

Wearable system for measuring the condition of the musculoskeletal system

TM04000062-V1

Autor:

Ing. et Ing. Jan Hejda, Ph.D., (ČVUT),
Ing. Petr Volf, Ph.D. (ČVUT),
Ing. Marek Sokol, (ČVUT)
doc. Ing. Patrik Kutílek, Ph.D., (ČVUT),
Ing. Leová Lydie (ČVUT)
Mgr. Miroslav Rozložník, PhD. (Hydronaut Project a.s.)
Jiří Schneider (Hydronaut Project a.s.)
František Veselý (Hydronaut Project a.s.)
Stanislav Smolaga (Hydronaut Project a.s.)

Číslo projektu: TM04000062

Identifikační číslo výsledku: TM04000062-V1

Typ výsledku: Gfunk

Odpovědný pracovník: Mgr. Miroslav Rozložník, PhD.

PRAHA, PROSINEC 2024

Jazyk výsledku: CZE

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

Uplatněn: ANO

Název výsledku česky:

Nositelný systém pro měření stavu pohybového aparátu

Název výsledku anglicky:

Wearable system for measuring the condition of the musculoskeletal system

**Popis výstupu/výsledku z návrhu projektu TM04000062 TAČR
4.VS DELTA 2:**

Malé nositelné zařízení, které je navrženo pro kontinuální sběr, předzpracování a bezdrátový přenos naměřených pohybových a EMG dat v reálném čase. Systém využívá soustavu senzorů umístěných na vybraných tělesných segmentech uživatele a integrovaných do konstrukce cvičebního zařízení. Tyto snímače umožňují přesné monitorování parametrů pohybu a svalové aktivity v prostředí ICE během prováděných cvičení. Shromážděná data slouží jako podklad pro biomedicínská vyšetření zaměřená na hodnocení silové aktivity svalů a analýzu funkčního stavu pohybového aparátu.

Abstrakt k výsledku česky:

Funkční vzorek malého nositelného zařízení, které umožňuje zaznamenávat, předzpracovávat a odesílat naměřená data pohybová a EMG v reálném čase. Senzory umístěné na vybraných segmentech těla umožňují sledování pohybových dat v prostředí ICE při cvičení, dále umožňují senzory monitorování EMG signálu a tímto umožňují sledovat silovou aktivitu svalů v prostředí ICE během cvičení. Zařízení je charakteristické konstrukcí umožňující souběžné monitorování pohybových dat a EMG signálů pro další vyhodnocení fyzického stavu subjektu v ICE prostředí.

Abstrakt k výsledku anglicky:

A functional prototype of a small wearable device that enables real-time recording, pre-processing, and transmission of motion and EMG data. Sensors placed on selected body segments enable the

monitoring of movement data in the ICE environment during exercise. The sensors also enable the monitoring of EMG signals, thereby tracking muscle strength activity in the ICE environment during exercise. The device is characterized by a design that enables the simultaneous monitoring of movement data and EMG signals for further evaluation of the subject's physical condition in the ICE environment.

Klíčová slova česky:

pohybová aktivita, trénink, IMU, EMG, ICE prostředí

Klíčová slova anglicky:

physical activity, training, IMU, EMG, ICE environment

Vlastník výsledku:

České vysoké učení technické v Praze (IČO 68407700) - 40%,
Hydronaut Project a.s. (IČO 09756761) - 60%,

Lokalizace: Hydronaut Project a.s.

Licence: Ne

Licenční poplatek: Ne

Ekonomické parametry:

Ekonomické parametry funkčního vzorku odpovídají vývojové fázi zařízení a zahrnují zejména náklady spojené s návrhem elektroniky, konstrukcí PCB, testováním senzorických komponent a integrací systému do prostředí ICE. V rámci projektu byla celková výše nákladů zařazena do kategorie do 25 mil. Kč.

