

Politechnika Poznańska

SKNTI 2023 Raport Merytoryczny

Elektryczny gokart do badań nad bezpieczeństwem
pojazdu w stanach dynamicznych



Koło Naukowe CybAiR

ID wniosku: 570851, Nr rejestracyjny: SKN/SP/570851/2023

25 października 2024

Spis treści

1	Wstęp	2
1.1	Przedmiot i cel projektu	2
1.2	Cele szczegółowe projekt	2
2	Rozwój platformy jezdnej	3
2.1	Układ napędowy	3
2.1.1	Dobór silnika elektrycznego	3
2.1.2	Mocowanie silnika	4
2.1.3	Sterownik napędu elektrycznego	6
2.2	Akumulator	6
2.3	Strojenie algorytmów sterowania silnikiem	7
3	Rozwój systemu zdalnego sterowania	8
3.1	Układ sterownia kolumną kierowniczą	8
3.2	Moduł zdalnego sterowani	11
3.3	Integracja systemu - "drive-by-wire"	13
3.4	Testy zasięgu i opóźnień systemu zdalnego sterowani	13
4	Testy i badania zachowania pojazdu	15
5	Podsumowanie	17

1. Wstęp

1.1. Przedmiot i cel projektu

Celem projektu była budowa elektrycznego gokarta umożliwiającego badania nad bezpieczeństwem pojazdu w stanach dynamicznych. W ramach projektu powstał prototyp elektrycznego gokarta wraz z systemem zdalnego sterowania do przeprowadzania bezzałogowych testów pojazdu.

Uzyskanie finansowania projektu miało na celu wsparcie prowadzenie badań naukowych oraz prac rozwojowych toczących się w kole naukowym, które dotyczą tworzenia nowych technologii i rozwiązań technicznych. Osiągnięte rezultaty będą promowane w kraju i za granicą.

Projekt pozwolił jego uczestnikom na nabywanie umiejętności miękkich poprzez wykonywanie pracy zespołowej oraz przeprowadzanie wystąpień publicznych. Praca zespołowa wymagała odpowiedniego planowania zadań, śledzenia ich postępów oraz uzgadniania podziału kompetencji w zespole.

Realizacja projektu przyczyniła się do efektywnej i sprawnej realizacji innowacyjnych projektów oraz podniesienia jakości działalności koła naukowego.

1.2. Cele szczegółowe projekt

Zrealizowanie celu głównego projektu, którym jest budowa elektrycznego gokarta umożliwiającego badania nad bezpieczeństwem pojazdu w stanach dynamicznych wymagało zrealizowania celów szczegółowych.

1. Budowy platformy jezdnej z silnikiem elektrycznym zasilanym z dedykowanego akumulatora wykonanego w ramach projektu i sterowanym w sposób precyzyjny z zaawansowanego układu elektronicznego.

2. Rozwoju systemu zdalnego sterowania, w szczególności przygotowanie elementów w układzie "drive-by-wire" i niezawodnej komunikacji radiowej z pojazdem.

3. Testowania przygotowanego rozwiązania, a następnie rejestracja danych telemetrycznych z wykonywanych przy pomocy systemu zdalnego sterowania manewrów generujących stany dynamiczne pojazdu.

4. Analizy zebranych danych i wstępne przygotowanie algorytmów do ich przetwarzania i generowania bezpiecznych sterowań dla pojazdu.

2. Rozwój platformy jezdnej

2.1. Układ napędowy

W tej części projektu zbudowany został kompletny układ napędowy gokarta, który umożliwił dynamiczną i bezpieczną jazdę. Podstawowym celem był wybór komponentów, które zapewnią optymalną moc, efektywność oraz trwałość systemu napędowego. Skupiono się na doborze odpowiedniego silnika elektrycznego, sterownika oraz akumulatora, a także na przeprowadzeniu testów w celu potwierdzenia współpracy wszystkich elementów.

