

„Marsjański Łazik Possibility”



Autonomiczny pojazd badawczy przystosowany do eksploracji niesprzyjających środowisk

Maciej Siedlecki

Bartłomiej Jarczak

Dominik Kołodziej

Spis treści

Wstęp.....	3
Perseverance.....	3
Geologia:.....	3
Astrobiologia:.....	4
Pobieranie próbek:.....	4
Przygotowania na przybycie ludzi:.....	4
Possibility.....	5
Zawieszenie:.....	5
Koła:.....	10
Korpus:.....	13
Schemat układu sterującego silnikami.....	14
Ramię:.....	16
Wieżyczka:.....	19
Czujniki:.....	20
Komunikacja:.....	21
WiFi:.....	21
Moduł ISM:.....	22
Radio:.....	22
Protokół wykorzystywany podczas transmisji zapasowej:.....	23
Serwer:.....	26
Interfejs użytkownika:.....	27
Film.....	30

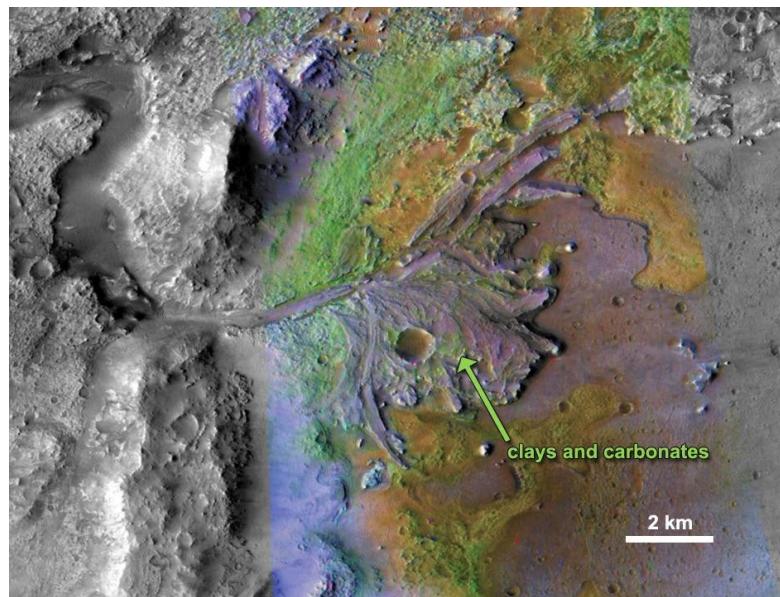
Wstęp

Po co eksploracja Marsa? Po co nadal wysyłamy łaziki tak daleko? I co właściwe tam robimy? Zanim przejdziemy do naszego projektu, chcemy odpowiedzieć na te pytania i także przybliżyć to co dzieje się 225 milionów kilometrów stąd, na Marsie. Nie dawnie na powierzchni Marsa pojawił się nowy przybysz z Ziemi. Łazik Perseverance wraz ze swoim dronem Ingenuity. Łazik jak inni jego poprzednicy ma kilka celów. Są nimi zadania związane z geologią, astrobiologią, zbieraniem próbek i przygotowaniem szeregu informacji, które będą pomocne przy kolonizacji.

Perseverance

Geologia:

Otwiera przed nami drogę do poznania historii Marsa. Jak wyglądał przed tysiącami czy milionami lat. Miejsce lądowania łazika zostało wybrane nie przypadkowo. W kraterze Jezero zaobserwowano najprawdopodobniej deltę dawnej rzeki wypełnionej wodą. Wskazują na to także widziane z orbity minerały, które mogą powstać tylko w obecności wody. Znajdują się tam także węglany, które z doświadczeń z Ziemi pokazują że świetnie zachowują dowody na obecność życia. Badanie węglanów pozwoli nam dowieść czy kiedyś istniało życie na Marsie. Perseverance będzie także badał skały wulkaniczne aby określić wiek miejsca z którego zostały pobrane. Wszystkie te informacje pozwolą na powiedzenie jaki panował tam klimat, czy był przyjazny życiu i co najważniejsze, przez jaki czas.



Astrobiologia:

W tym celu łazik skupia się na poszukiwaniu życia. Sprawdzać będzie czy kiedyś faktycznie znajdowała się tam woda w stanie ciekłym, a także czy są tam składniki budujące każde życie. Szukać będzie obszarów w których panowały szczególnie przyjazne warunki, jeżeli takie zostaną odnalezione Perseverance poszuka osadów świadczących o dawnym życiu mikrobiologicznym. Przykładem osadów są węglany o których wspomnieliśmy wcześniej. Łazik jest wyposażony w odpowiednie instrumenty które mogą badać takie substancje pod kątem śladów życia. Jednym z nich jest SHERLOC używa kamery, spektrometrów i lasera do poszukiwania substancji organicznych i minerałów. Warto także wspomnieć o znanych nam organizmach, które są w stanie przetrwać w bardzo im nie sprzyjających warunkach. Nazywa się je ekstremofilami, jednymi z ich przedstawicieli są niesporczaki. Mogą przetrwać w temperaturach od prawie zera absolutnego do ponad 150°C, znoszą 1000 razy silniejsze promieniowanie jonizujące niż jakiekolwiek inne zwierzę, potrafią również przetrwać ponad 100 lat bez wody, a nawet w przestrzeni kosmicznej.

Pobieranie próbek:

Perseverance wyposażony jest w 38 pustych tub mogących przechowywać skały czy glebę. Są one przystosowane do tego aby kiedyś mogły powrócić na Ziemię i zostać zbadane znacznie dokładniej. Próbki zbierane przez łazik zostaną dobrane tak aby były jak najbardziej różnorodne aby dać jak najpełniejszy obraz miejsca lądowania. Zebrane próbki będą pozwalały na określenie wieku, historii geologicznej i środowiska. Możliwe że także dostarczą informacji na temat dawnego życia na Marsie.

Przygotowania na przybycie ludzi:

Łazik wyposażony jest w liczne czujniki i eksperymentalne technologie. W przyszłości wyniki tych badań i testów pomogą w przetrwaniu pierwszych kolonizatorów Marsa. Jednym z nich jest MOXIE. Zademonstruje on, jak w przyszłości będzie można pozyskiwać tlen z marsjańskiej atmosfery do oddychania, i jako utleniacz. Kolejnym z takich instrumentów jest stacja pogodowa znana jako MEDA. Pozwoli zbadać kształt, wielkość i liczbę pyłu znajdującego się w atmosferze. Informację te pozwolą przewidzieć wpływ jaki może wywarzyć pył na ludzkie zdrowie. MEDA pozwoli także zbadać temperaturę, wilgotność, prędkość i kierunek wiatru. Badania te przysłużą się do jeszcze lepszego zrozumienia atmosfery marsjańskiej jako całości. Oprócz zbierania informacji z samej powierzchni Perseverance, zebrało informację podczas wchodzenia w atmosferę i lądowania, z czujników przymocowanych do osłony termicznej oraz tylnej powłoki. Ostatnim z przedstawianych przez nas eksperymentów jest kawałek kombinezonu kosmicznego. Sprawdzany będzie pod kątem wytrzymałości na niesprzyjające warunki marsjańskiej atmosfery. Fragment ten znajduje się w instrumencie o akronimie SHERLOC.

Podsumowując, eksploracja Marsa niesie ze sobą coraz śmialsze działania. Próbując odpowiedzieć na wiele naszych pytań, a także dokonać czegoś co jeszcze nie tak dawano temu wydawało się kompletnie niemożliwe. Obecne działania łazik Perseverance mogą w niedalekiej przyszłości doprowadzić do posadzenia pierwszych ludzi na Czerwonej Planecie i umożliwienie zamieszkania im, pozostając samowystarczalnymi. Pozwoli to na przetrwanie naszego gatunku ludzkiego w przypadku nieoczekiwanej zagłady Ziemi. Kolejnym z ważnych działań jest próba odpowiedzi czy na Marsie istniało życie. Dowiodłoby to że życie może istnieć nie tylko na Ziemi, a może nawet tak prymitywne początki pokazałyby proces powstawania życia. Co już raczej jest w sferze naszych gdybań odpowiedziałoby na powstanie życia na Ziemi, a w tym nas, jako ludzi.

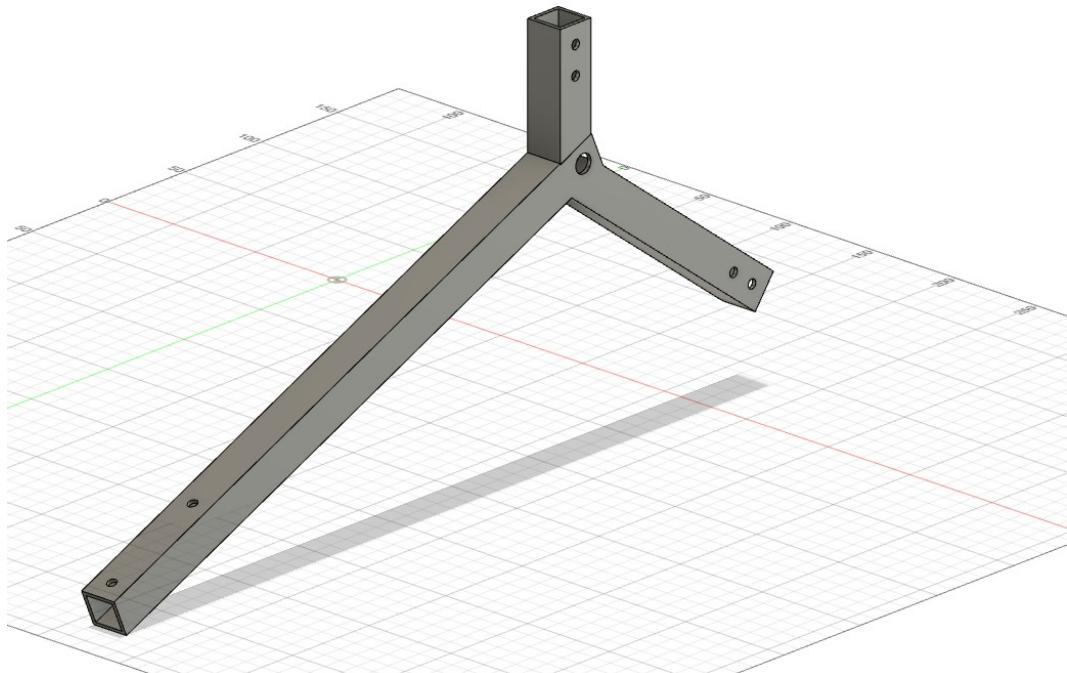
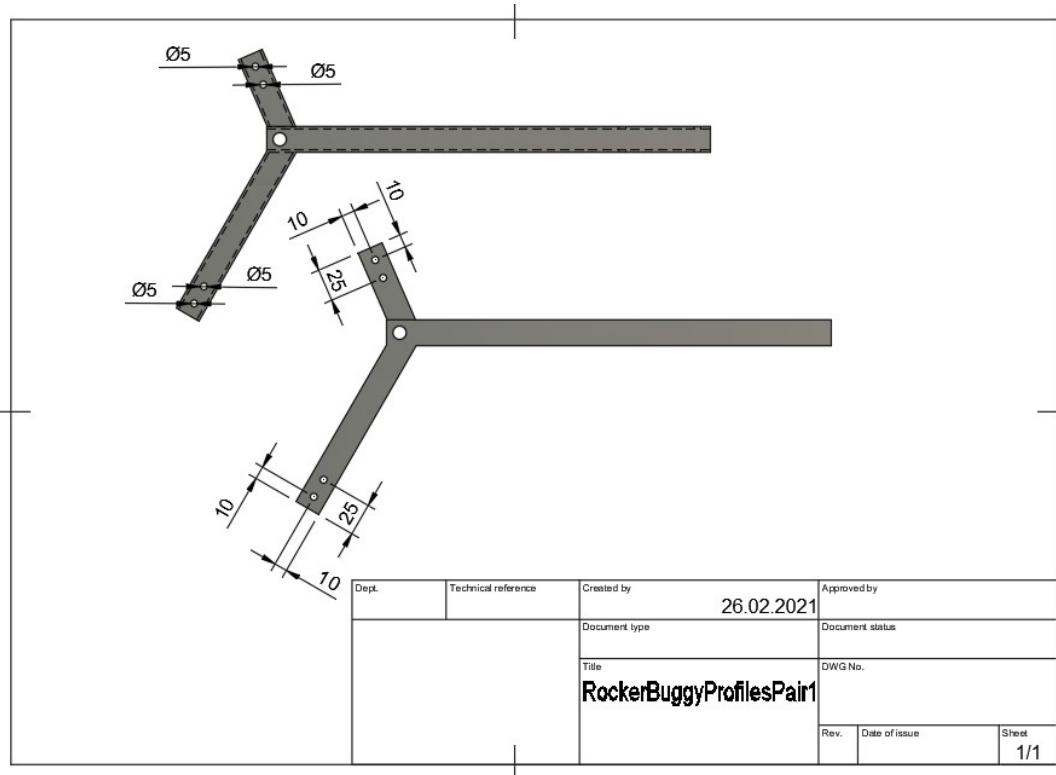
Possibility