Technické parametry:

Technické parametry funkčního vzorku zahrnují vlastnosti elektronických modulů, komunikační rozhraní a výkon zařízení v provozních podmínkách ICE. Hlavní technické charakteristiky:

Počet měřených kanálů EMG: 4

Vzorkovací frekvence EMG: 1000 Hz

Vzorkovací frekvence IMU: 100 Hz

Bezdrátová komunikace: 2.4 GHz (integrovaná flexibilní PCB anténa)

Napájení: Li-Pol baterie 200 mAh, 40×20×3 mm

Rozměr EMG PCB: 40 × 22 mm

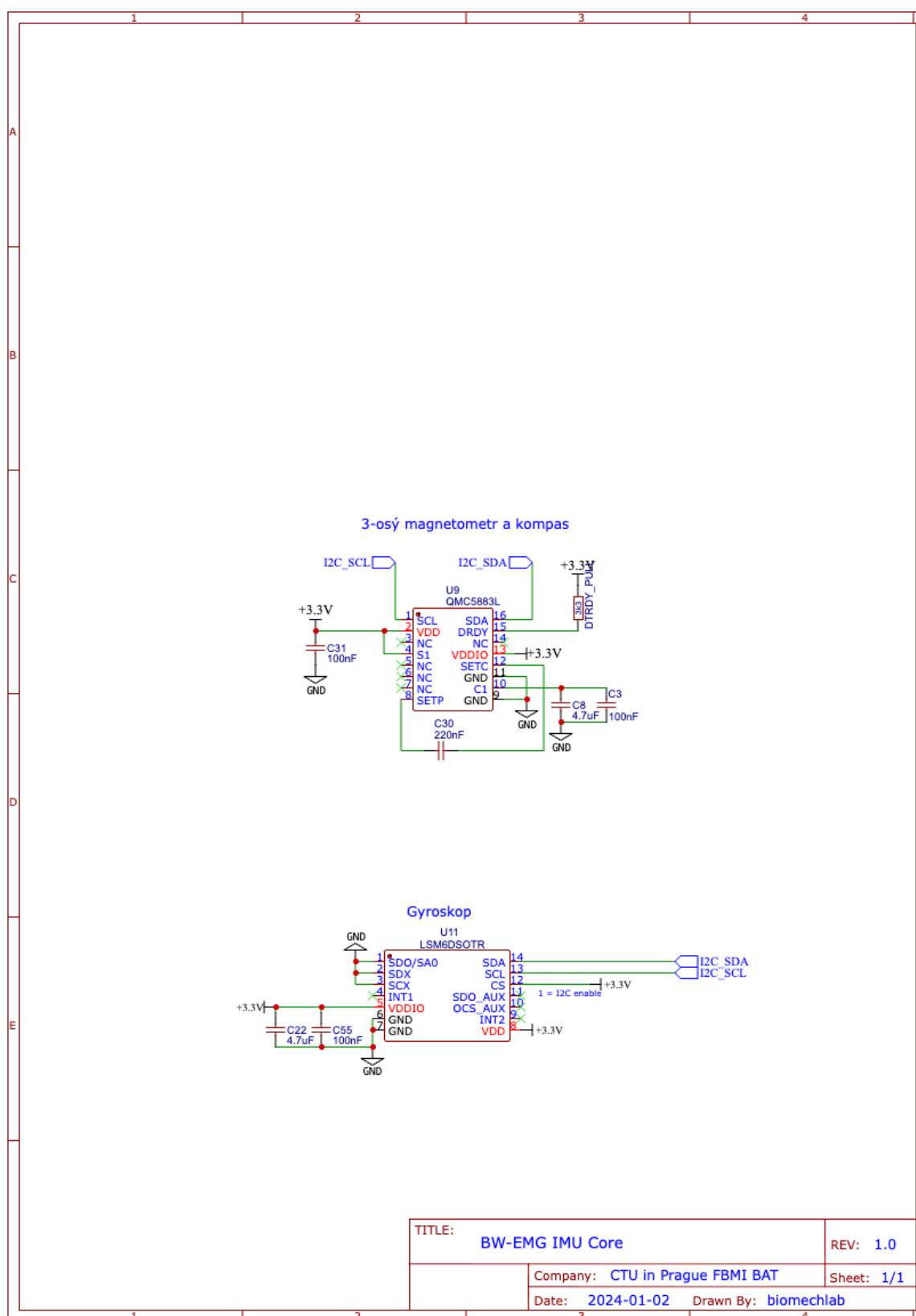
Kategorie nákladů: výše nákladů ≤ 25 mil. Kč.