2.1.1. Dobór silnika elektrycznego

Aby zapewnić odpowiednią dynamikę jazdy, wybraliśmy silnik elektryczny QS 180 firmy QSMOTOR 1, który spełnia wymagania dotyczące mocy i trwałości. Silnik ten jest typu PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor), co oznacza, że posiada wysoki stosunek momentu obrotowego do masy oraz wydajność energetyczną. Jest on zdolny do pracy przy mocy ciągłej 18 kW oraz osiągnięcia szczytowej mocy 20 kW, co jest odpowiednie dla intensywnej, dynamicznej jazdy. Maksymalna prędkość obrotowa wynosi 6000 RPM, co przy przełożeniu 1:3 oznacza prędkość maksymalną w granicach 120 km/h.

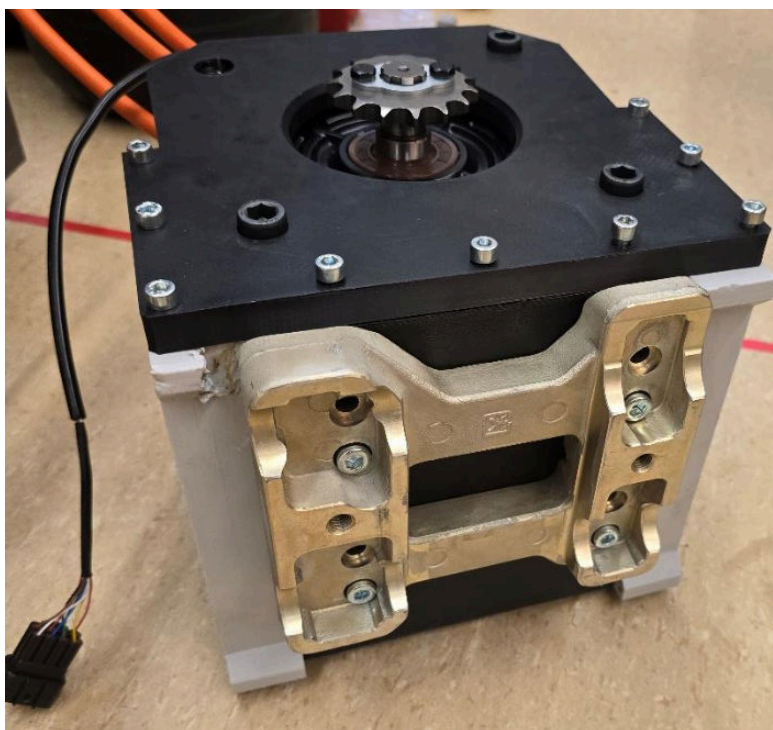


Rysunek 1: QS 180 Motor QSMOTOR.

Silnik posiada chłodzenie powietrzem, waży 22 kg i jest wyposażony w rating wodoodporności IP67, co zapewnia jego odporność na trudne warunki atmosferyczne które mogą wstępować podczas testów.