Tutaj chcielibyśmy przejść do naszego projektu. Zaczniemy może od tego co nas zmotywowało. Nie przez przypadek tyle mówiliśmy o Perseverance. To właśnie rozpoczęcie tejże misji, spowodowało że postanowiliśmy zbudować własnego łazika, który chociaż byłby w stanie wypełnić choć część zadań jakie ma przed sobą Perseverance. Teraz zaprezentujemy co udało nam się osiągnąć.

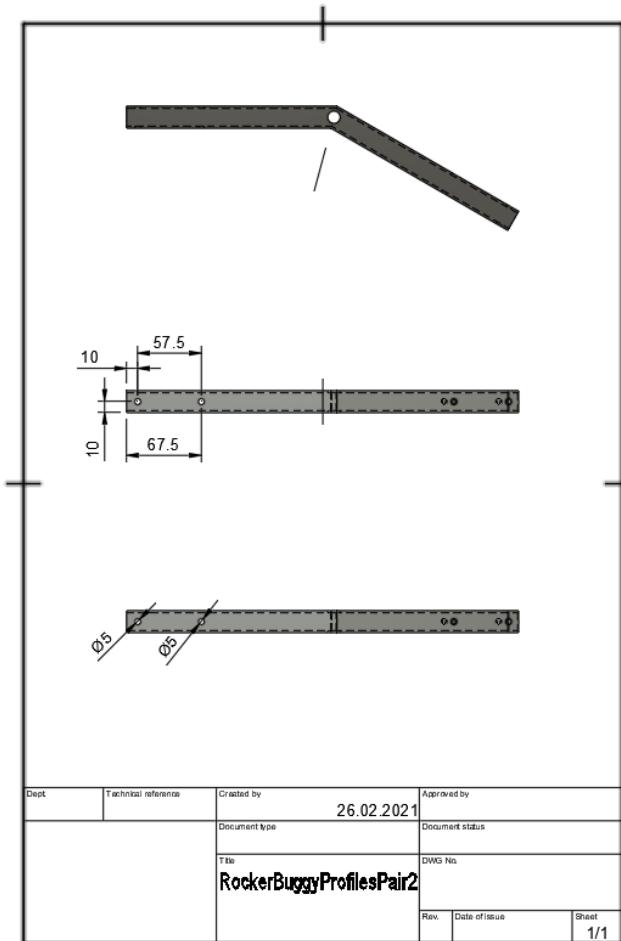
Zawieszenie:

Aby zapewnić jak największą dzielność terenową wykorzystaliśmy zawieszenie typu Rocker-bogie. Wykorzystywane przez NASA w łazikach Perseverance i Curiosity. Całe zawieszenie składa się w sumie z 3 elementów. Jak sama nazwa wskazuje z rocker i bogie po każdej stronie i dyferencjału. Część o nazwie Bogie łączy tylne i środkowe koła, a Rocker przymocowany jest do korpusu i jednocześnie do dyferencjału podtrzymując przednie koło i bogie. Te dwa elementy mogą ruszać się niezależnie od siebie, a także niezależnie względem samego korpusu. Dyferencjał zaś utrzymuje korpus w poziomie, a także zapewnia równomierne rozłożenie sił i utrzymanie wszystkich 6 kół na ziemi. Elementy zawieszenia wykonane są z profili aluminiowych, które zostały przez nas odpowiednio przycięte i zespawane. Dodatkowo elementy mocujące zaprojektowane w 100% przez nas w programie fusion360 zostały wykonane z aluminium, a także z materiału PET-G na drukarkach 3D.

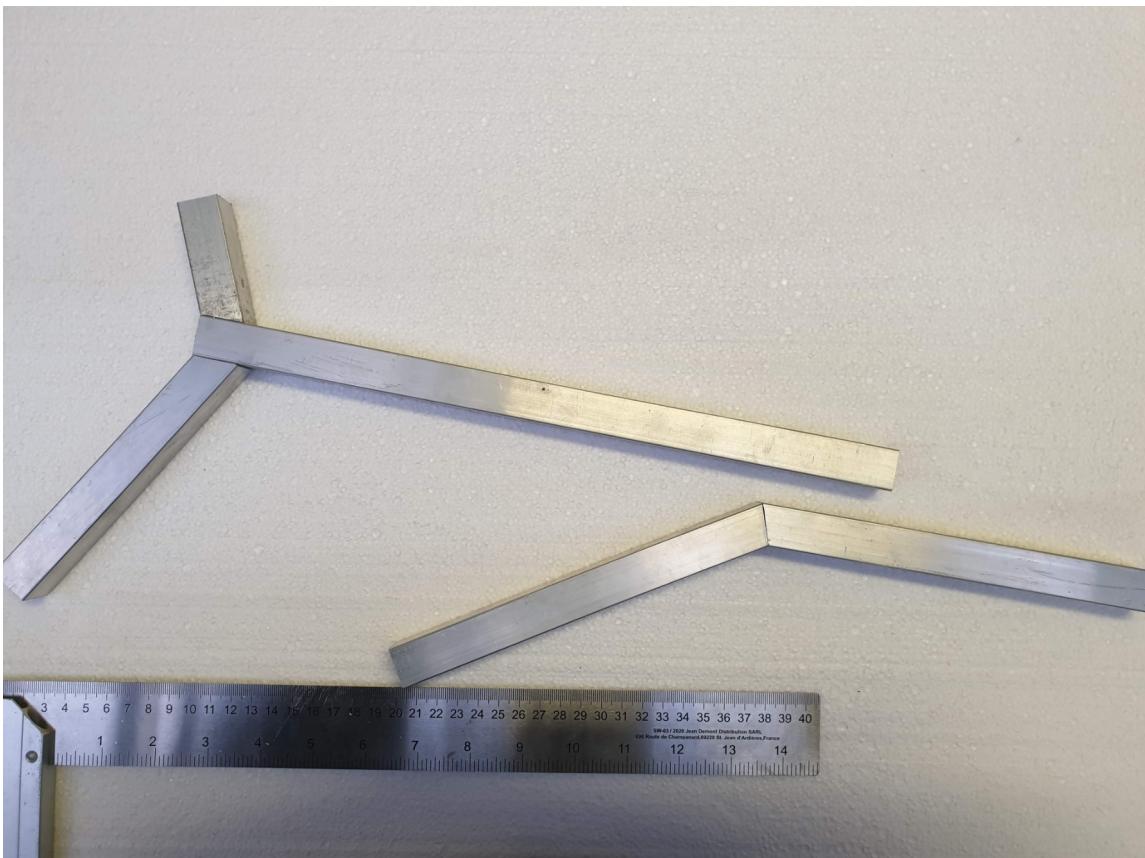
Rysunek techniczny elementu rocker i jego rzut trójwymiarowy



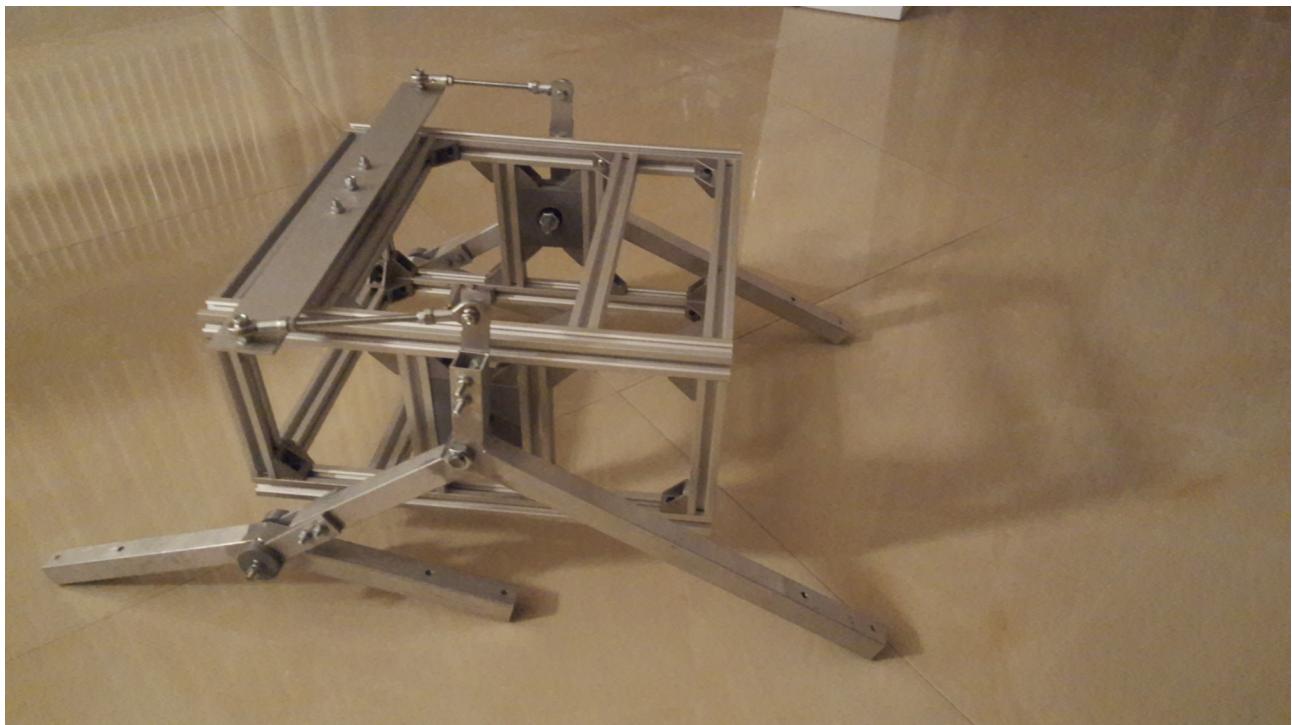
Rysunek techniczny elementu bogie i jego rzut trójwymiarowy



