

BENECYKL, s.r.o.

FUNKČNÍ VZOREK

Funkční vzorek chytrého vozíku pro pohybově postižené děti

FW04020071-V1

Autor:

Hejda Jan

Sokol Marek

Karavaev Aleksei

Leová Lýdie

Kutílek Patrik

Příhoda Aleš

Hýbl Ján

Volf Petr

Krejčí Lubomír

Hadraba Petr

Antonovič Milan

Číslo projektu: FW04020071

Identifikační číslo výsledku: FW04020071-V1

Typ výsledku: Gfunk

Odpovědný pracovník: Krejčí Lubomír, (BENECYKL, s.r.o.)

BRNO, ČERVEN 2023

Jazyk výsledku: CZE

Hlavní obor: JB - Senzory, Čidla, měření a regulace

Uplatněn: ANO

Název výsledku česky:

Funkční vzorek chytrého vozíku pro pohybově postižené děti

Název výsledku anglicky:

A functional sample of a smart wheelchair for physically challenged children

Popis výstupu/výsledku z návrhu projektu FW04020071 TAČR TREND 4:

Funkční vzorek, který umožňuje speciálně vyvinutým HW a SW distanční terapii a zkvalitnění aktivního života. Zařízení s nově vyvinutou mechanickou konstrukcí je založeno na vytvořených podsystémech monitorování biomechanických dat, stavu prostředí a pohonném systému. Zařízení umožňuje autonomní pohyb terénem pro zlepšení terapie uživatele, monitoring stavu uživatele a biofeedback.

Abstrakt k výsledku česky:

Invalidní vozík pro pohybově postižené děti umožňuje speciálně vyvinutým HW a SW distanční terapii a zkvalitnění aktivního života. Zařízení je tvořeno nově vyvinutou mechanickou konstrukcí rámu umožňující složení a snadnou přepravu. Dále je vozík tvořen elektronickou částí se senzory a pohony vozíku. Rám vozíku je opatřen koly, přičemž je každé kolo samostatně poháněno elektromotorem. Rám vozíku je doplněn třemi siloměrnými senzory, které měří sílu, která je přenášena z rámu vozíku na kola vozíku. Siloměry jsou realizovány z tří tenzometrů v konstrukčních prvcích kol vozíku a umožňují určit charakteristiky pohybu uživatele ležícího ve vozíku. Současně uživatel může použít k měření pohybu segmentů těla gyro-akcelerometrické snímače. Data měřená siloměrnými a gyro-akcelerometrickými snímači jsou předávána počítači, který zpracováním dat vytváří řídicí signály pro řízení pohybu kol vozíku prostřednictvím elektromotorů. Data zaznamenávaná ze senzorů jsou také ukládána pro vyhodnocení v rámci pohybové terapie. Uživatel, který se nachází ve vozíku má možnost řídit pohyb vozíku a tím využít biofeedbacku v rámci rehabilitace. Zařízení umožňuje autonomní pohyb terénem pro zlepšení terapie uživatele, monitoring stavu uživatele a biofeedback.

Abstrakt k výsledku anglicky:

A wheelchair for physically disabled children enables specially developed HW and SW distance therapy and improving the quality of an active life. The device is made up of a newly developed mechanical frame structure that allows folding and easy transportation. Furthermore, the wheelchair consists of an electronic part with sensors and wheelchair electric motors. The frame of the wheelchair is equipped with wheels, each wheel being independently driven by an electric motor. The wheelchair frame is equipped with three force sensors that measure the force that is transmitted from the wheelchair frame to the wheels. The force sensors are realized using three strain gauges above wheels of the wheelchair and allow to determine the characteristics of the movement of the user lying in the wheelchair. At the same time, the user can use gyro-accelerometric sensors to measure the movement of body segments. The data measured by force sensors and gyro-accelerometric sensors are transmitted to a computer, which processes the data and creates control signals for controlling the movement of the wheelchair's wheels by electric motors. The data recorded from the sensors is also stored for evaluation within the movement therapy. The user who is in the wheelchair has the opportunity to control the movement of the wheelchair and thus use

biofeedback as part of rehabilitation. The device enables autonomous movement through the terrain to improve the user's therapy, monitor the user's condition and biofeedback.

Klíčová slova česky:

kinematická data, biofeedback, invalidní vozík, terapie, děti, distanční monitoring

Klíčová slova anglicky:

kinematic data, biofeedback, wheelchair, therapy, children, remote monitoring

Vlastník výsledku:

Benecykl, s.r.o. - 85%,

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství - 15%,

Lokalizace: Benecykl, s.r.o. v Brně

Licence: Ano

Licenční poplatek: Ne

Ekonomické parametry:

Trh obsahuje pouze invalidní vozíky bez možnosti záznamu dat o zdravotním stavu uživatele a jeho pohybových aktivitách pro další využití v terapii a biofeedbacku v rámci invalidního vozíku. Zařízení se zaměřuje na vyplnění uvedené mezery na trhu a nabízí modulární systém složený z mechanické konstrukce, sensorové části a části pohonné, která umožňuje prostřednictvím software terapii biofeedbackem. Sensorový systém umožňuje měření charakteristik skutečného pohybu osob v invalidním vozíku a využití znalosti o chování osob ve vozíku v řízení vozíku poháněného elektromotory. Tímto umožňuje zařízení rehabilitaci v rámci distanční terapie a volnočasových aktivit. Obdobné zařízení není na trhu dostupné. Ekonomické přínosy vyplývají z možnosti nejen rehabilitace, ale především měření chování uživatele v rámci domácího prostředí, což vede zkrácení rehabilitace či zlepšení zdravotního stavu uživatele.

Kategorie nákladů: výše nákladů ≤ 10 mil. Kč.