Popis funkčního vzorku

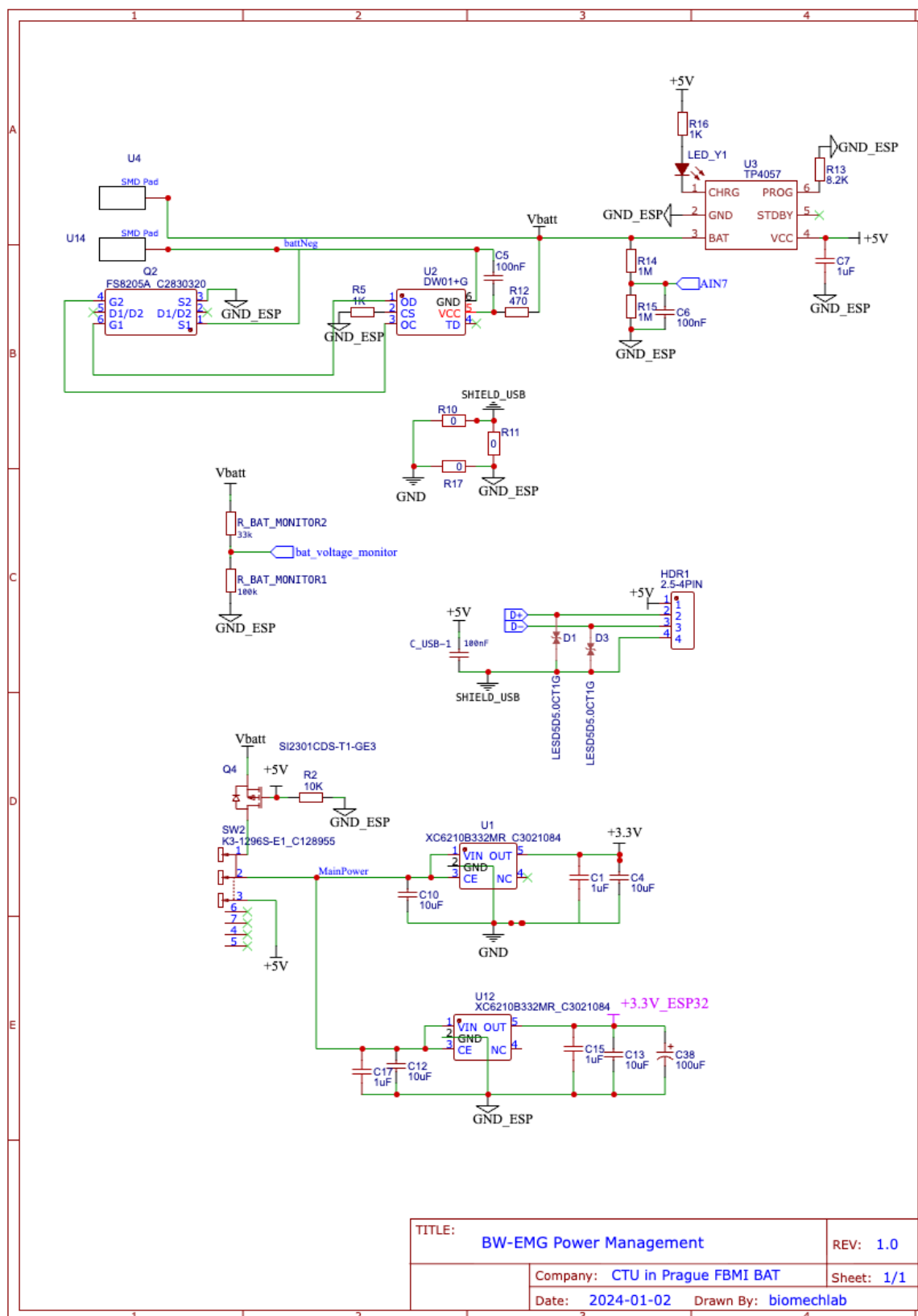
Funkční vzorek Nositelného systému pro měření stavu pohybového aparátu v prostředí ICE (isolated, confined and extreme) byl vyvinut v rámci projektu TM04000062 TAČR 4.VS DELTA 2 v rámci spolupráce mezi Českým vysokým učením technickým v Praze (IČO 68407700) a Hydronaut Project a.s. (IČO 09756761). Jde o zařízení, které umožňuje současně monitorovat EMG signál čtyř vybraných svalových skupin a pohybovou aktivitu čtyř příslušných segmentů těla.