Etapy tworzenie elementów podwozia



Zamontowane zawieszenie do szkieletu korpusu



Koła:

Wszystkie 6 kół zostało przez nas zaprojektowane i wydrukowane w technologii druku 3D FDM. Wykorzystany przez nas materiał to PET-G, zapewniający wytrzymałość i odporność na wyższe temperatury niż w stosunku do popularniejszych typów plastiku. Całość ich wydruku zajęła 150h (7 dni). Nie wliczając czasu nieudanych wydruków co zdarza się dość często przy tej rozwijającej się nadal technologii. Każde kół napędzane jest osobno sterowanym 12V silnikiem z przekładnią planetarną, o wysokim momencie obrotowym.

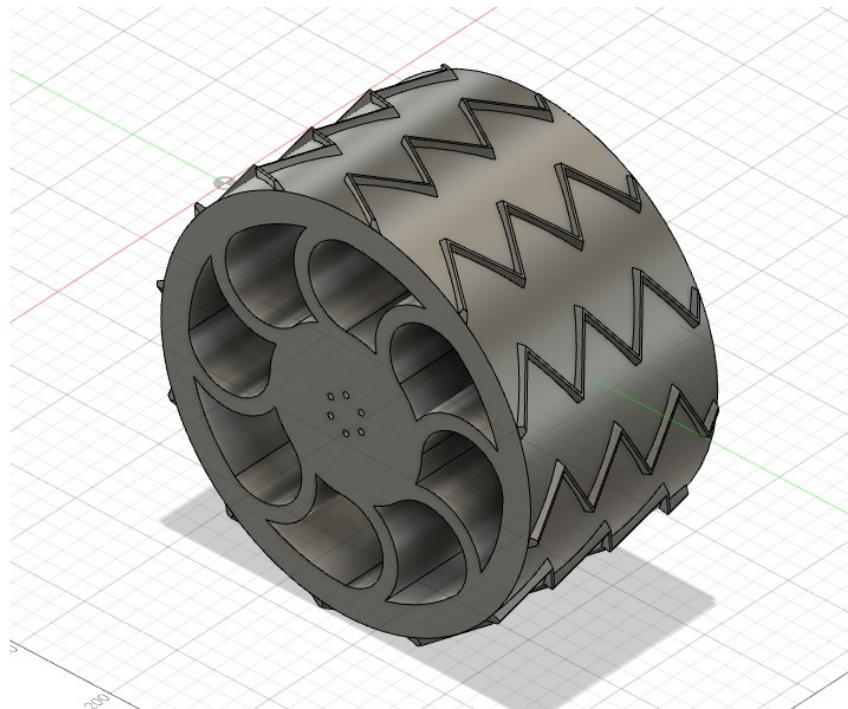
Koło w trakcie druku



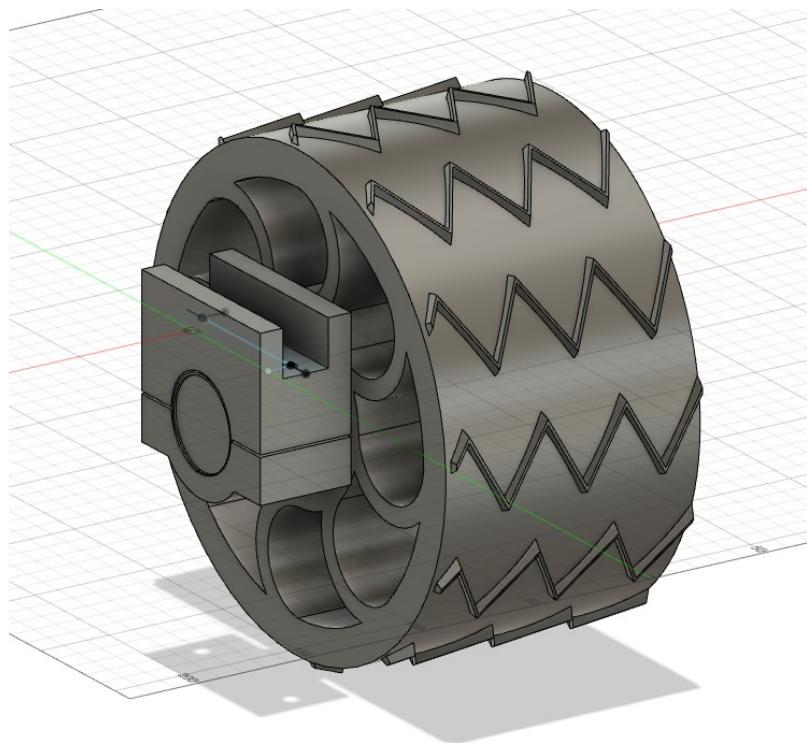
Koło z zamontowanym silnikiem



Rzut trójwymiarowy koła



Rzut trójwymiarowy koła z elementem mocującym go do zawieszenia.

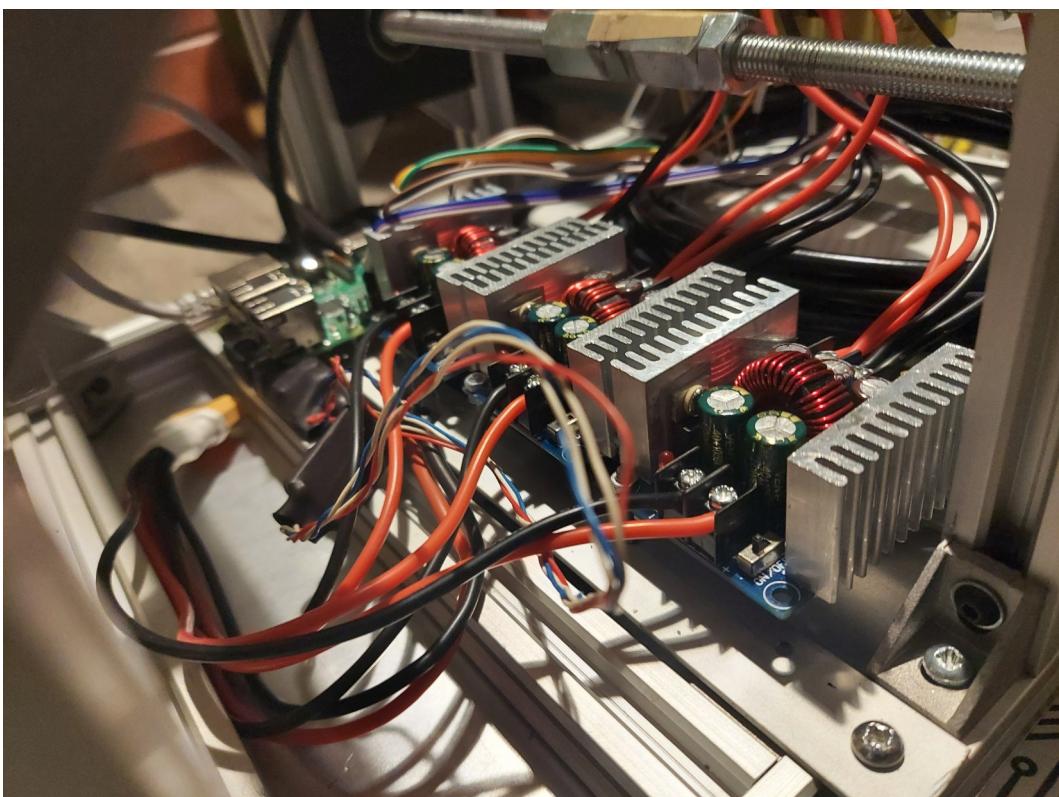


Korpus:

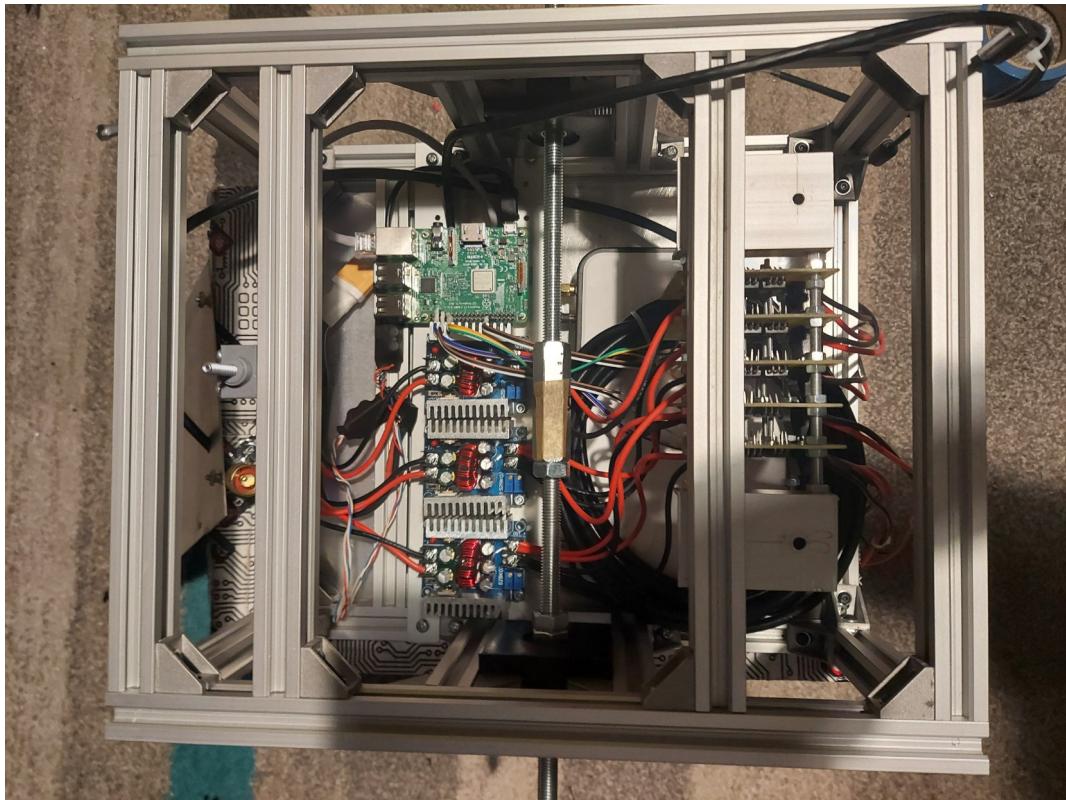
Korpus wykonany jest z profili aluminiowych typu V-Slot, a jego pokrywa z blachy aluminiowej.