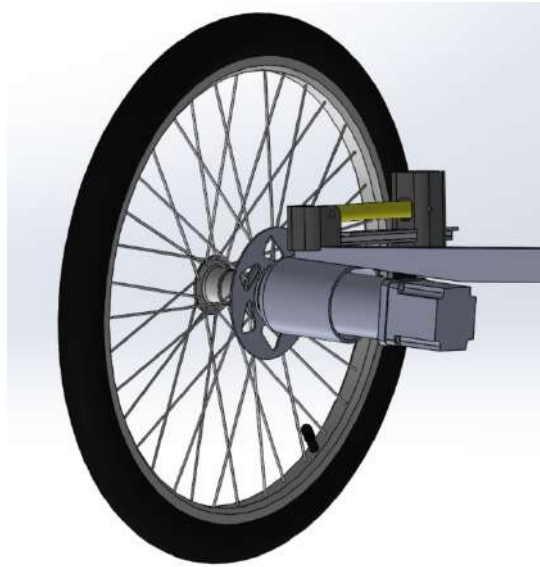
Popis funkčního vzorku

Chytrý vozík pro pohybově postižené děti je tvořen nově vytvořenou mechanickou konstrukcí s elektronickou částí se senzory a pohony vozíku. Mechanická část konstrukce je tvořena rámem, který je vytvořen jako skládací pro zjednodušený transport v rámci realizace volnočasových aktivit. Rám vozíku je opatřen koly, přičemž je každé kolo samostatně poháněno elektromotorem. Rám vozíku je doplněn třemi siloměrnými senzory, které měří sílu, která je přenášena z rámu vozíku na kola vozíku. Siloměry jsou realizovány z tří tenzometrů v konstrukčních prvcích kol vozíku.

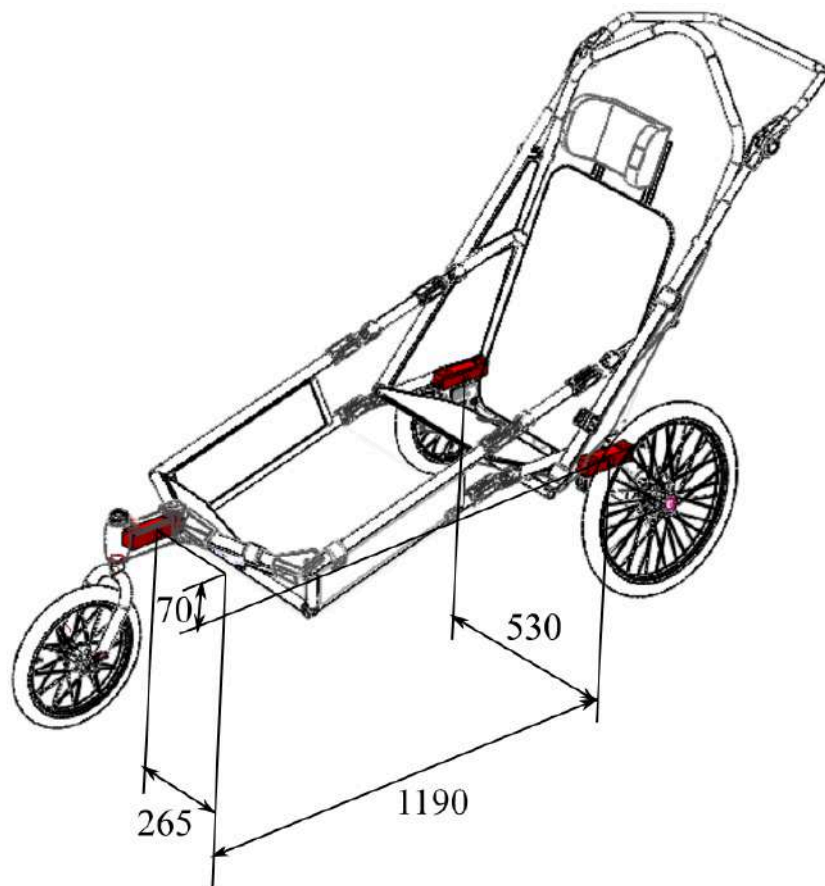
- LEVÝ TENZOMETR typu L6E-C4-300kg-2B ZEMIC je umístěn nad pružinou příruby motoru levého kola a je připojený do konektoru LEVÉHO TENZOMETRU v hlavní rozvodné skříni,
- PŘEDNÍ TENZOMETR typu L6E-C4-300kg-2B ZEMIC je umístěn v pouzdru ramene kloubu předního kola, který je připojený do konektoru PŘEDNÍHO TENZOMETRU v hlavní rozvodné skříni,
- PRAVÝ TENZOMETR typu L6E-C4-300kg-2B ZEMIC je umístěn nad pružinou příruby motoru pravého kola, a je připojený do konektoru PRAVÉHO TENZOMETRU v hlavní rozvodné skříni,



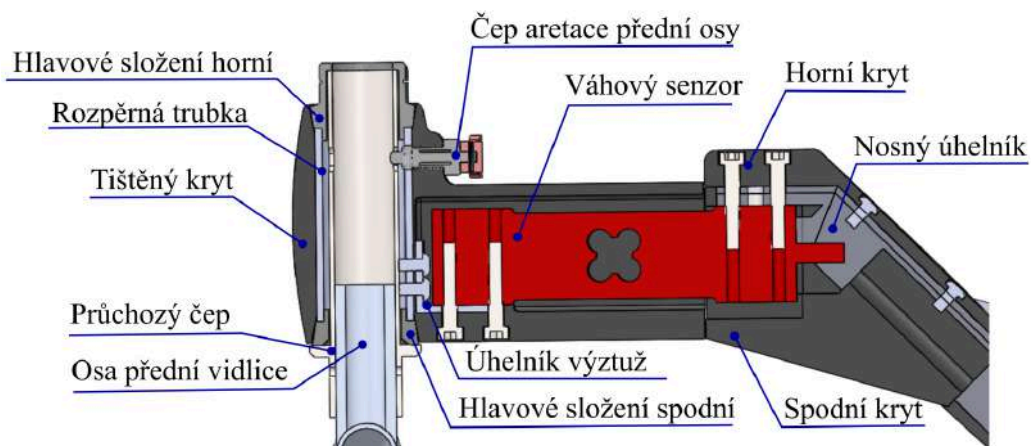
Obr. 1: 3D model skládacího rámu funkčního vzorku vozíku