Frekvence záznamu EMG dat je 1000 Hz a 100 Hz u IMU záznamu pohybových dat. V rámci projektu vznikla EMG PCB o velikosti 40mm x 22mm. Hlavní čip je použit ESP32-S3-MINI-1U-N8, který komunikuje se senzory a zpracovává a odesílá data. 2 LED diody jsou určeny pro indikaci stavu senzoru. Senzor dále využívá datové piny USB-C a je připojen přes napěťový dělič na napětí baterie, z důvodu sledování stavu nabití. Analogový zesilovač a ADC měření EMG je typu ADS1292. Senzory pohybu jsou použity gyroskop a akcelerometr typu LSM6DSOTR, který podporuje I2C a SPI, v našem případě je připojeno pomocí I2C. Magnetometer je typu QMC5883L a je připojen přes I2C. Senzory jsou připojeny přes SPI a dále použity pomocné ovládací piny (start, int, reset). 2 vstupy jsou připojené přes frekvenční filtry na elektrody, nepoužívaný vstup je připojen na střední hodnotu napětí systému. Součástí je také flexibilní PCB anténa na 2.4GHz. Připojný bod USB-C je pro datovou komunikaci a zajišťuje nabíjení. Připojeny jsou také kondenzátory pro stabilizaci a ochranné diody. Konkrétně je využit DW01 ochranný obvod pro lithium-iontové baterie. MOSFET je typu FS8205A a slouží pro odpojení baterie při pokynu DW01. Lineární nabíjecí obvod je TP4057 pro Li-ion baterie, a umožňuje nabíjení pomocí konstantního proudu. Regulátor napětí typu XC6210B332MR je s nízkým úbytkem a stabilizuje napětí na 3.3V na vstupu do systému. Baterie jsou použity typu 200mAh, Li-po, rozměry 40x20x3 mm.