W korpusie znajduje się całe serce łazika. Od sekcji zasilania po moduły sterujące. Dokładniej mówiąc jako nasze zasilanie wykorzystaliśmy akumulator litowo-polimerowy o pojemności 5500mAh przy nominalnym napięciu 14,8V. Do obniżenia napięcia zasilania silników i wewnętrznego router'a wykorzystaliśmy 3 przetwornice impulsowe. Z linii 14,8 V korzystają także przetwornice 5V do zasilania Raspberry pi 3 sterujących całym łazikiem. W korpusie znajdują się także zaprojektowane i wytrawione przez nas płytki PCB odpowiadające za sterowanie silnikami. Wykorzystujemy tutaj odpowiednie kluczowanie 12V przez tranzystory mocy, których bramki przywierane są odpowiednio do masy przez tranzystory pracujące w logice 5V. Dzięki temu układowi do wysterowania jednego koła potrzebujemy tylko dwóch sygnałów PWM.

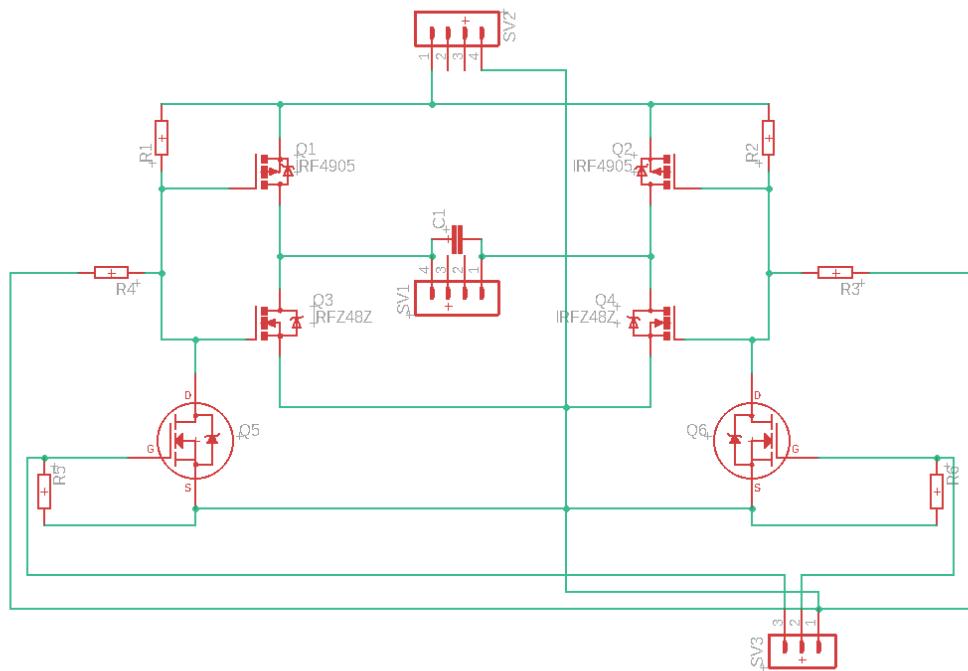
Wnętrze korpusu sekcja przetwornic impulsowych



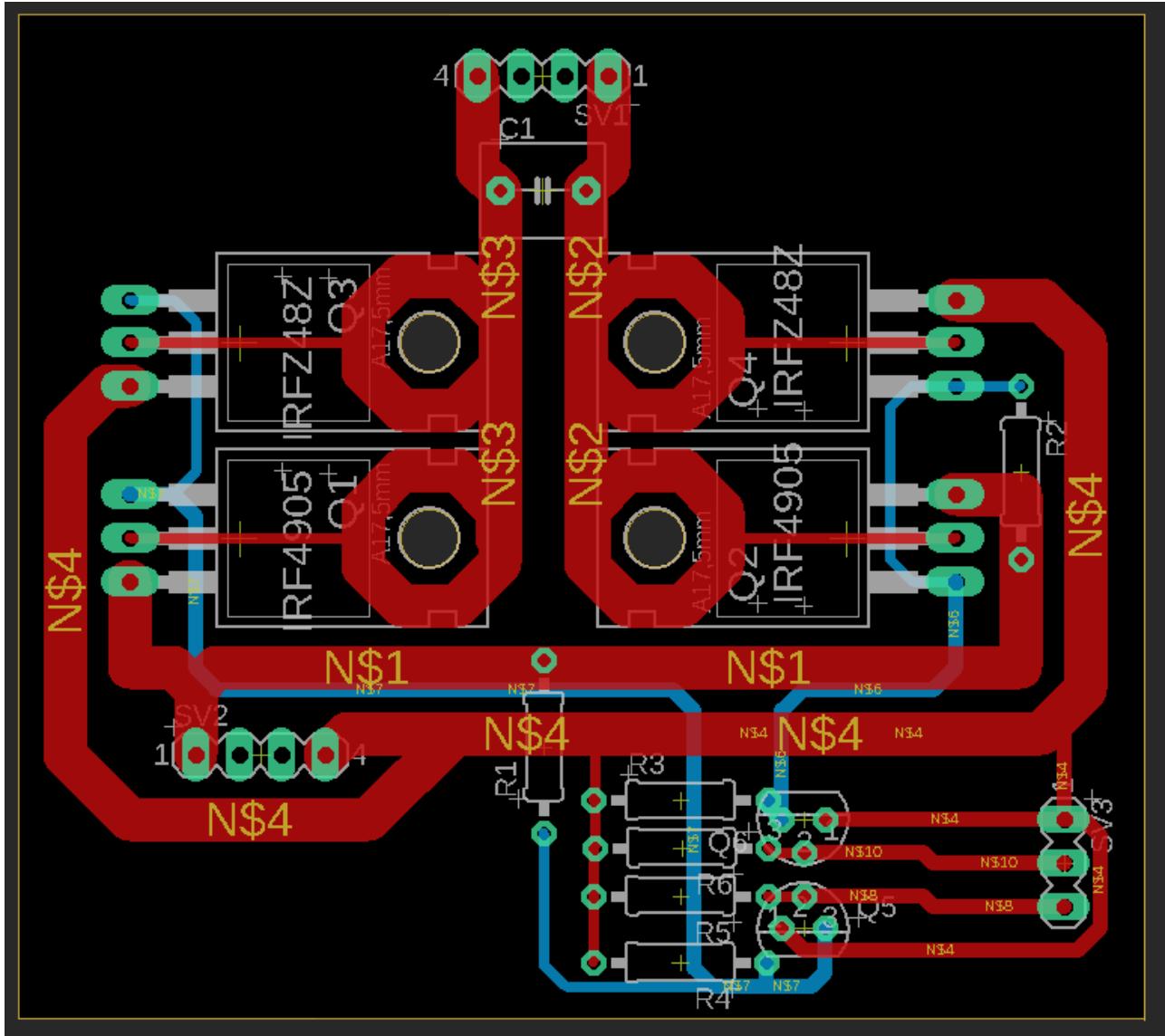
Widok z góry wnętrza korpusu



Schemat układu sterującego silnikami



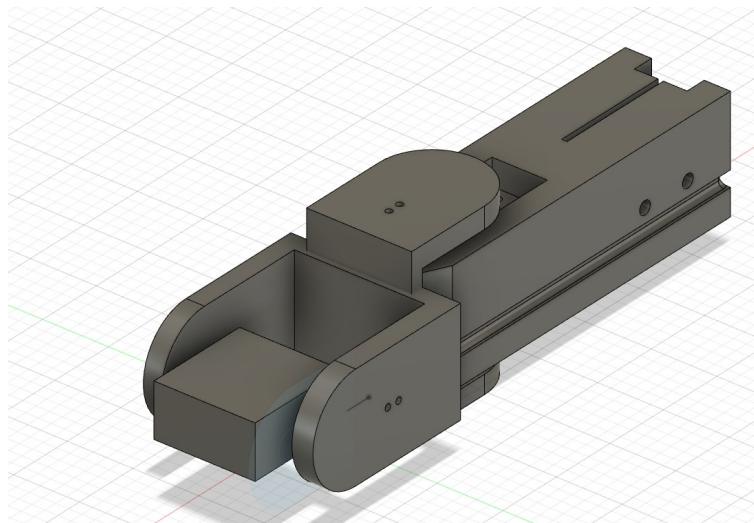
Projekt płytki PCB sterującej silnikami



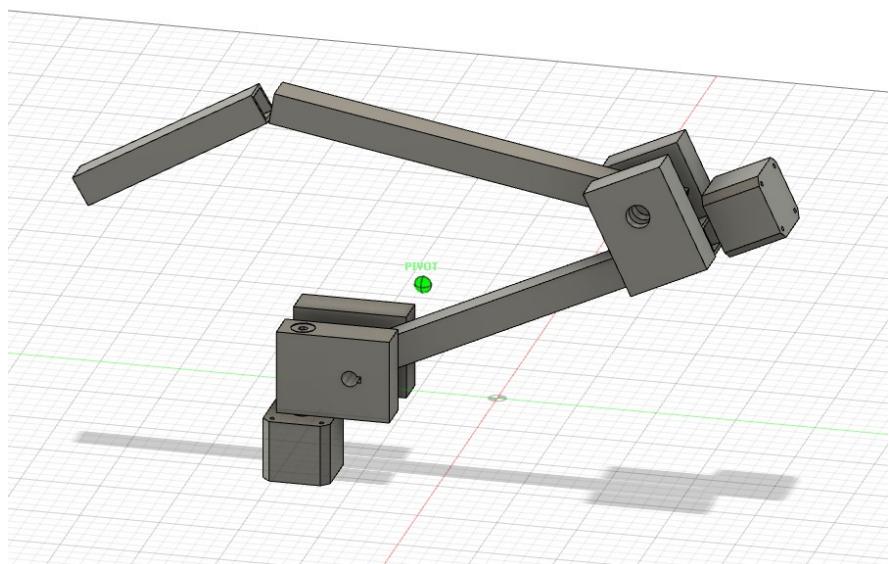
Ramię:

Kolejnym elementem łącznika jest manipulator pozwalający na interakcję z otoczeniem. Napęd poszczególnych osi ramienia opiera się o trzy silniki krokowe o rozdzielczości 200 kroków/360° oraz serwomechanizmy. Ruch zapewniany jest poprzez silowniki własnego projektu, które zapewnią satysfakcyjny dla eksploracji udźwig. Konstrukcja opiera się o profile aluminiowe zamknięte o rozmiarze 20x20mm. Dodatkowo manipulator wyposażony jest w szerokokątną kamerę czującą światło podczerwone, wraz z diodami IR, co pozwala na widzenie w całkowitych ciemnościach. Efektor końcowy zaprojektowany jest w sposób umożliwiający wykonywanie prac precyzyjnych.