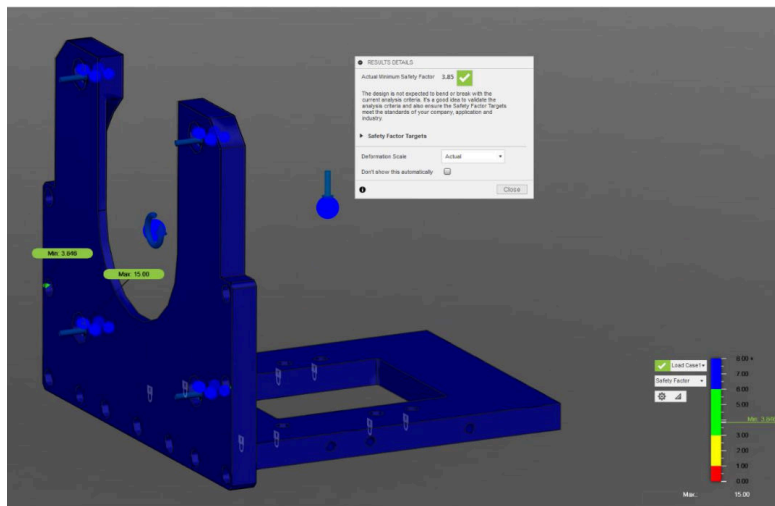
2.1.2. Mocowanie silnika

Mocowanie silnika gokarta zostało pierwotnie zaprojektowane z myślą o wykonaniu w technologii przyrostowej (FDM). Po przetestowaniu rozwiązania na pojeździe, projekt zoptymalizowano pod kątem wykonania poprzez obróbkę skrawaniem z aluminium. Konstrukcja składa się z dwóch płyt, połączonych pięcioma śrubami M6 i dwiema tulejami centrującymi, a całość jest montowana do adaptera zamocowanego na zawieszeniu gokarta. Pierwsza wersja mocowania przedstawiona jest poniżej.



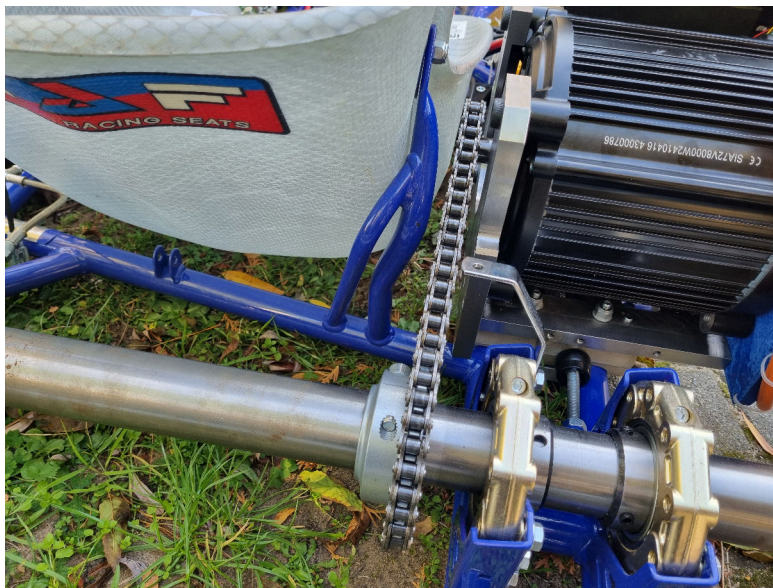
Rysunek 2: Pierwsza wersja mocowanie silnika.

Proces optymalizacji wymagał przeprowadzenia analizy MES, która uwzględniła siły wynikające z momentu obrotowego silnika, siłę odśrodkową działającą na gokart podczas skrętu oraz obciążenie własne silnika przy przeciążeniu 3g.



Rysunek 3: Analiza MES mocowani.

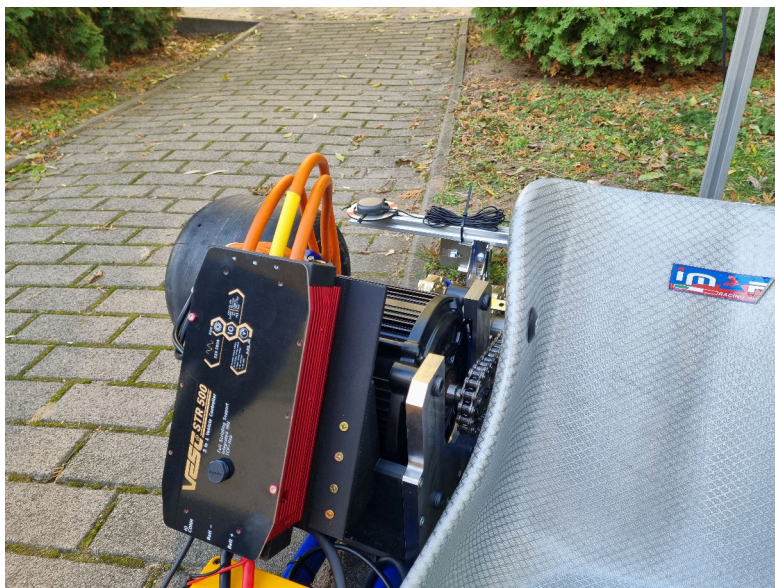
Ostatecznie, ze względów ekonomicznych, zdecydowano się na wykonanie elementów ze stali. To rozwiązanie zwiększyło wagę, ale jednocześnie zapewniło znacznie wyższą wytrzymałość.