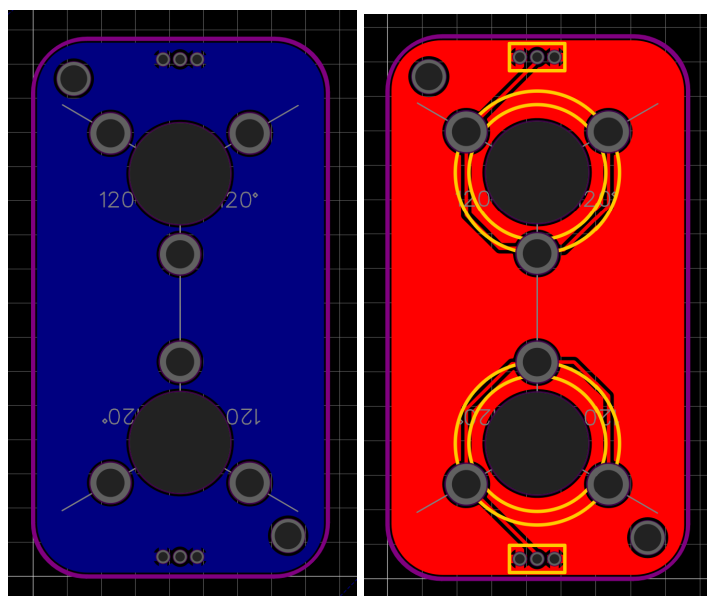




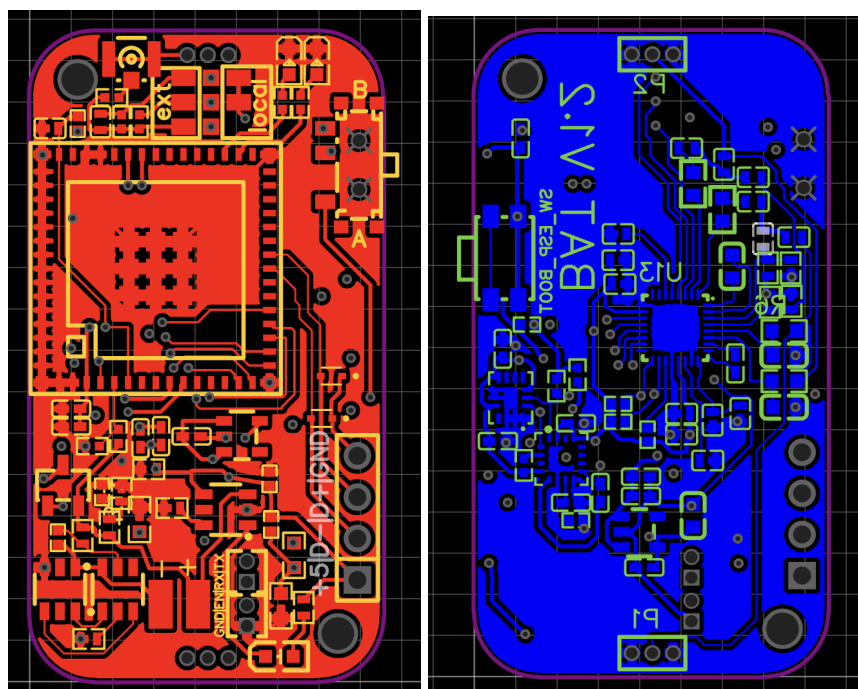
Obr.2: Zapojení IMU a magnetometru