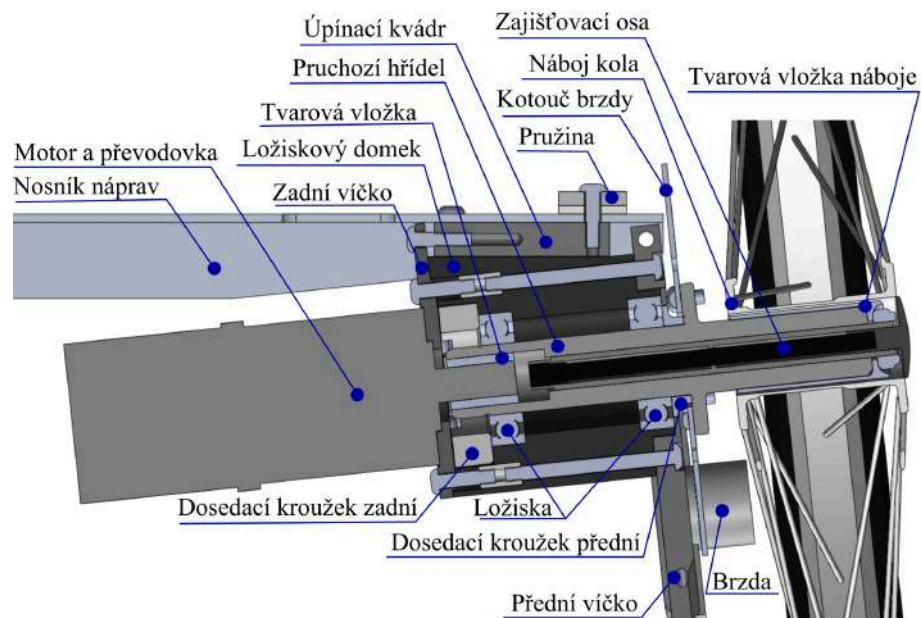
Obr. 2: 3D Model detailu příruby krokového motoru s přírubou Nema23 a planetkovými převody 15:1 a 47:1.



Obr. 3: Model konstrukce vozíku se zvýrazněnou pozicí snímačů sil pro určení polohy těla subjektu v rámu vozíku.