Rysunek 4: Mocowanie silnika.

2.1.3. Sterownik napędu elektrycznego

Do sterowania silnikiem elektrycznym wybrano sterownik VESC STR-500 7, który został dostosowany do wymagań gokarta pod względem wydajności i funkcjonalności. Sterownik ten umożliwia pracę ciągłą z prądem 500 A przy maksymalnym napięciu zasilania 92 V, co z nadmiarem spełnia zapotrzebowanie na moc dla wybranego układu napędowego. Sterownik umożliwia komunikację za pomocą portów USB, CAN, UAVCAN, 2x UART, SPI oraz I²C, co ułatwia integrację z różnorodnymi systemami umożliwiając przyszłe rozbudowanie pojazdu. Dodatkowo, VESC STR-500 oferuje również wbudowany 9-osiowy system IMU (Inertial Measurement Unit) które może zostać użyte w algorytmach estymacji stanu pojazdu.



Rysunek 5: VESC STR-500.

2.2. Akumulator

W projekcie wybrano akumulator Talaria String o napięciu nominalnym 72 V, pojemności 55 Ah oraz maksymalnej mocy wyjściowej wynoszącej 20 kW, co odpowiada wymaganiom elektrycznego układu napędowego gokarta.



Rysunek 6: Talaria String.

Ze względów większej opłacalności, większej niezawodności i większego bezpieczeństwa zdecydowano się na zakup gotowego akumulatora, a nie budowanie go od podstaw z pojedynczych ogniw.

2.3. Strojenie algorytmów sterowania silnikiem

W celu uzyskania zadowalającej pracy silnika nastrojono regulatory wewnątrz sterowania silnika przy pomocy programu producenta - VESC tool.

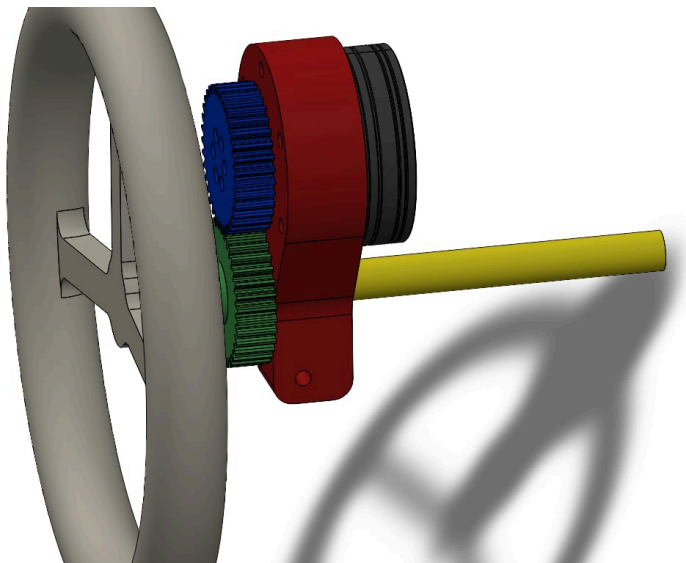


Rysunek 7: Zrzut ekranu VESC tool podczas strojenie regulatorów PID.