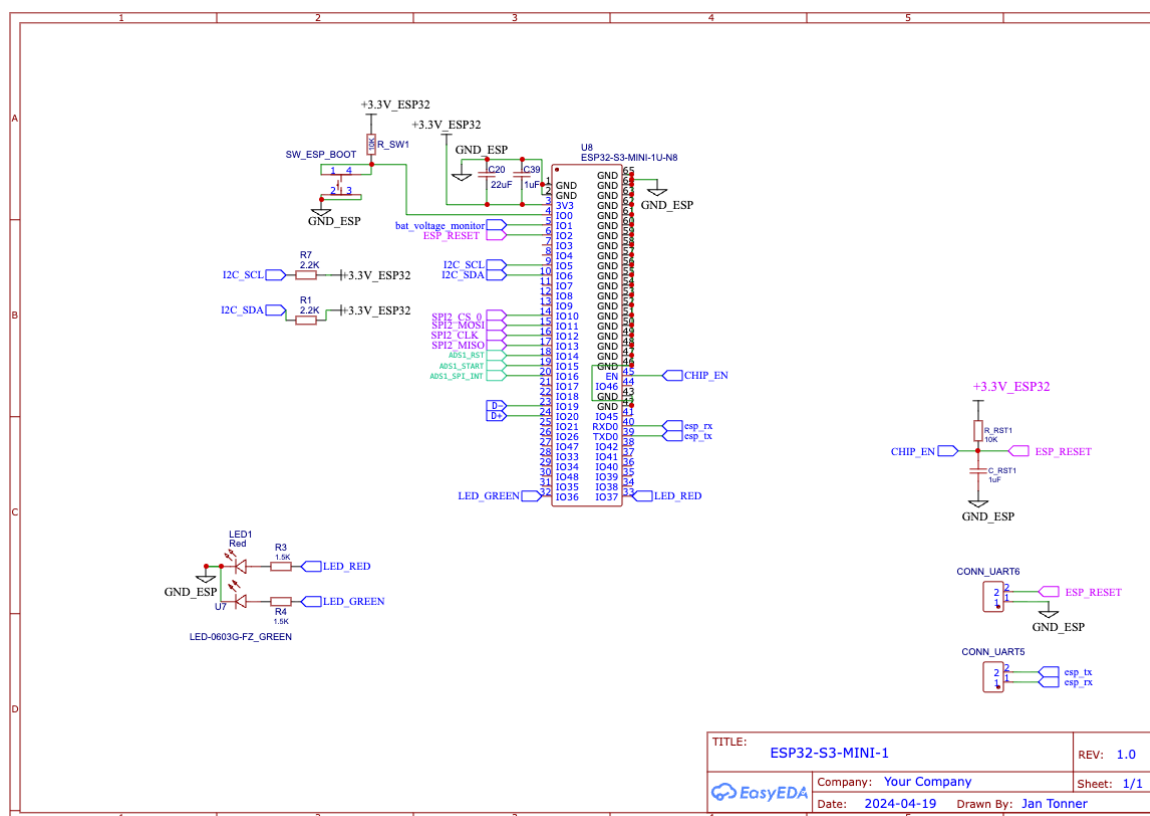
Obr.3: Schéma zapojení napájení



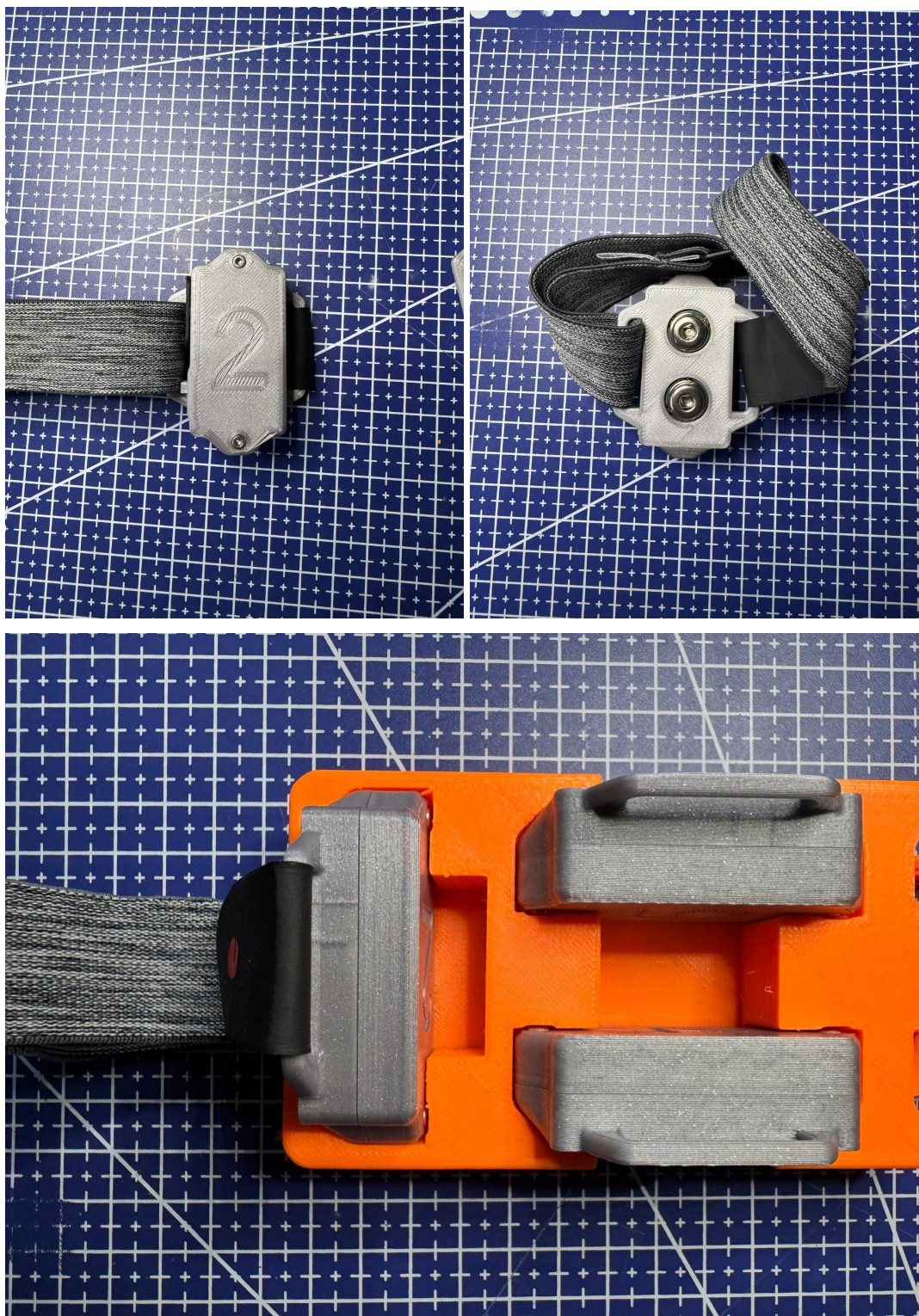
Obr.4: Schéma umístění elektrod v nové PCB