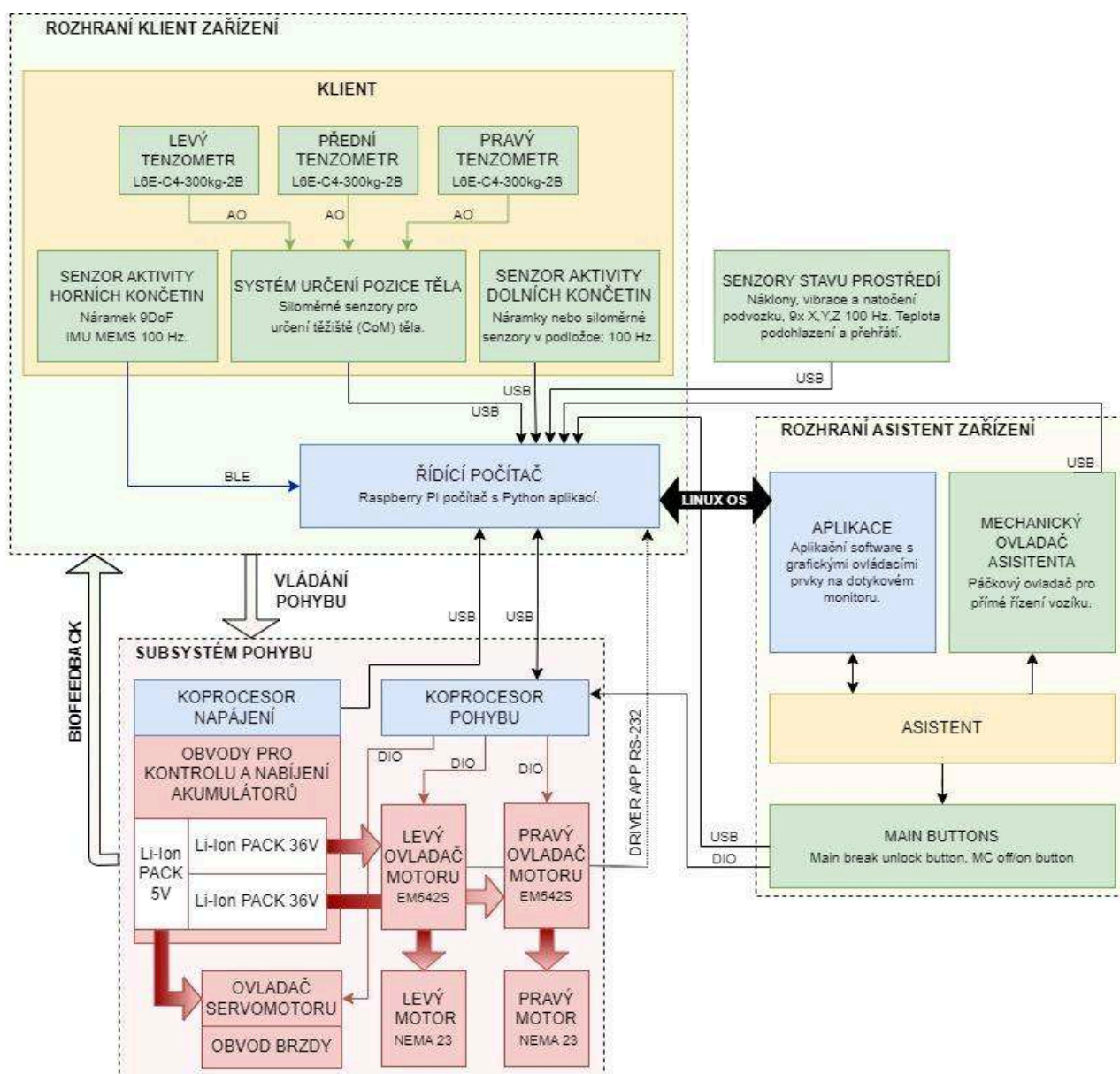


Obr. 4: Detail pouzdra ramene kloubu předního kola se zvýrazněnou pozicí předního tenzometru.



Obr. 5: Detail příruby motoru pravého kola.

Funkční vzorek konstrukce vozíku je doplněn o jednotlivé elektronické bloky. Hlavní část část elektroniky je umístěna v hlavní rozvodné skříni, která elektroniku chrání proti mechanickému poškození, vodě a prachu. Vývody vodičů jsou řešeny pomocí zásuvkových spojek s konektory RJ45 a stupněm krytí IP68. Celá skříň má taktéž stupeň krytí IP68 a umožňuje dočasné ponoření pod vodní sloupec 150 mm. ŘÍDÍCÍ POČÍTAČ je umístěn v hlavní skříni a propojen se SENZORY POZICE TĚLA. SYSTÉM URČENÍ POZICE TĚLA je umístěný v hlavní rozvodné skříni a využívá tři tenzometrů, které společně slouží pro výpočet těžiště těla subjektu.

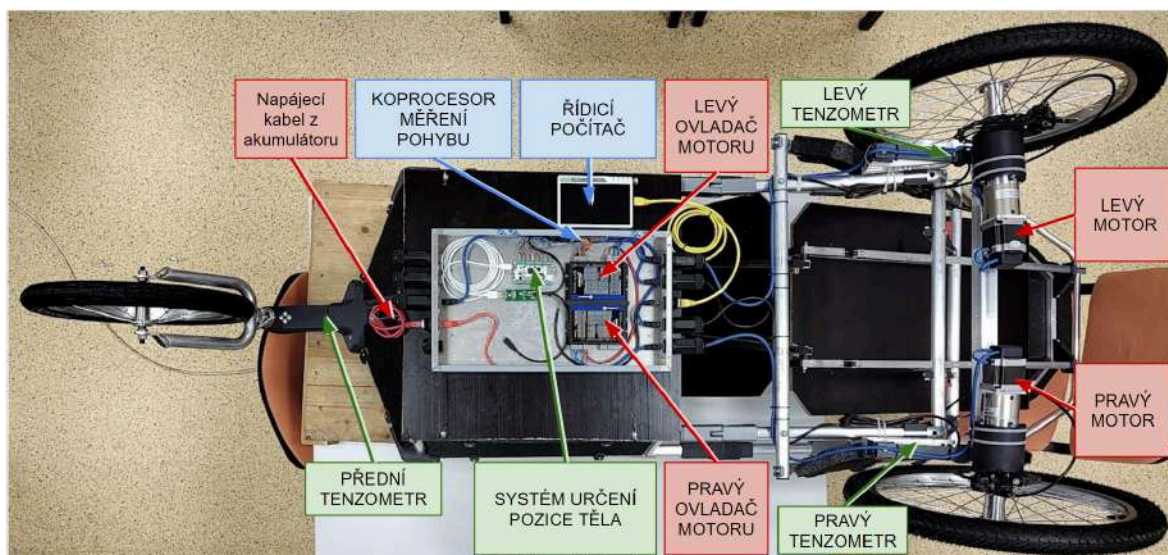


Obr. 6: Blokový diagram systémů vozíku a vazby mezi jednotlivými subsystemy.

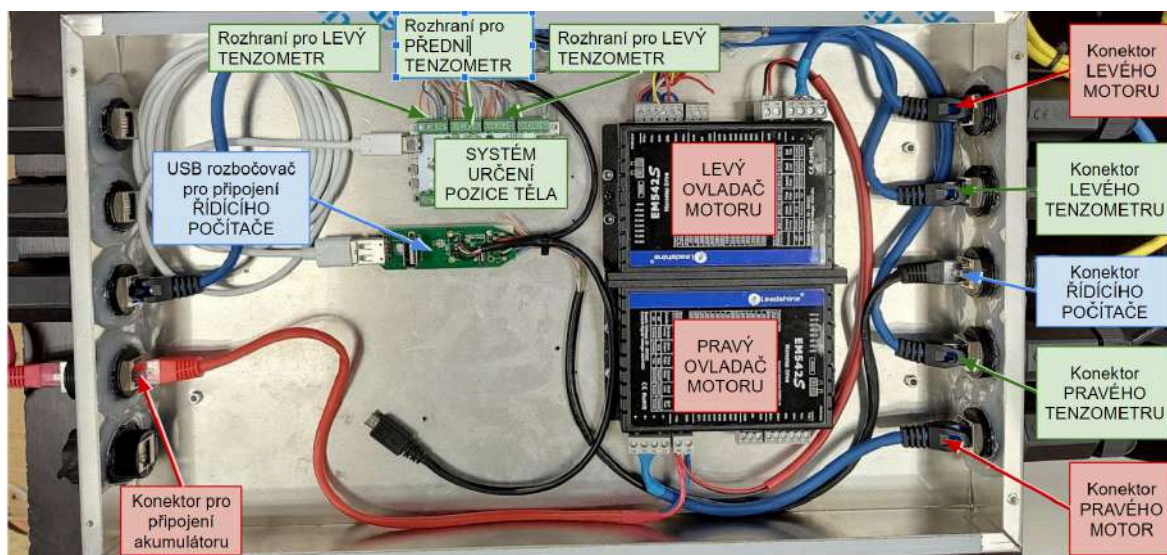
Komunikace SYSTÉMU URČENÍ POZICE TĚLA s ŘÍDÍCÍM POČÍTAČEM probíhá přes komunikační protokol Modbus. Modbus je komunikační protokol typu klient-server. API v programovacím jazyku Python je dostupné v repozitáři smartmob_cps-api. Subsystem pohonu zabírá významnou část hlavní rozvodné skříně. V rozvodné skříně jsou umístěny jednotlivé ovladače:

- LEVÝ OVLADAČ MOTORU realizovaný jednotkou typu EM542S je propojen s motorem konektorem LEVÉHO MOTORU,
- PRAVÝ OVLADAČ MOTORU realizovaný jednotkou typu EM542S je propojen s motorem konektorem PRAVÉHO MOTORU,
- KOPROCESOR POHYBU je realizován řídicí jednotkou postavenou na mikrokontroléru STM32 který je připojen k USB rozbočovači ŘÍDÍCÍHO POČÍTAČE,

Komunikace mezi KOPROCESOREM POHYBU a ŘÍDÍCÍM POČÍTAČEM probíhá pomocí komunikačního rozhraní Modbus skrze USB2 rozhraní. Pro ovládání se používá API v programovacím jazyku Python dostupné v repozitáři smartmob_cps-api. K ovládání driveru krokového motoru EM542S pomocí KOPROCESOR POHYBU se používají řídicí signály, jako jsou krokové pulzy, signál směru, signály pro zapnutí a vypnutí napájení motoru. K ovládání pohybu krokového motoru slouží krokové pulzy. KOPROCESOR POHYBU generuje sérii pulzů s definovanou frekvencí a délkou. Pro určení směru pohybu krokového motoru se v driveru používá tzv. signál směru. Tento signál určuje, zda se motor bude pohybovat ve směru hodinových ručiček (CW - Clockwise) nebo proti směru hodinových ručiček (CCW - Counterclockwise). Přepnutím signálu směru lze změnit směr pohybu krokového motoru

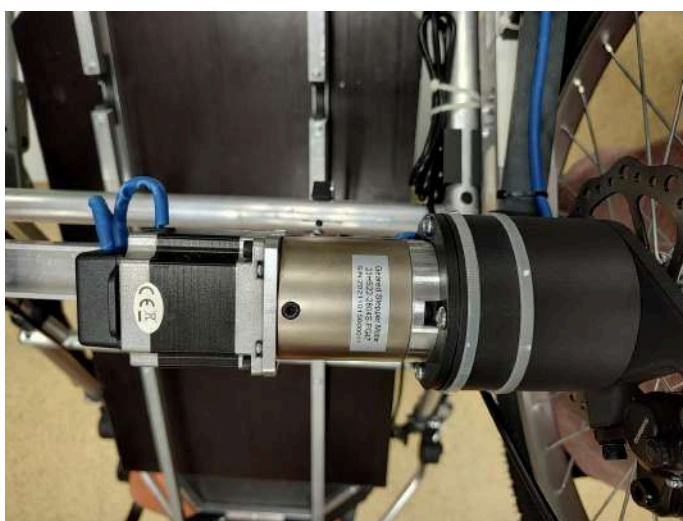


Obr. 7: Funkční vzorek realizované konstrukce vozíku s jednotlivými elektronickými bloky.



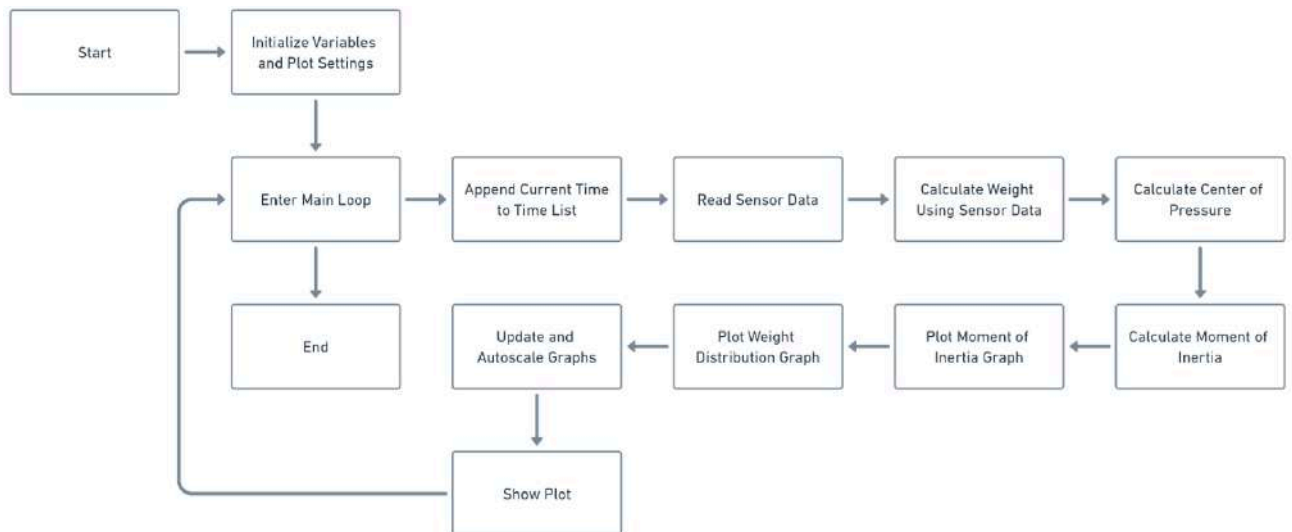
Obr. 8: Detail hlavní rozvodné skříně s elektronickými bloky funkčního vzorku vozíku.