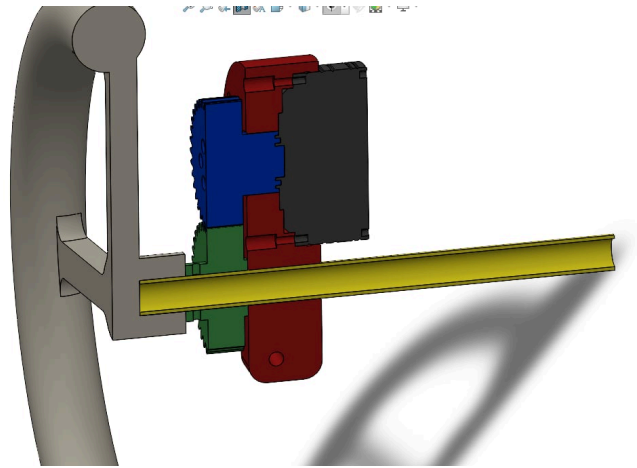
3. Rozwój systemu zdalnego sterowania

W kolejnym etapie, bazując na gotowym podwoziu wraz z napędem zbudowany został system zdalnego sterowania niezbędny do bezpiecznego przeprowadzania testów dynamicznych pojazdu. Osiągnięcie takiej funkcjonalności wymagało opracowania interfejsów mechanicznych do zamontowania siłowników elektrycznych do sterowania kątem skręcenia kół pojazdu, hamowanie odbywa się silnikiem elektrycznym. Układ mechaniczny został zbudowany w taki sposób, aby w razie potrzeby do gokartu mógł wsiąść kierowca bezpieczeństwa. Spełnienie tego wymogu było możliwe, dzięki odpowiedniemu opracowaniu system odłączania sterowania "drive-by-wire". Sterowanie przyśpieszeniem pojazdu nie wymagało dodatkowego siłownika, gdyż mieliśmy elektroniczny dostęp bezpośrednio do sterownika silnika napędowego. Tak przygotowane elementy wykonawcze systemu zostały podłączone do modułu zdalnego sterowania, który wymagał dokładnej konfiguracji oraz dostrojenia odpowiednich parametrów. W ten sposób zbudowany system mógł być sterowany drogą radiową, przy użyciu odpowiedniej aparatury. Na zakończenie zadania przeprowadzone zostały testy dotyczące określenia czasu reakcji systemu zdalnego sterowania oraz jego efektywnego zasięgu.

3.1. Układ sterownia kolumną kierowniczą



Rysunek 8: Mocowanie silnika kolumny kierowniczej.



Rysunek 9: Mocowanie silnika kolumny kierowniczej – przekrój modelu.



Rysunek 10: Mocowanie silnika kolumny kierowniczej zamocowane na gokarcie.



Rysunek 11: Zastosowany silnik to AK80-8 CubeMars T-Motor z sterownikiem firmy MAB robotics.

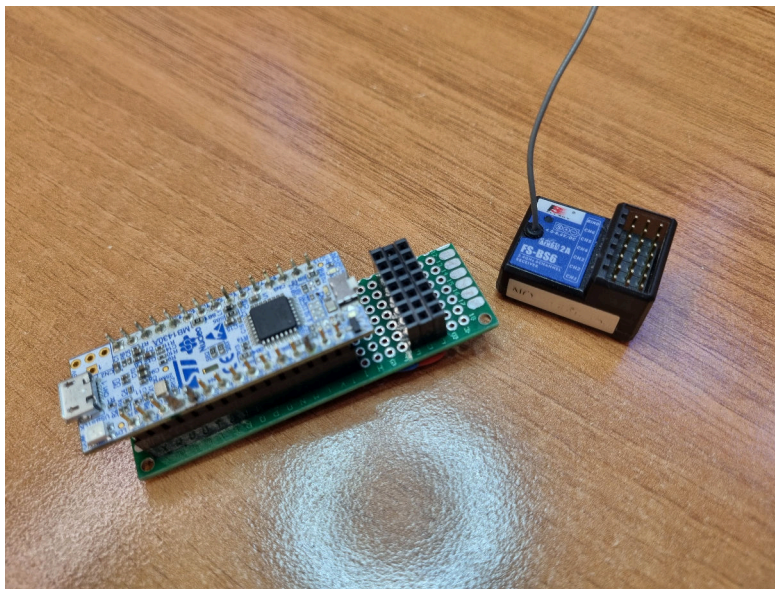
Sterowanie kolumną kierowniczą jest bardzo istotnym elementem wykonawczym pojazdu, gdyż zapewnia możliwość wyboru kierunku jazdy. W tym celu wybraliśmy mocny silnik AK80 z wbudowaną przekładnią 1:8 w celu zapewnienia odpowiedniego maksymalnego momentu chwilowego równego 40Nm przy zadowalającej prędkości kątowej. Sterownik silnika został podłączony do komputera pokładowego i obsługiwany przy pomocy ROS2.