Obr.5: Schéma nové PCB

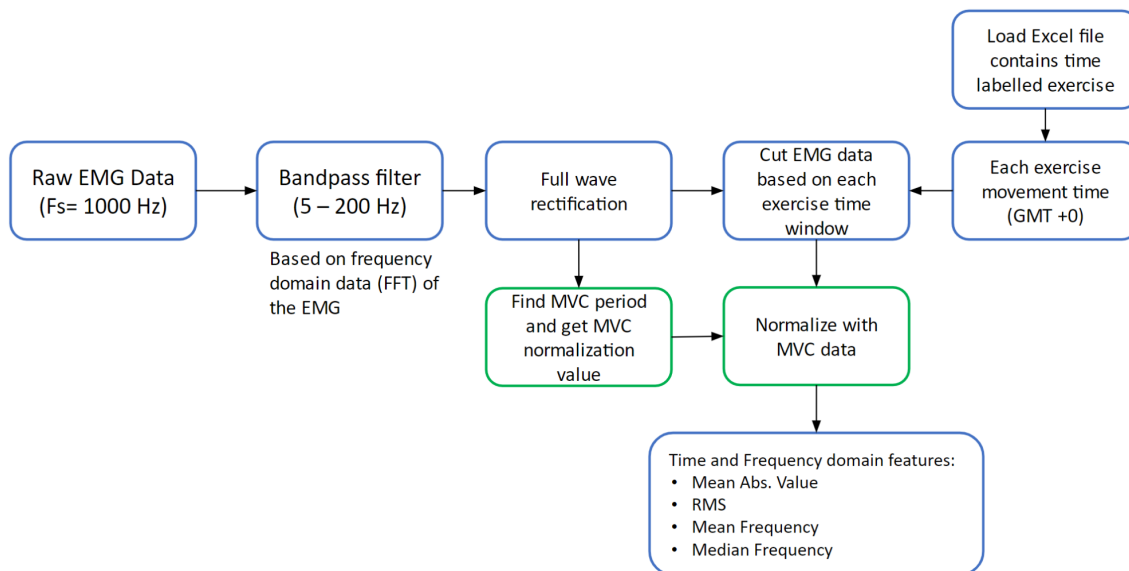


Obr.6: Schéma zapojení hlavního čipu



Obr.7: Ukázka finální realizace funkčního vzorku

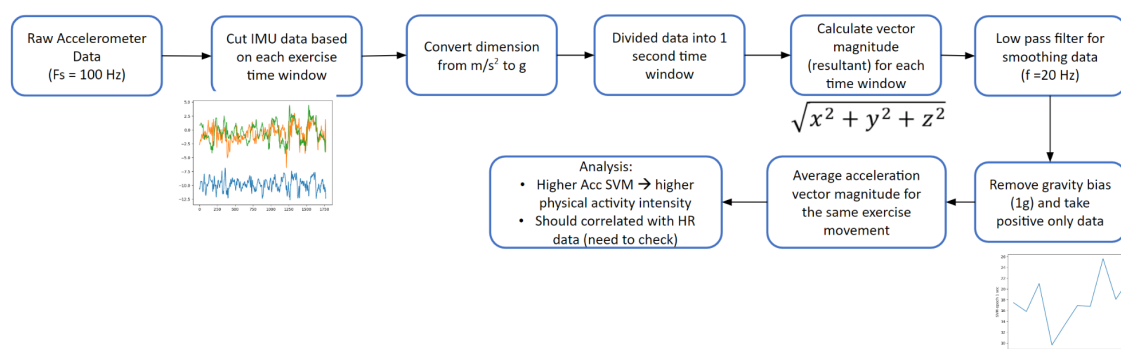
V rámci testování byla měřena data z EMG senzoru a IMU přenášena bezdrátově do PC a následně ukládána a zobrazována na monitoru PC. Záznam a zpracování EMG je dle diagramu obr. 8.



Obr.8: Diagram zpracování EMG dat v PC.

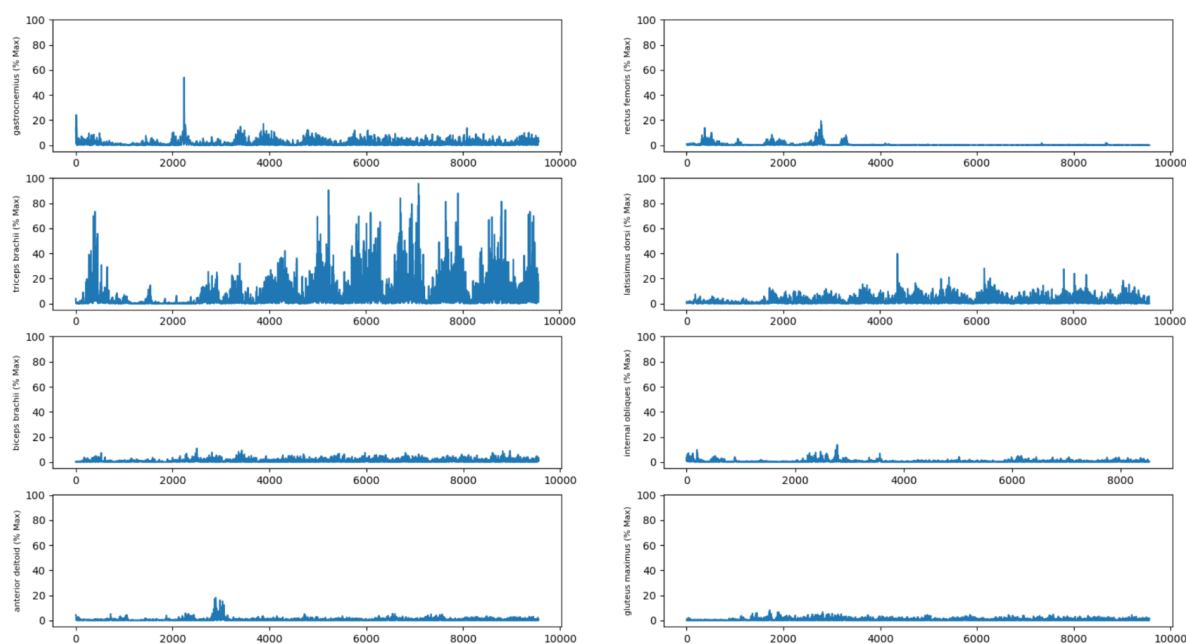
Určované a hodnocené parametry EMG dat na PC následně jsou: RMS, MAV (mean absolute value), IEMG (area under the curve of the rectified EMG signal), meanfreq, medianfreq.