Oba motory pohánějící vozík jsou umístěny ve speciálně navržených přírubách, které umožňují instalaci motorů osazených, dle potřeby, různými převodovými skříněmi. Vodiče z motoru jsou v malém rozvodovém pouzdru připojeny k ethernet kabelu, kterým je motor připojen do konektoru PRAVÉHO MOTORU a konektoru LEVÉHO MOTORU v hlavní rozvodné skříně. Jsou použity samozhášivé (IEC60332-1-2) kabely U/UTP kategorie 6a s průřezem vodičů 24AWG s podporou PoE 100 W. Každý ze 4 vodičů motoru je připojen na jeden kroucený pár. Kabely jsou osazeny konektory RJ45 (typ samec).



Obr. 9: Detail motoru s převodovou skříní umístěný v přírubě motoru pravého kola.

Pro potřeby určení polohy těžiště uživatele byly využity data z trojice siloměrných snímačů umístěných ve třech konstrukčních bodech nacházejících se nad koly vozíku.



Obr. 10 : Diagram připojení a zobrazení dat ze siloměrných snímačů

Siloměrné tenzometrické snímače poskytují informaci o zatížení, přičemž při znalosti vzájemné pozice těchto snímačů je možné za využití metody výpočtů momentů sil vypočítat výslednou polohu kolmému průmětu těžiště do roviny snímačů:

$$F_{total} = F_1 + F_2 + F_3,$$

$$M_x = \frac{\left(\frac{a}{2}\right) \cdot (F_2 - F_1)}{F_{total}},$$

$$M_y = \frac{\left(\frac{b}{2}\right) \cdot (F_3 - (F_1 + F_2))}{F_{total}},$$

kde:

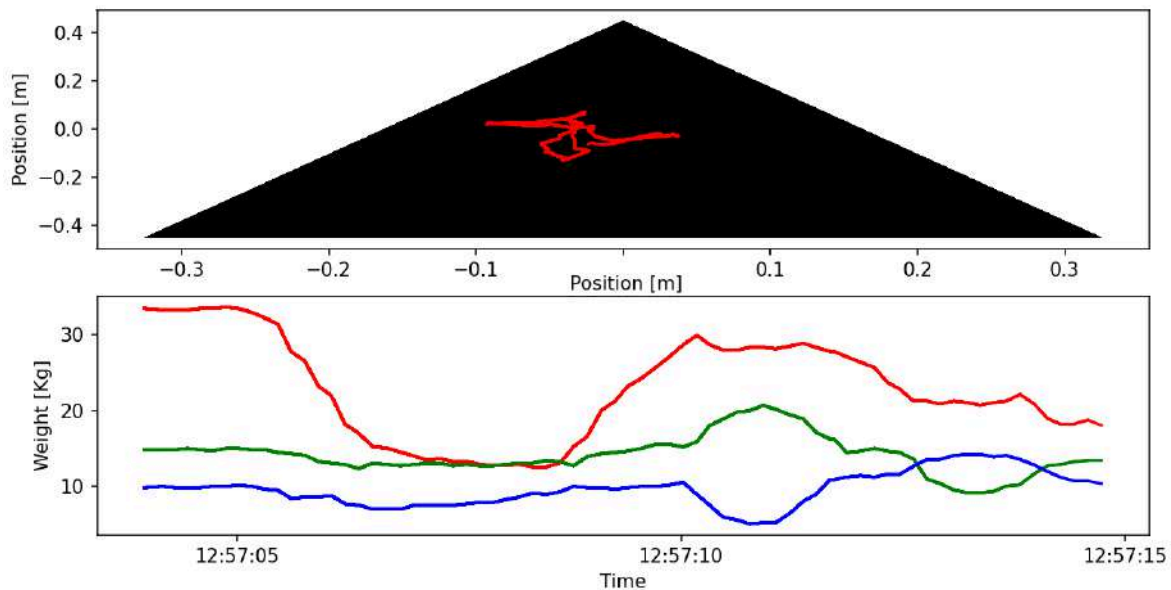
F_1 – zatížení levého zadního snímače

F_2 – zatížení pravého zadního snímače

F_3 – zatížení předního snímače

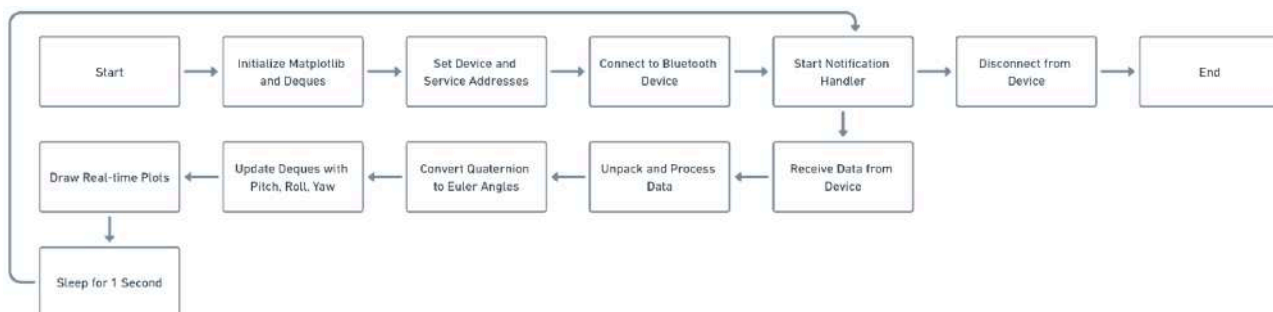
a – vzdálenost mezi levým zadním a pravým zadním snímačem