3.2. Moduł zdalnego sterowani



Rysunek 12: Aparatura zdalnego sterowania.

Dzięki wykorzystanej aparaturze zdalnego sterowania radiowego możemy operować gokartem bez konieczności obecności człowieka wewnątrz pojazdu.



Rysunek 13: Odbiornik aparatury zdalnego sterowania wraz z konwerterem na sygnał USB.

W celu odbioru sygnału radiowego zaprojektowano, wykonano oraz oprogramowano przejściówkę z odbiornika radiowego na komunikację USB.

W celu zapewnienia bezpieczeństwa wykorzystano certyfikowany komercyjnie dostępny zdalny ESTOP (wyłącznik awaryjny) którego odbiornik odcina zasilanie na akumulatorze i aktywuje hamowanie silnikiem.



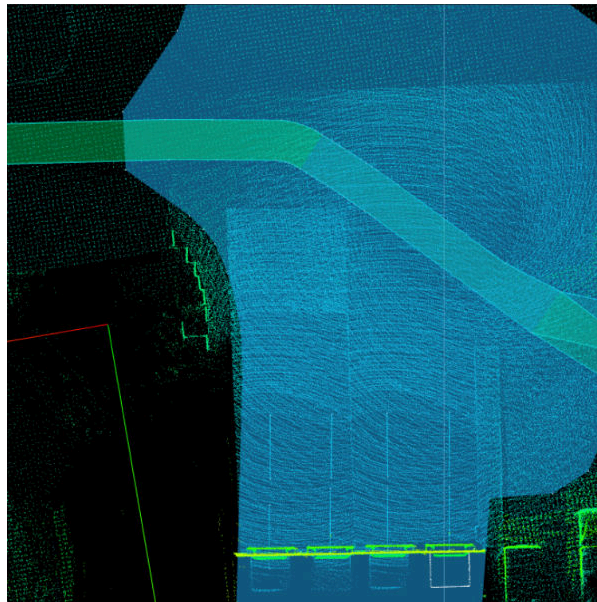
Rysunek 14: E-Stop pozwalający na bezpieczne zatrzymanie pojazdu

3.3. Integracja systemu - "drive-by-wire"

Wszystkie systemy takie jak sterownik silnika trakcyjnego, silnika kolumny kierowniczej wraz z aparaturą zostały podłączone do komputera pokładowego i zintegrowane przy pomocy systemu ROS2.

3.4. Testy zasięgu i opóźnień systemu zdalnego sterowania

Zasięg układu radiowego jak i połączenia sieci WIFI są w pełni zadowalające, co możemy zobaczyć na kolejnych wykresach. Opóźnienia, jakie zaobserwowaliśmy w systemie, nie przekraczały 100 ms.