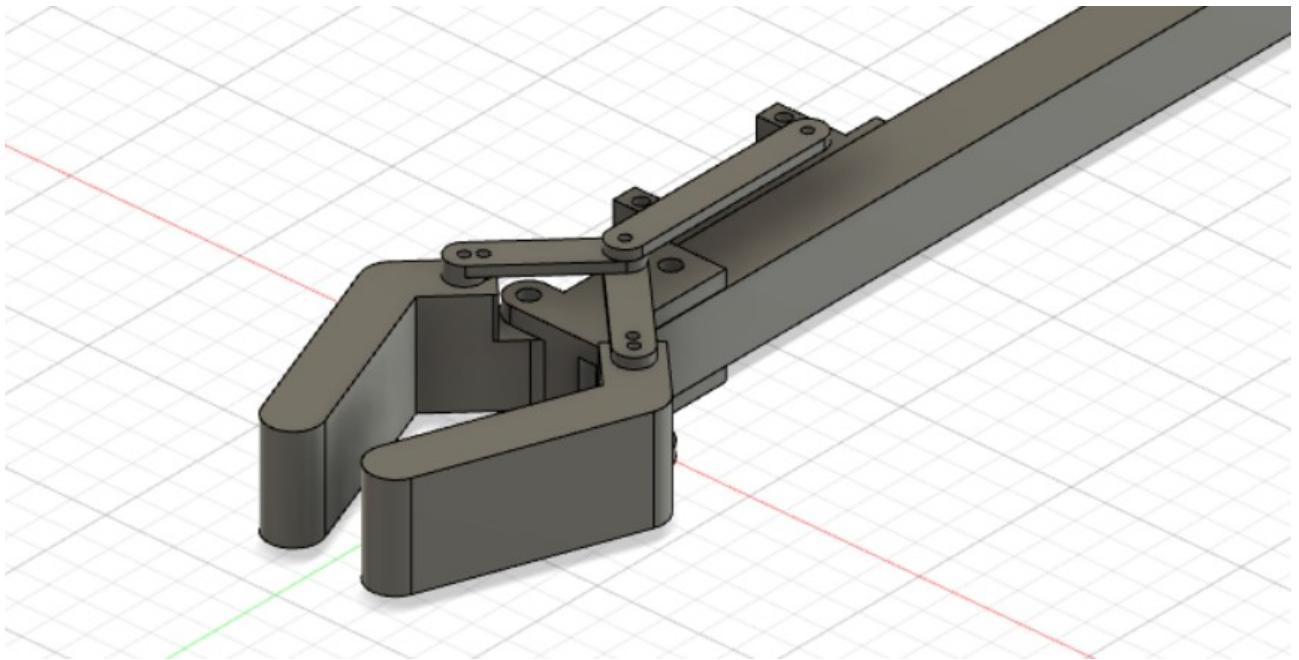
Element trzymający chwytkę



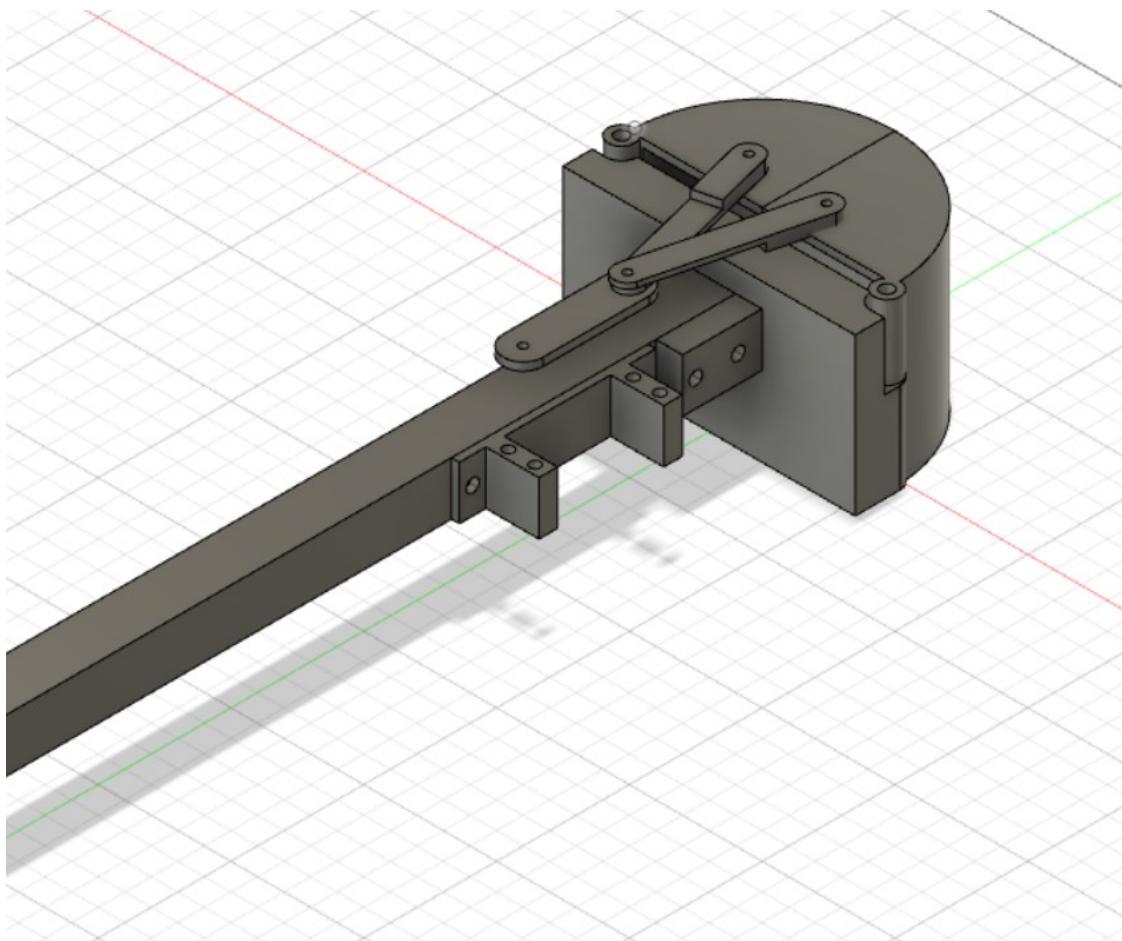
Prototyp ramienia



Podstawowy chwytk do ramienia



Chwytk umożliwiający pobieranie próbek ziemi



Ramię w trakcie składania



Wieżyczka:

Na wieżyczce zamontowana jest kamera wąskokątna z dwiema osiami swobody. Poruszana jest dwoma precyzyjnym serwami. Pozwala to na zdalne oglądanie otoczenia w zakresie 270 stopni w osi poziomej i 180 w osi pionowej. Znajduje się tam także oświetlenie o maksymalnej mocy 6W. W środku zamontowany jest mikrokomputer Raspberry Pi 3. Przyjmuje on również na siebie odczyt danych z czujników.

Wieżyczka z daleka z włączonymi światłami



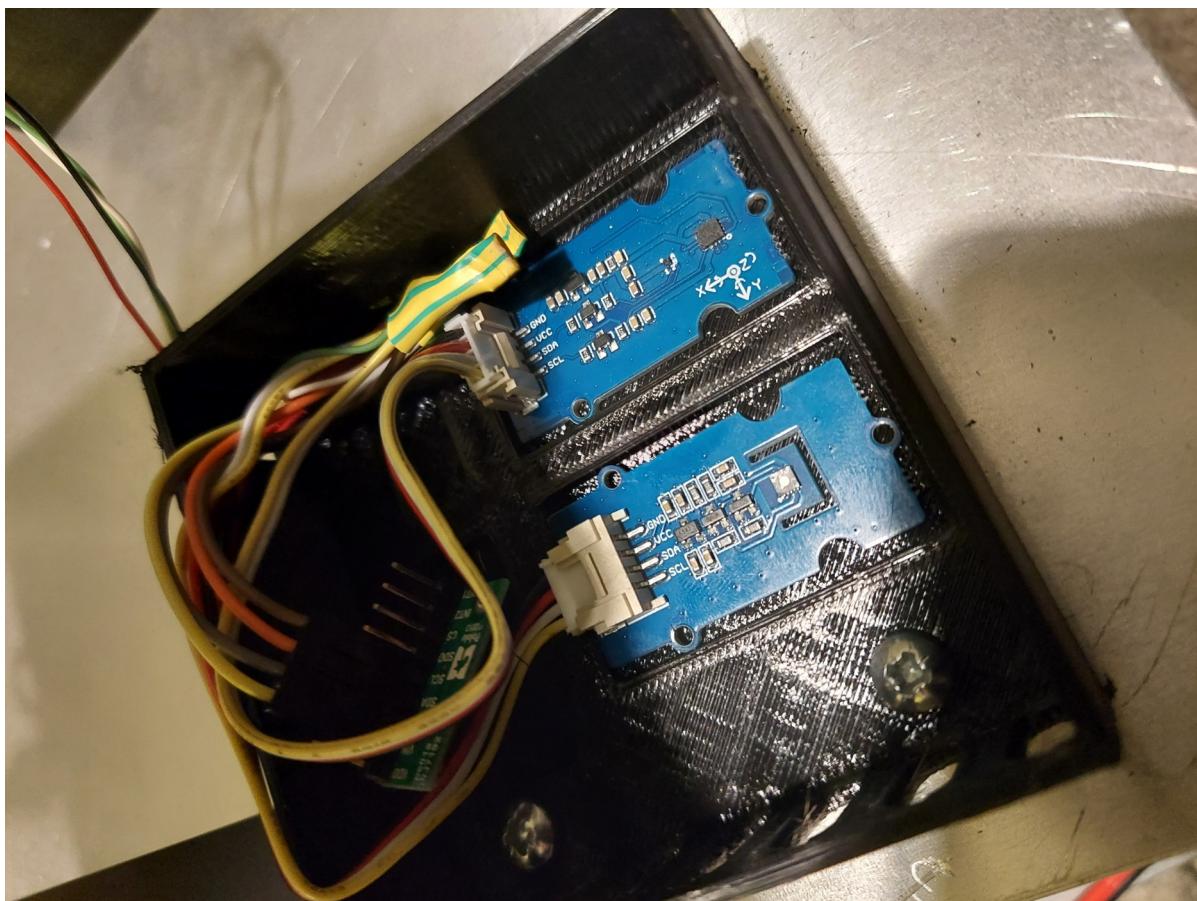
Kamera z wieżyczki podłączona do raspberry



Czujniki:

Na korpusie, nieopodal wieżyczki znajduje się zestaw czujników. Dzięki nim możemy dostrzec to czego nie jest w stanie uchwycić kamera, a także dostarczają nam więcej informacji na temat położenia samego łazika co usprawnia poruszanie się nim. W sumie posiadamy aż 9 czujników, są to kolejno: ciśnieniomierz, akcelerometr, żyroskop, magnetometr, czujnik temperatury, wilgotności, CO₂, związków organicznych a także GPS. Akcelerometr, żyroskop i magnetometr pomagają określić pozycję łazika względem podłoża, a także jego „kierunek patrzenia”. GPS ułatwia oczywiście nawigacje tylko na Ziemi. Reszta czujników odpowiada za zbieranie informacji na temat otoczenia. Naszym zdaniem najważniejszym czujnikiem na pokładzie jest czujnik związków organicznych. Związki te to np. alkany czyli metan, propan butan czy hexan. Obecność tych związków w atmosferze może świadczyć o obecności życia. Oczywiście reszta czujników, także dostarcza wielu ważnych informacji na temat atmosfery.