b – kolmá vzdálenost mezi předním snímačem osou tvořenou zadními snímači



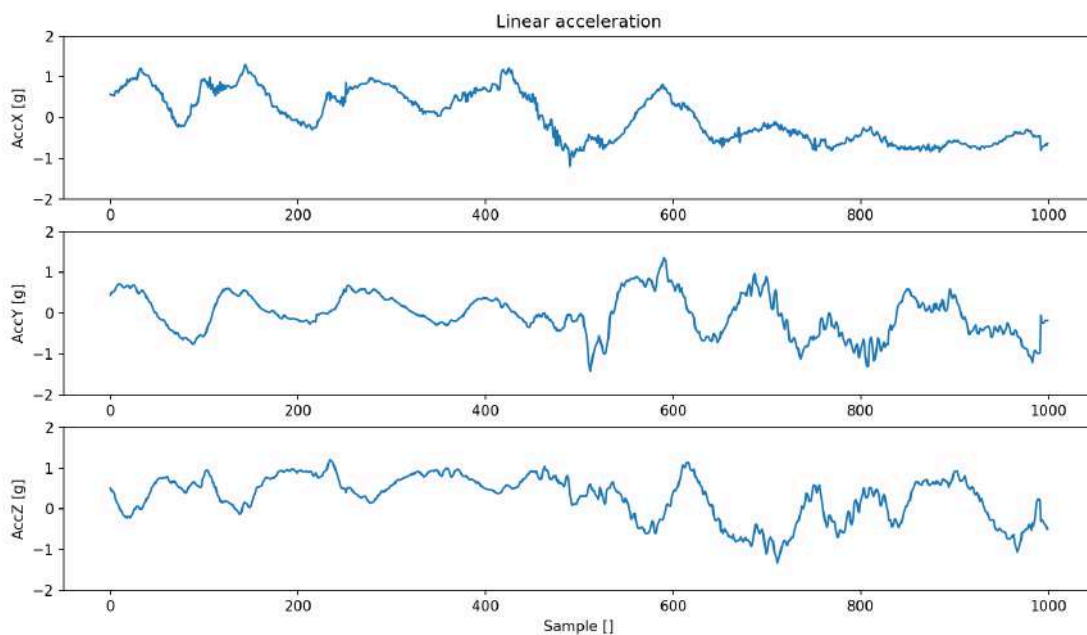
Obr. 11 : Zobrazení kolmého průmětu těžiště do roviny siloměrných snímačů konstrukce vozíku včetně rozložení zatížení na jednotlivé snímače

Pro potřeby monitoringu pohybu uživatele a vozíku byla dále využita data z navrženého gyro-akcelerometrického 9DoF snímače pro měření změn polohy a orientace vybraného segmentu těla.

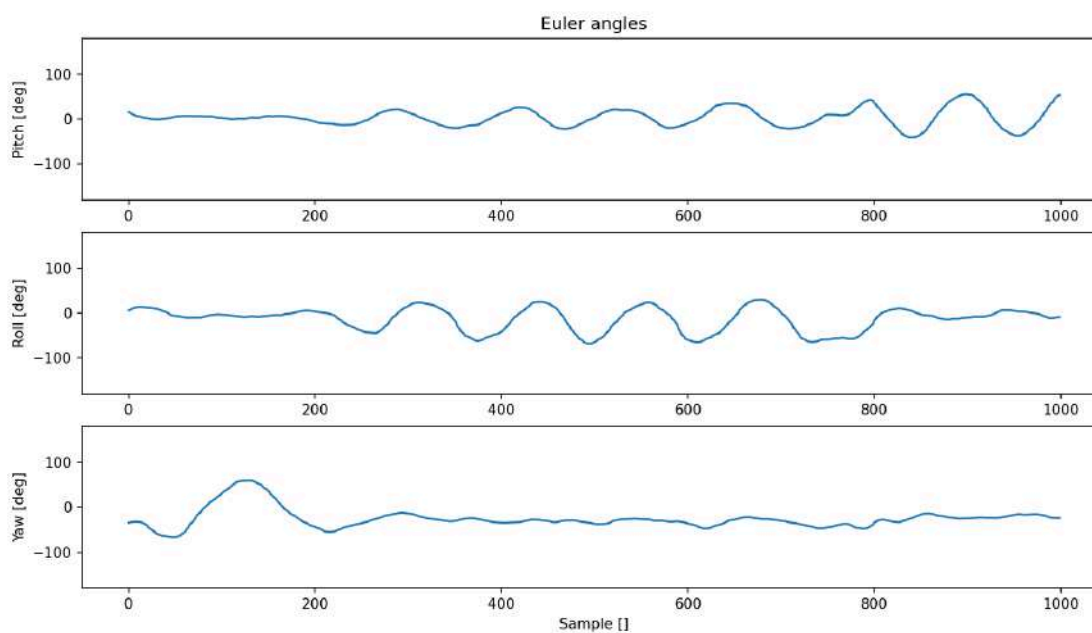


Obr. 12: Diagram připojení a zobrazení dat z BLE 9DoF snímače

Gyro-akcelerometrický 9DoF snímač poskytuje data o lineárním zrychlení v osách X, Y, Z a normalizovaných kvaternionech, které jsou následně převedena na Eulerovské úhly v zemském souřadném systému. Data jsou dále využívána pro hodnocení aktivity segmentů resp. vozíku.