Rysunek 15: Powierzchnia na której występuje zadowalający zasięg sieci WIFI

4. Testy i badania zachowania pojazdu

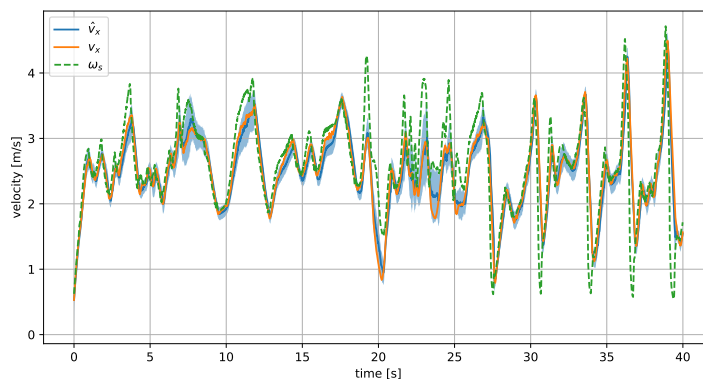
W ostatnim etapie projektu przeprowadzono szereg testów mających na celu sprawdzenie funkcjonowania elementów wykonawczych układu zdalnego oraz zebranie danych niezbędnych do opracowania algorytmów estymacji stanu pojazdu. Testy odbyły się na terenie kampusu Politechniki Poznańskiej. Początkowo planowano je przeprowadzić na terenie Lotniska Kąkolewo, jednak ze względu na znaczne nierówności na płycie lotniska i niskie zawieszenie pojazdu konieczna była zmiana lokalizacji.

Filmy przedstawiające fragmenty testów można znaleźć pod poniższym linkiem:

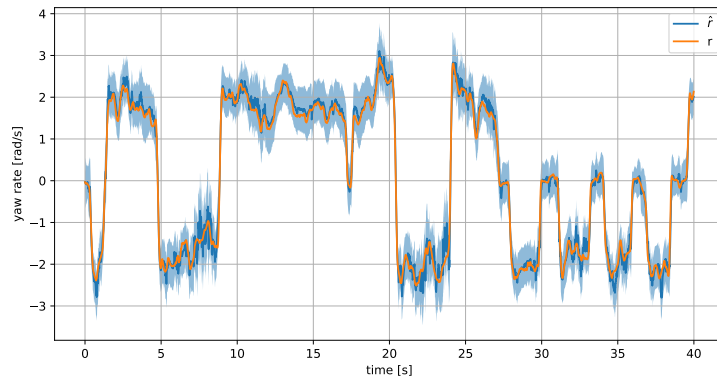
<https://drive.google.com/drive/folders/10hMbYZuMy4dvYqXnw-hE9G15pRvUo8Jo?usp=sharing>

Zebrane dane posłużyły do przetestowania rozwiniętych przez uczestników projektu algorytmów estymacji. Rozwijane estymatory mają na celu określenie prędkości wzdłużnej i rotacyjnej pojazdu na podstawie danych otrzymywanych z sensorów (IMU, prędkości kół, skrzętku kierownicy) oraz modelu ruchu auta. Poprawna estymacja stanu jest kluczowa przy wyprowadzaniu pojazdów z poślizgów lub innych dynamicznych manewrów.

Działą rozwiniętych estymatorów widać na rysunkach 16 i 17. Przebiegi estymowane zaznaczono kolorem niebieskim, natomiast dane referencyjne z systemu GNSS RTK, używanego do walidacji algorytmów, oznaczono kolorem pomarańczowym.



Rysunek 16: Estymacja prędkości wzdłużnej pojazdu.



Rysunek 17: Estymacja prędkości obrotowej wokół osi Z pojazdu.

5. Podsumowanie

Projekt miał na celu budowę elektrycznego gokarta do badań nad bezpieczeństwem pojazdów w stanach dynamicznych. W ramach działań stworzono prototyp gokarta z systemem zdalnego sterowania, umożliwiającą bezzałogowe testy. Projekt wspierał rozwój technologii oraz prace badawcze koła naukowego, a wyniki będą prezentowane na arenie krajowej i międzynarodowej.

Uczestnicy projektu nabyli kompetencje miękkie, takie jak współpraca zespołowa i umiejętność planowania zadań. Realizacja wymagała zbudowania elektrycznej platformy jezdnej, rozwinięcia systemu "drive-by-wire", testowania gokarta oraz analizy danych.

Projekt zakończył się sukcesem, a stworzony prototyp gokarta spełnił założenia techniczne, co umożliwiło przeprowadzenie dynamicznych testów oraz zdobycie cennych danych do dalszych badań nad bezpieczeństwem pojazdów.