Czujniki w obudowie



Komunikacja:

Łazik posiada 3 moduły komunikacji. Każdy z nich jest osobnym radiem. Zapewnia to niezawodność komunikacji na bardzo dalekie dystanse. Pracujemy na 3 pasmach: 2,4 GHz (WiFi), 433 MHz (ISM) i 144 MHz (pasmo 2m krótkofalarskie).

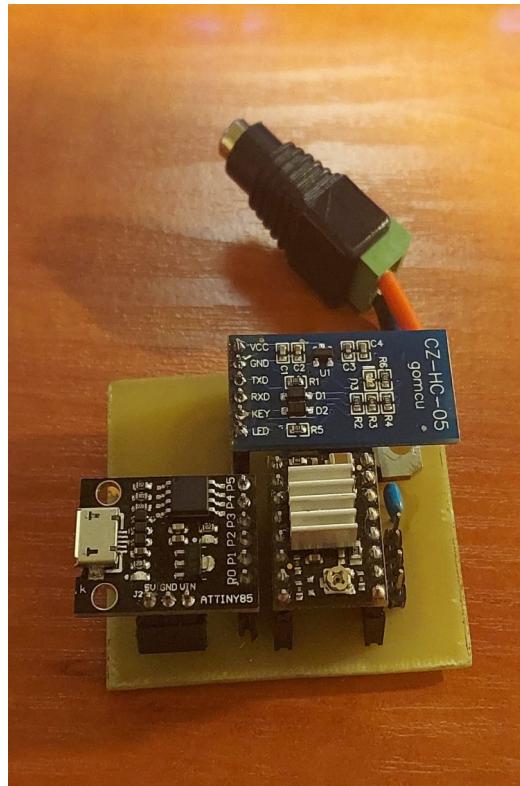
WiFi:

Naszym podstawowym pasmem jest 2,4 GHz i jest to sieć WiFi. Upraszczca to bardzo konstrukcję sieci, a także samo oprogramowanie. Dzięki wysokiej przepustowości możliwy jest przesył wideo w czasie rzeczywistym w rozdzielczości 1080p. Korzystamy z dwóch anten o wysokim zysku. Na Łaziku znajduje się antena dookoła, a w bazie z której sterujemy pojazdem - antena kierunkowa. Umieszczona ona jest na specjalnie zaprojektowanym rotorze, obracanym przez silnik korkowy. Naprowadzana jest automatycznie na podstawie danych z GPS, lub możliwy jest również tryb manualny gdzie kąt podawany jest ręcznie przez operatora w programie.

Statyw z zamontowaną anteną na rotorze



Płyta sterująca rotorem anteny



Moduł ISM:

Naszym jednym z zapasowych trybów komunikacji jest moduł pracujący na częstotliwości 433 MHz. Jest on drugi w kolejności po WiFi. Zapewnia łączność na średni dystans z dość dobrym transferem danych. Niska pojemność pasma nie pozwala jednak na strumieniowanie obrazu na żywo

Radio:

Ostatni tryb wykorzystuje 5W radio na częstotliwości 144 MHz. Zapewnia ono najdalszy dystans, aż do 7km, ale zarazem najniższą przepustowość. Choć mamy tutaj możliwość przesyłu obrazu za pomocą SSTV. Z podobnej technologii korzystają satelity metrologiczne NOAA.

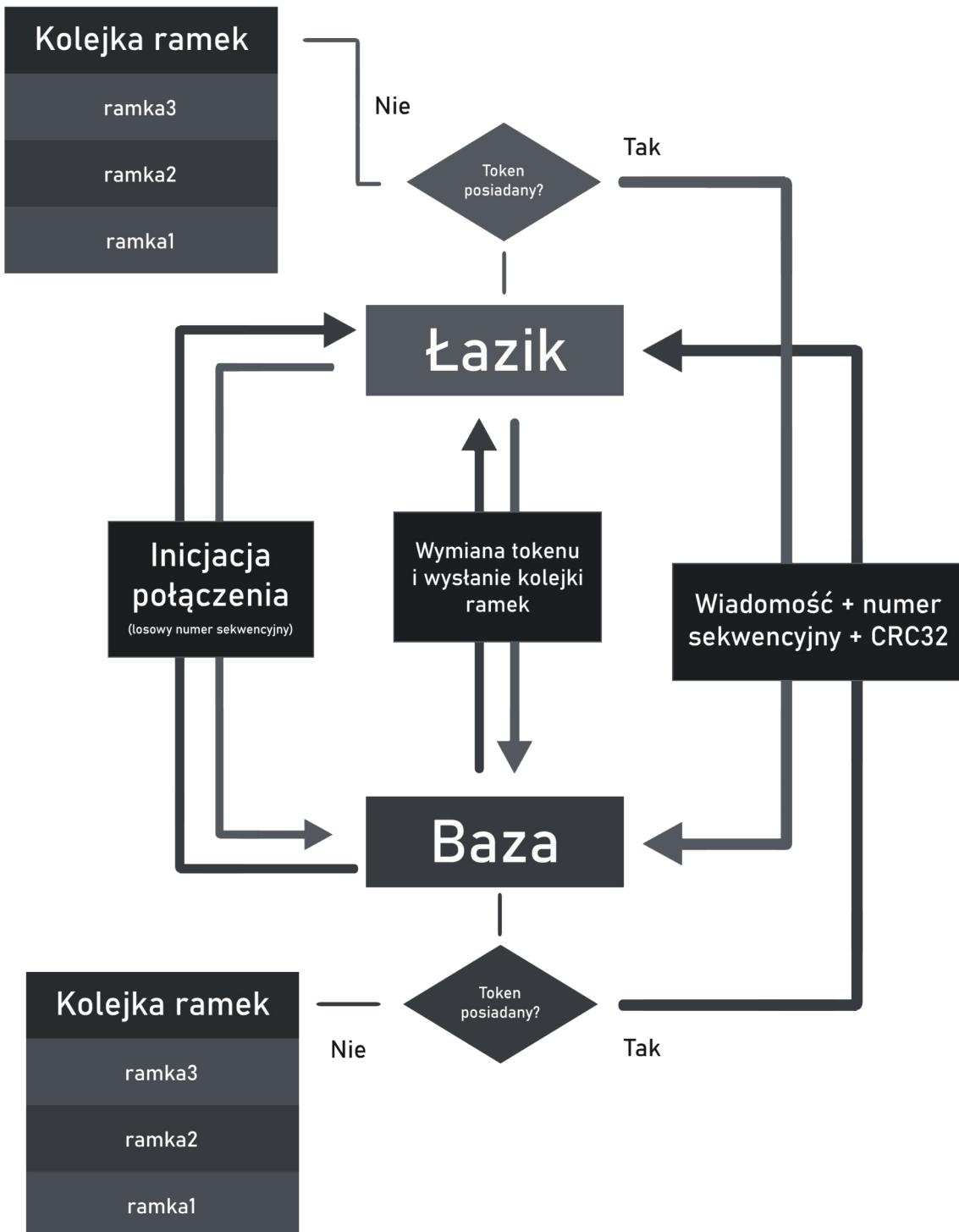
Protokół wykorzystywany podczas transmisji zapasowej:

Aby zapewnić, że każda informacja dotrze z Łazika do bazy, lub na odwrót zaprojektowaliśmy protokół wzorując się na tym, który wykorzystywany jest na co dzień w sieciach komputerowych, czyli TCP. Zmodyfikowaliśmy go odpowiednio i uprościliśmy, ponieważ nie potrzebowaliśmy takiej ilości danych sterujących. Musieliśmy go także dostosować do tego że radio jest tylko półdupleksem.

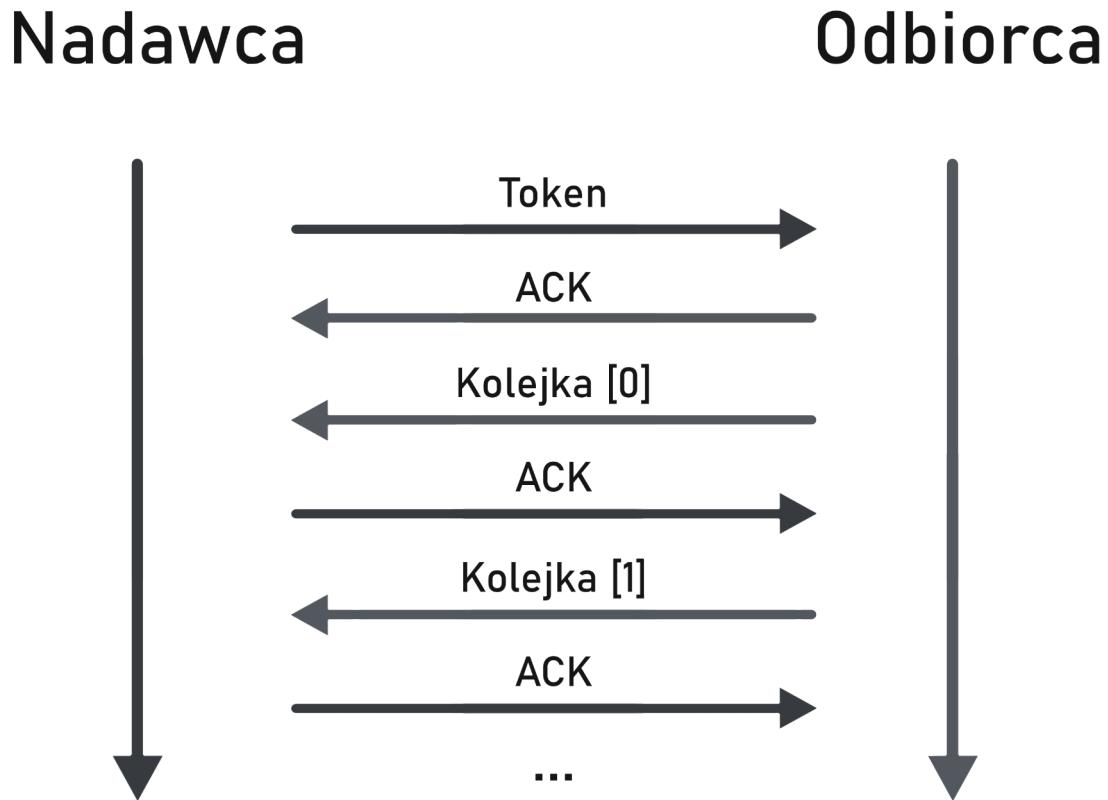
Zasada działania:

- I. Na początku inicjalizowane jest połączenie. Z bazy wysyłany jest losowy numer sekwencyjny. Łazik odsyła swój losowy numer sekwencyjny.
- II. Od teraz mogą być wysyłane wiadomości:
 1. Przy próbie wysłania wiadomości, sprawdzamy czy posiadamy token. Jeżeli nie to przygotowana ramka zostaje dodana do kolejki. Jeżeli taki token posiadamy to wiadomość zostaje wysłana i radio zaczynać nasłuchiwać w poszukiwaniu potwierdzenia odbioru.
 - a. Token wymieniany jest przez wysłanie odpowiedniej wiadomości. Odbywa się to co 0.25s, aby obie strony mogły się sprawnie wymieniać danymi.
 - b. Jeżeli jedna ze stron odbierze token, to wysyła ona najpierw wszystkie wiadomości z bufora.
 2. W przypadku braku tokenu radio po drugiej stronie cały czas nasłuchuje. Po odebraniu wiadomości sprawdzamy poprawność odebranej ramki i jeżeli wszystko jest w porządku odsyłamy „ACK”, jeżeli nie to „!ACK”
 - a. W przypadku „!ACK”, nadawca zmuszony jest odesłać wiadomość jeszcze raz.

Schemat działania protokołu



Wymiana tokenu



Ramka:

Każda ramka składa się kolejno: z danych, które mają zostać przesłane, numeru sekwencyjnego i wygenerowanej sumy kontrolnej.

Po odebraniu ramki jest najpierw sprawdzana jej suma kontrolna. Potem sprawdzamy numer sekwencyjny. Dopiero po tym etapie odczytywana jest faktyczna zawartość ramki.

Wykorzystana przez nas suma kontrolna to CRC, czyli cykliczny kod nadmiarowy. W wersji CRC-32. Wykorzystaliśmy akurat ten algorytm, ponieważ przy stosunkowo krótkiej sumie kontrolnej, możemy sprawdzać wystarczającej długości tekst, nie tracąc na wykrywalności błędów.

Zaś numer sekwencyjny jak mówiliśmy jest synchronizowany podczas inicjalizacji. Od tego momentu po każdej wysłanej wiadomości zwiększamy numer o 1. Także odbiorca po prawidłowym odebraniu wiadomości zwiększa nasz numer o jeden. W przypadku przekroczenia maksymalnej wielkości numeru sekwencyjnego, przypisywana jest mu wartość 0 (działa w modulo maksymalnej wartości). W ten sposób przebiega synchronizacja numerów. Dzięki temu nie otrzymamy przestarzałych danych, ani nie zgubimy żadnej ramki.

Serwer:

Serwer jest pośrednikiem między podzespołami łącznika, a interfejsem użytkownika. Przekazuje i przetwarza dane. Obsługuje wszystkie 3 tryby komunikacji. Odpowiednio przygotowuje dane tak aby interfejs odpowiednio je odebrał. Przez to że naszym głównym modułem komunikacji jest WiFi, do komunikacji z podzespołami i użytkownikiem wykorzystujemy WebSockets. Cały program od serwera jest napisany w języku Python przy wykorzystaniu tego protokołu. Każde z raspberry podłączone jest osobnym websocketem, przez co serwer jest w stanie rozróżnić od kogo przychodzą dane i odpowiednio je przetworzyć. Spowodowane jest to tym, że chcieliśmy jak najbardziej ograniczyć dane wychodzące od łącznika, aby odciążyć transfer, a drugim powodem jest też to że awaryjna komunikacja ma znacznie mniejsze przepustowości, a ograniczenie danych zmniejsza opóźnienia w sterowaniu.

Aby dane zostały wysłane do interfejsu użytkownika zostają one najpierw spakowane w popularny format wymiany danych o nazwie JSON. Żeby coś przesyłać do łącznika postępujemy w odwrotny sposób. Czyli rozpakowujemy dane z JSON'a i zamieniamy je na format zrozumiały dla kodu po stronie sondy.

Fragment kodu serwera

```
async def server(websocket, path):
    localName, index = await newConnection(websocket)
    while True:
        try:
            data = await asyncio.wait_for(websocket.recv(), timeout=0.2)
            try:
                await commands(data, index)
            except Exception as e:
                print(e)
                logging.error(f'COMMAND ERROR | {e}')
        except asyncio.TimeoutError:
            print("Timeout")
            await asyncio.sleep(0.5)
        except:
            print(f'{localName} Rozłączył się')
            await disconnect(index)
            break
```

Interfejs użytkownika:

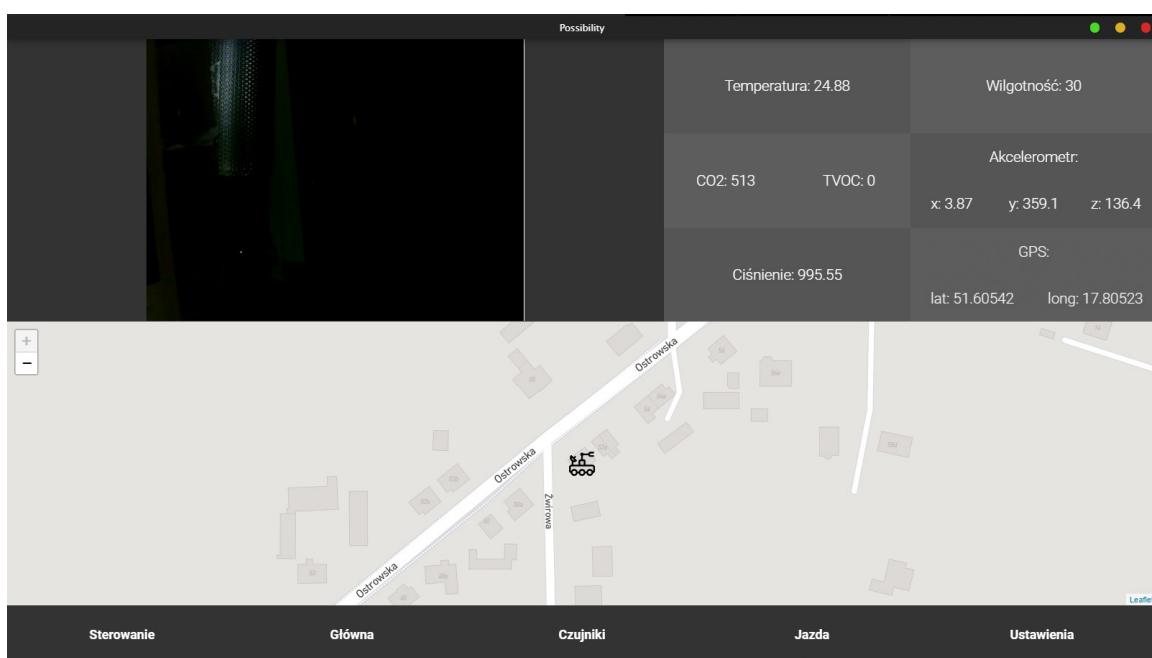
Interfejs użytkownika wykorzystuje framework „Electron” – stanowiący syntezę środowiska „Node.js” i projektu „Chromium”, na którym bazują takie programy jak „Visual Studio Code”, „Discord”, „Skype” czy nawet „Microsoft Teams”.

Program natychmiast informuje o wszelkich zmianach związanych z łazikiem, wizualizuje przychodzące dane z czujników i umożliwia ich eksport, wyświetla widok z kamery, pozwala na sterowanie łazikiem i kamerą umieszczoną na wieżyczce wykorzystując specjalnie opracowaną symulację „joysticka” wygładzającą przebieg zmiany prędkości w przypadku jazdy za pomocą myszki (zaimplementowana jest także obsługa joysticka) oraz zmianę typu komunikacji, ustawień światła i kamer. Umożliwia także manualną konfigurację anteny.

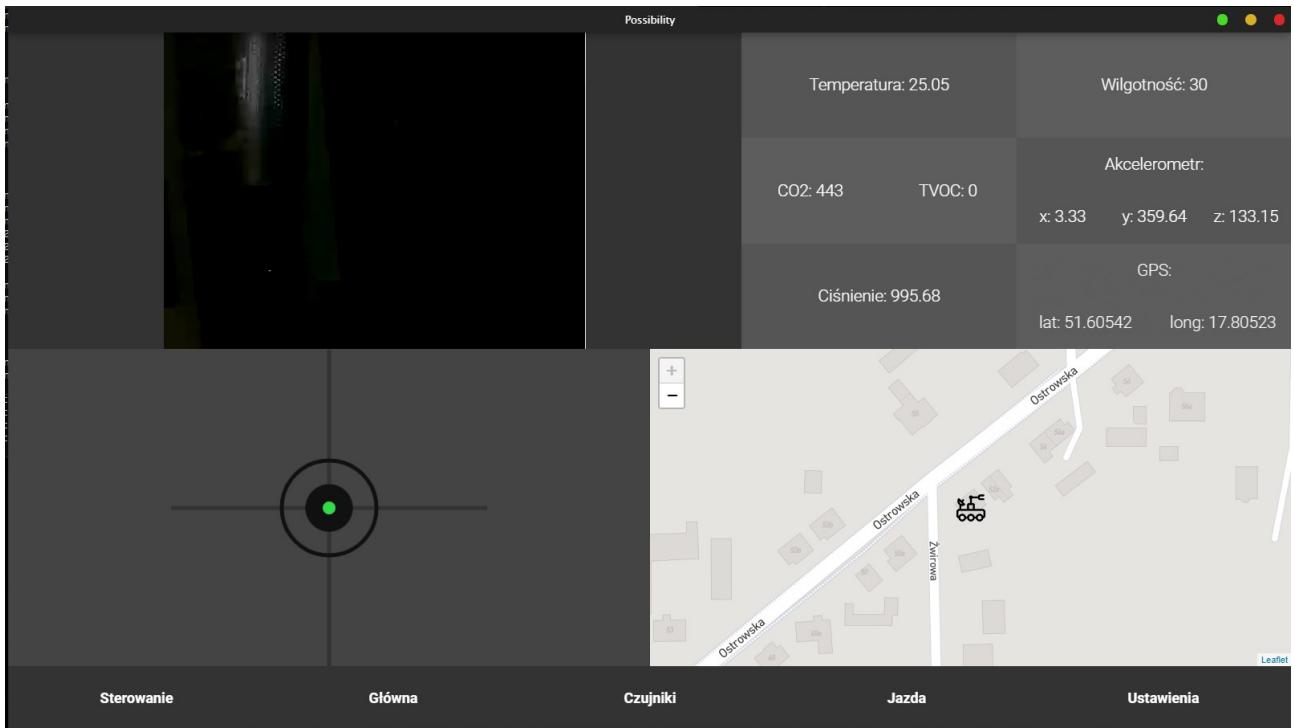
Jeszcze jedną, bardzo istotną funkcją jest implementacja „kinematyki odwrotnej”. Problem „kinematyki odwrotnej” polega na znalezieniu odpowiedniego zestawu konfiguracji połączeń np. odcinków ramienia, tak, by jego efektor końcowy mógł znaleźć się w określonej pozycji tak szybko i płynnie, jak to tylko możliwe.

