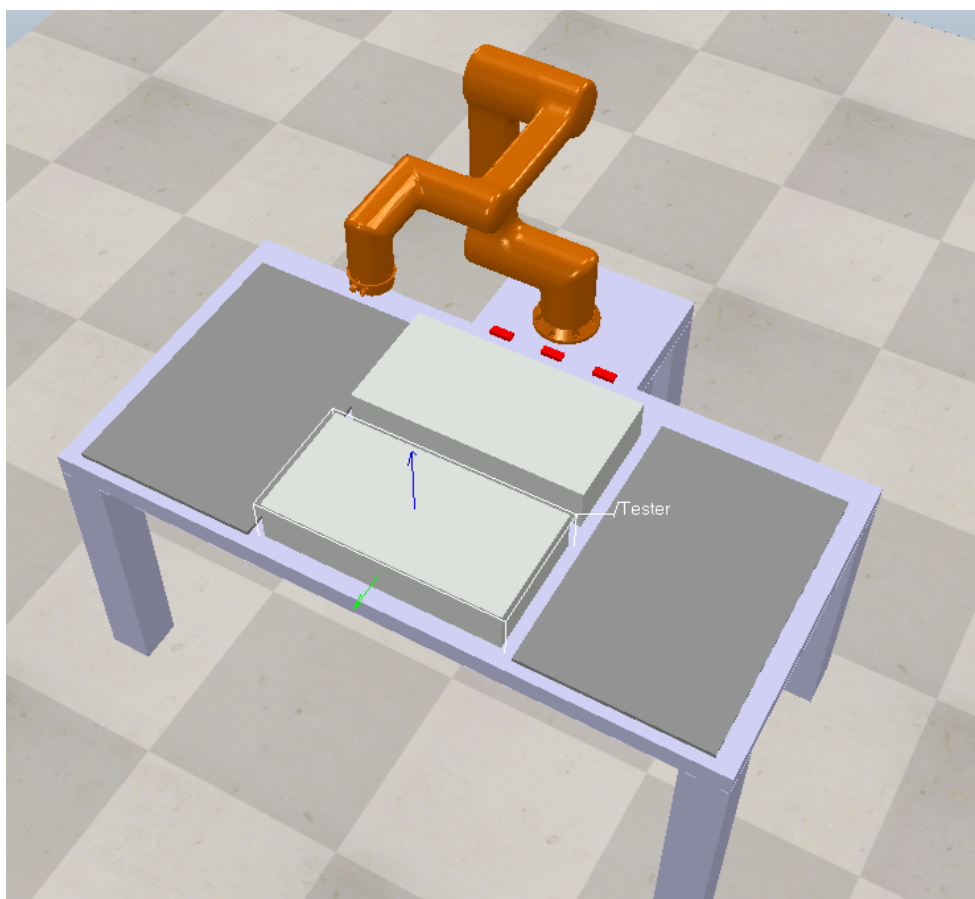
Pola przeznaczone dla detali przed i po teście miały znajdować się po obu stronach robota. Detale, których test zakończył się wynikiem negatywnym miały być umieszczane na zsypie znajdującym się na krawędzi stołu, a dalej miały być przekazywane do pojemnika zbiorczego.

W drugiej koncepcji założono poprawę procedury testowej poprzez rozszerzenie stołu roboczego. Dostawienie dodatkowego stołu mieszczącego na sobie drugi tester w centralnej części, miało pozwolić na zwiększenie ilości miejsc w przestrzeni testowej oraz docelową produktywność. Koncepcja pozwalała na znaczne skrócenie czasu procesu, dzięki realizacji załadunku testera, w trakcie trwania uruchomionego testu.

Kolejna koncepcja została oparta na połączeniu dwóch stołów roboczych i umieszczenie robota w centralnym miejscu. Takie rozwiązanie pozwalałoby na testowanie maksymalnie dwóch różnych urządzeń na dwóch testerach każde. Tego typu podejście pozwalałoby na znaczną poprawę wydajności procesu testowania poprzez większą liczbę dostępnych miejsc na testerach oraz możliwość realizacji zadania dla różnych typów urządzeń jednocześnie.

Inne podejście zastosowano w koncepcji czwartej (Rys. 10.1), w której użyto dwóch testerów w centralnej części stołu o standardowym rozmiarze 150x70 cm. Robot miał być w tym rozwiązaniu umieszczony na wózku mobilnym, dokowanym do stołu. Tego typu rozwiązanie pozwala w razie konieczności na w miarę bezproblemowe przeniesienie robota na inne stanowisko, na którym są dostępne stoły robocze.

Ostatecznie została wybrana koncepcja czwarta ze względu na swoje właściwości mobilne. Stanowisko testowe może zostać w razie konieczności przestawione na różne stoły robocze dostępne na hali produkcyjnej.



Rys. 10.1 Prosta wizualizacja ilustrująca rozmieszczenie elementów na stole dla koncepcji czwartej – ostatecznie wybranej do realizacji (środowisko CoppeliaSim Edu Version 4.3.0).

### **Warstwa sprzętowa**

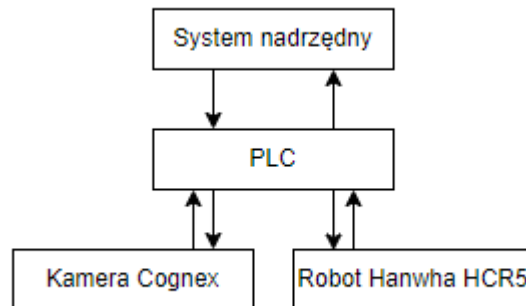
Ważną częścią etapu projektowania stanowiska była analiza dostępnych urządzeń. W projekcie został użyty robot kolaboracyjny Hanwha HCR5, którego zasięg wynoszący 915 mm okazał się być w pełni wystarczający do realizacji zadania [5].