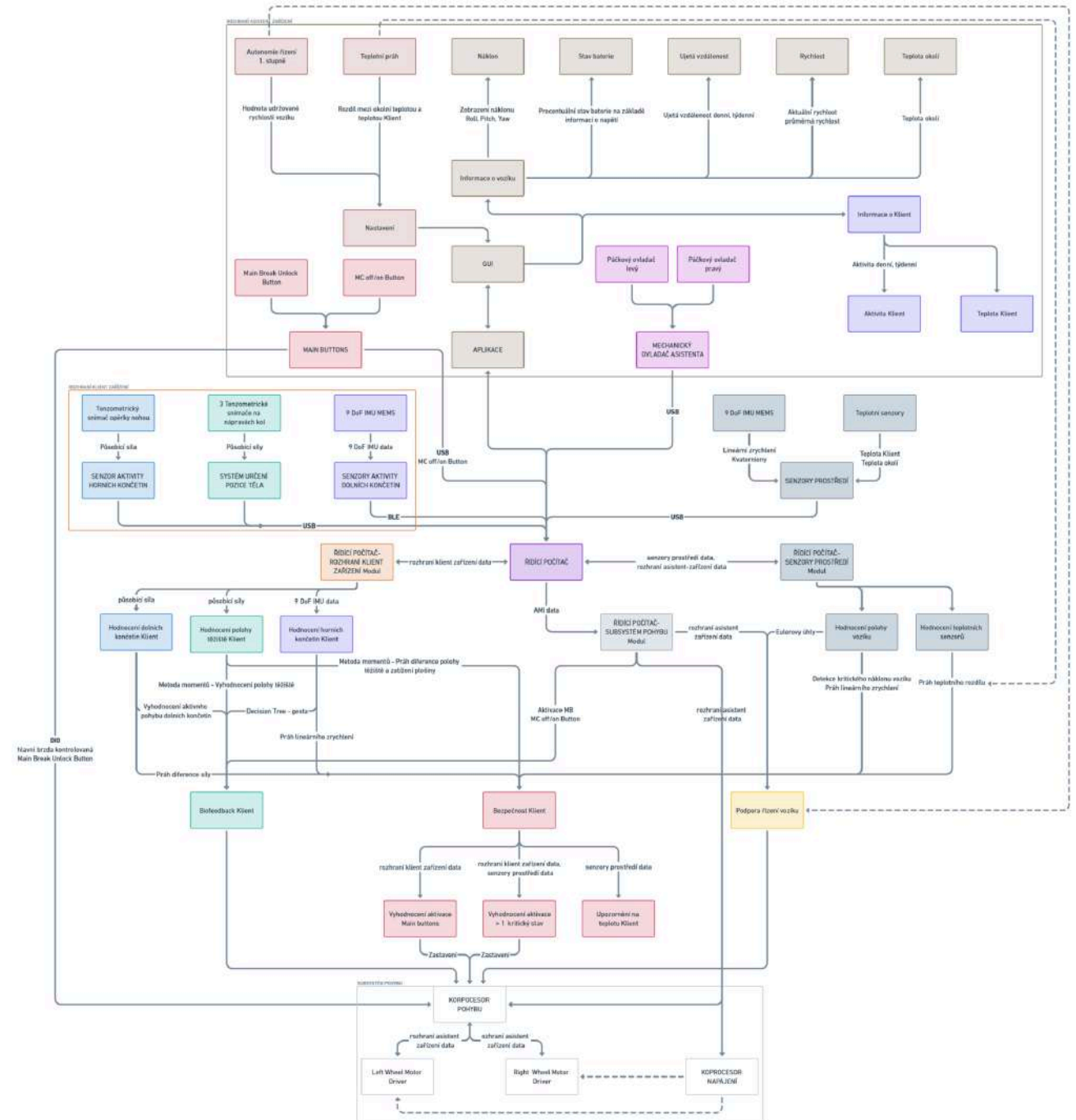
Obr. 13 : Ukázka záznamu lineárního zrychlení měřeného gyro-akcelerometrickým snímačem



Obr. 14 : Ukázka určených Eulerových úhlů gyro-akcelerometrickým snímačem

Pro úlohu rozpoznávání gest z dat gyroakcelerometru se typicky využívají metody strojového učení, konkrétně model rozhodovacího stromu, což je interpretovatelná a rychlá metoda umělé inteligence. Podmínkou je měření trénovacích dat, na kterých se klasifikátor naučí správně interpretovat gesta, a správná volba vlastností (angl.

features). Učení klasifikátoru může probíhat jak na počítači na základě předem naměřených dat, tak i přímo na mikrořadiči za předpokladu poskytnutí trénovací množiny. Pro trénink modelu na mikrořadiči je použita knihovna TinyDecisionTreeClassifier, která funguje ve frameworku Arduino a umožňuje rychlou a jednoduchou práci s rozhodovacími stromy.



Obr. 14 : Konceptuální diagram chytrého vozíku

chytrého vozíku pro pohybově postižené děti, projektu FW04020071 TAČR TREND, který byly uskutečněny členy projektového týmu. Za vývojem funkčního vzorku bezprostředně nenásleduje nultá série či sériová nebo hromadná výroba. Jedná se o návrh, vývoj a následnou výrobu unikátního zařízení nesoucího novou unikátní a zároveň hospodářsky významnou vlastnost. Funkční vzorek je charakteristický novostí a unikátností návrhu, která je doložitelná touto dokumentací výsledku.