Wykorzystana przez nas technika nosi nazwę „FABRIK” („Forward And Backward Reaching Inverse Kinematics”). Jest to nowa, heurystyczna metoda pozwalająca na wyjątkowo szybkie i dokładne obliczanie zestawu (w naszym przypadku) kątów między poszczególnymi odcinkami ramienia. Technika ta wyróżnia się na tle innych swoim podejściem do problemu kinematyki odwrotnej: wykorzystując tą technikę, unika się stosowania macierzy i kątów obrotu – zamiast tego znajduje się odpowiednie położenie każdego stawu poprzez zlokalizowanie odpowiadającego mu punktu na linii. Dzięki temu „FABRIK” ma niski koszt obliczeniowy, wymaga względnie małej ilości iteracji i gwarantuje płynne przejście z punktu do punktu.

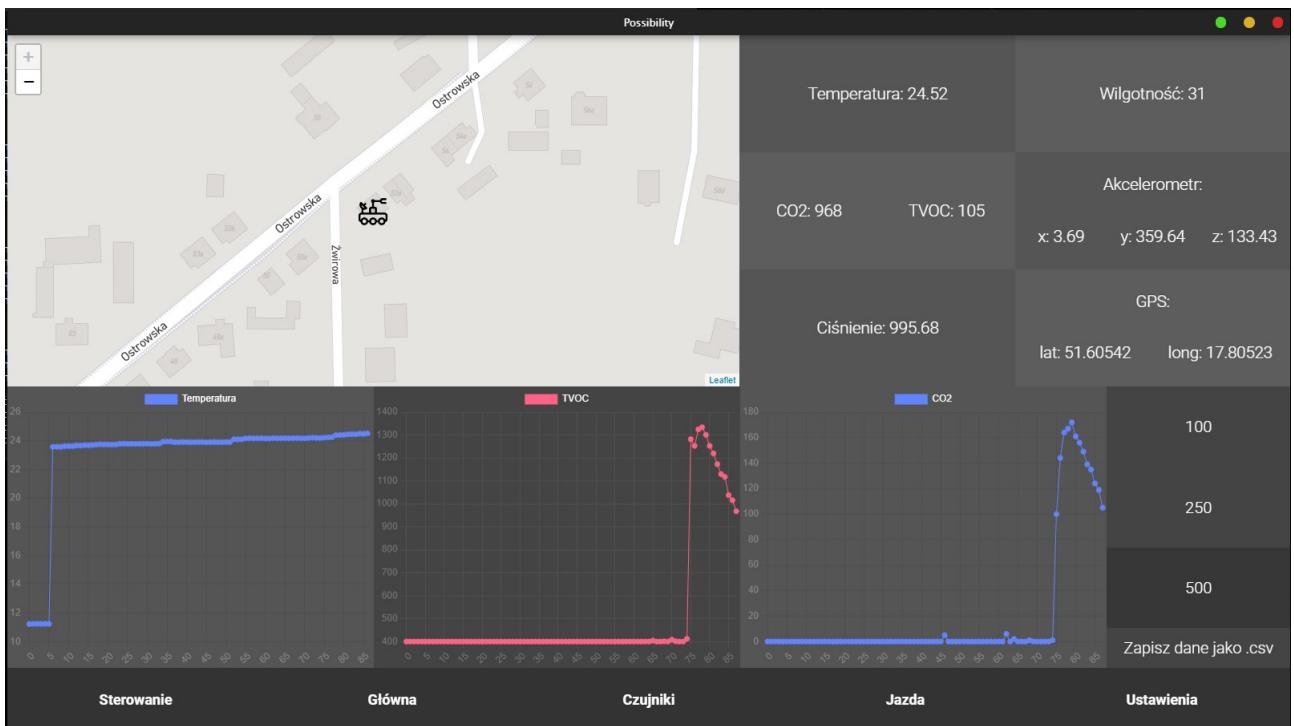
Strona główna interfejsu



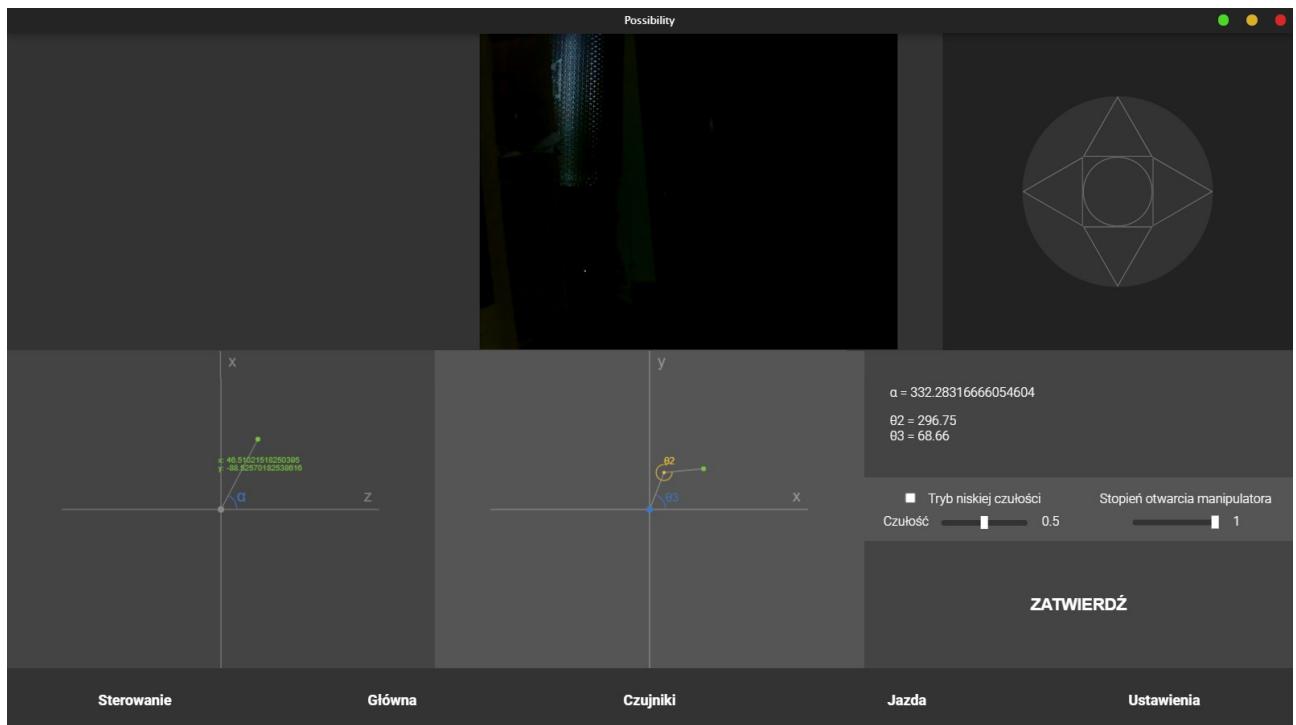
Strona interfejsu odpowiadająca za sterowanie łazikiem



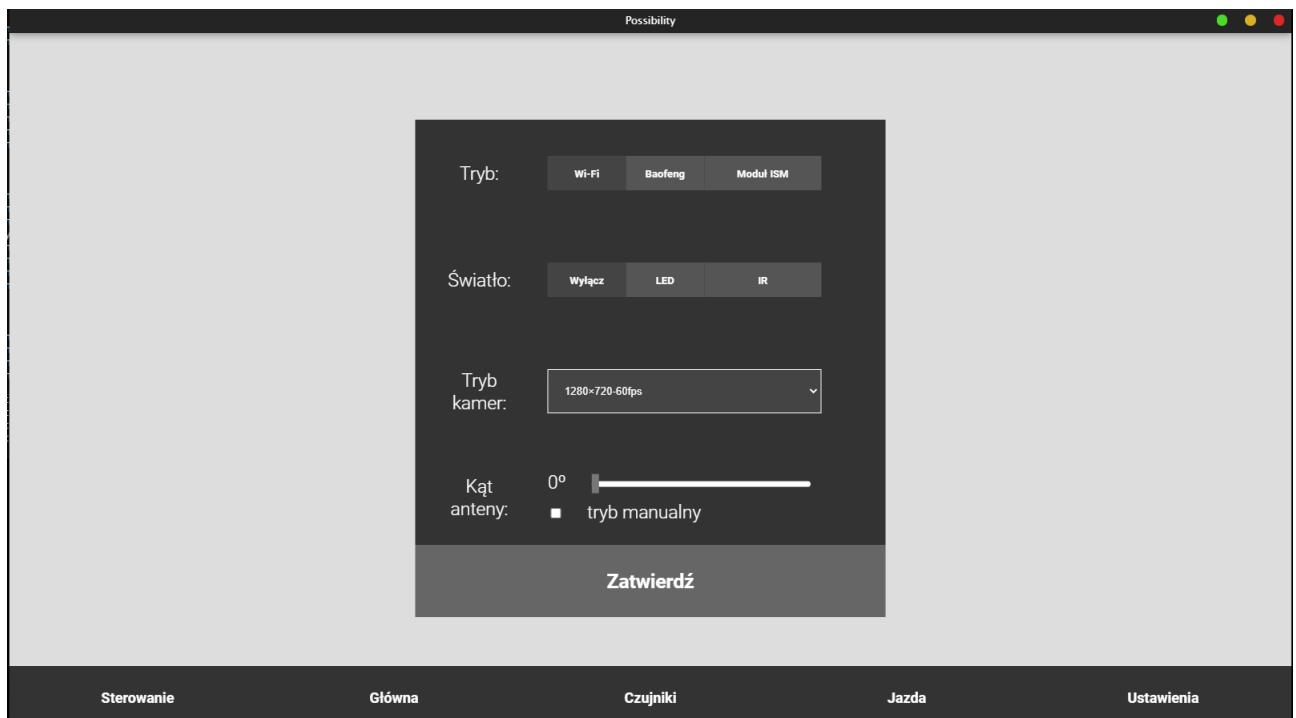
Strona wyświetlająca dane z czujników



Strona odpowiadająca za sterowanie ramieniem



Strona interfejsu z ustawieniami



Film

[https://drive.google.com/file/d/1aKPja_FUfu3k2xQ6c12rMo9Mw1GYJLAd/view?
usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1aKPja_FUfu3k2xQ6c12rMo9Mw1GYJLAd/view?usp=sharing)