Ze względu na wybór rozwiązania zakładającego dużą mobilność, bardzo pomocny okazał się system wizyjny, którego zadaniem było nie tylko znalezienie detalu do pobrania, weryfikacja zajętości slotów testera czy zajętości pola odkładczego, ale również umożliwienie spozycjonowania robota na podstawie znacznika umieszczonego na testerze. Do projektu została wybrana kamera Cognex InSight Micro wyposażona w obiekty FUJIFILM.

### **Warstwa komunikacji**

Komunikacja systemu zakłada wymianę informacji pomiędzy kamerą, robotem, sterownikiem PLC oraz nadrzędnym systemem produkcyjnym w oparciu

o standardowy protokół TCP/IP. Komunikacja została zrealizowana bez wymiany danych bezpośrednio pomiędzy kamerą i robotem (Rys. 10.2).



Rys. 10.2 Uproszczony schemat wymiany danych

Wymiana danych następuje poprzez zdefiniowane ramki w następujących po sobie krokach systemu, które mogą być powtarzane. Rodzaj ramki oraz kolejność aktualnie wykonywanego kroku jest definiowana poprzez pierwszy element każdej ramki zawierający w sobie jej numer ID:

- Krok 1 to określenie pozycji znacznika znajdującego się na testerze i spozycjonowanie robota poprzez redukcję przesunięcia układu współrzędnych. W tym kroku następuje wymiana danych z kamerą.
- Krok 2 to procedura poszukiwania detalu. Ten krok jest powtarzany do momentu odnalezienia detalu bądź wykonania wszystkich przejazdów z kamerą, mających na celu odnalezienie urządzenia. W tym kroku następuje wymiana danych z kamerą.
- Krok 3 polega na pobraniu detalu i przejeździe pod skaner kodu kreskowego. W tym kroku następuje wymiana danych z systemem nadrzędnym.
- Krok 4 obejmuje procedurę odłożenia detalu na wskazane miejsce po wcześniejszym określeniu, czy nie zostało ono uprzednio zajęte. Następuje tu wymiana danych z kamerą.

Kroki 2-4 są powtarzane, aż do zapełnienia wszystkich slotów testera lub do momentu, w którym skończą się detale na polu odkładczym.

- Krok 5 to weryfikacja wyniku testu. W tym kroku następuje wymiana danych z systemem nadrzędnym.
- Krok 6 to odłożenie detali na zsył lub pole odstawcze w przypadku, gdy test zakończył się wynikiem pozytywnym. W tym kroku jest realizowana weryfikacja zajętości pól odstawczych. Następuje tu wymiana danych z kamerą.



W celu zwiększenia niezawodności systemu, cyklicznie przesyłane są ramki informujące o tym, czy połączenie jest aktywne, co pozwala na odświeżenie komunikacji, w przypadku jej zerwania. Dodatkowo zastosowano mechanizm ponownego przesyłania ramek, które nie zostały odebrane lub zostały pominięte ze względu na przeciążony bufor. Podczas wstępnego uruchomienia systemu nie zauważono problemów z ciągłością połączenia. A dalsze testy wykazały, że ramki są poprawnie odbierane we wszystkich krokach systemu.

#### **10.4. Podsumowanie**

Udało się opracować koncepcję stanowiska z uwzględnieniem warstwy sprzętowej i systemu komunikacji pomiędzy elementami stanowiska. Została także opracowana i uruchomiona wstępna wersja systemu co pozwoliło na potwierdzenie słuszności założeń koncepcyjnych. Dalszy etap projektu jest aktualnie w trakcie realizacji i skupia się na usprawnieniu działania systemu wizyjnego.

#### **BIBLIOGRAFIA**

1. Muszyńska Magdalena, Pietruś Paulina. Projekt oraz oprogramowanie stanowiska z robotem kolaboracyjnym z wykorzystaniem wirtualnej rzeczywistości. *Pomiary Automatyka Robotyka*, ISSN 1427-9126, R. 25, nr 2:23–30, 2021.
2. Pilat Z., Klimasara W. J., Pachuta M., Słowikowski M., Smater M., Zieliński J. Możliwości praktycznego wprowadzania robotów współpracujących w różnych technologiach wytwórczych realizowanych w środowisku przemysłowym. *Pomiary Automatyka Robotyka*, ISSN 1427-9126, R. 22, nr 1:59–65, 2018.
3. United States patent US5952796A Cobots, <https://patents.google.com/patent/US5952796A/en> [ostatni dostęp: 26.03.2022].
4. Colgate J. E., Wannasuphoprasit W., Peshkin M., Cobots: Robots for Collaboration with Human Operators, *Proceedings of the International*

Mechanical Engineering Congress and Exhibition, Atlanta, GA, DSC-Vol. 58, Nov. 17–22, 1996, 433–439.

5. Hanwha Collaborative Robot – strona producenta dotycząca robota Hanwha HCR5. <https://www.hanwharobotics.com/En/Product/HCR5>, [ostatni dostęp: 26.03.22].
6. APULSE-W, <https://aiut.com/rozwiazania/iot/systemy-smart-city-iot/systemy-zdalnego-odczytu-wodomierzy-i-cieplomierzy/zdalny-odczyt-i-monitoring-licznikow-ciepla/apulse-w/>, [ostatni dostęp: 31.03.22].