Záznam a zpracování dat z IMU je uveden na Obr. 9.

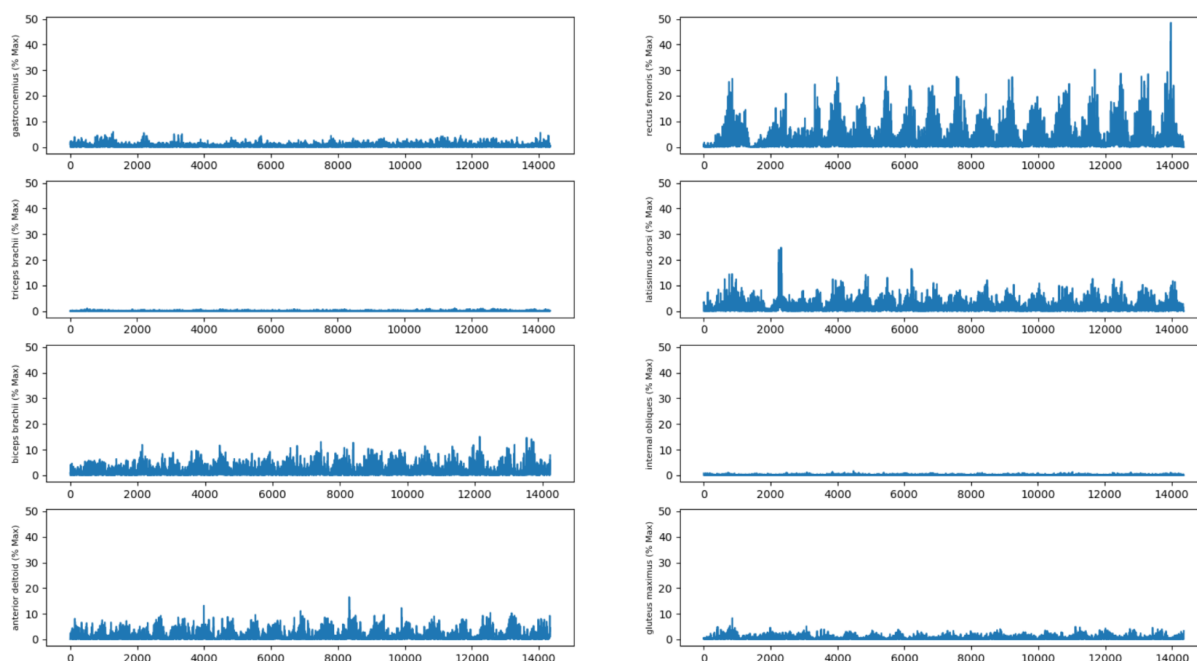


Obr.9: Diagram zpracování dat z IMU v PC.

Triceps hands on ground_Normalized_EMG DATA 2024-04-20T12-17



Wide continue bottom half squats_Normalized_EMG DATA 2024-04-20T12-17



Obr.10: Ukázka výsledku normalizace dat oproti MVC (maximální volní kontrakce) pro specifické svaly během opakovaných cyklických pohybů při simulovaném tréninku.

Funkční vzorek nositelného systému pro měření stavu pohybového aparátu odráží současné požadavky na přesné, spolehlivé a zároveň uživatelsky komfortní monitorování pohybové a svalové aktivity v náročném prostředí ICE. Konstrukce systému zohledňuje anatomii lidského těla, umístění svalových skupin a rozsah předpokládaného pohybu tak, aby senzory během cvičení neomezovaly uživatele a poskytovaly kvalitní a stabilní signál.

Na základě výsledků získaných měření a testováním v rámci projektu proběhla analýza všech zaznamenaných EMG a IMU dat. Tyto poznatky jsou následně promítány do konstrukce a designu funkčního vzorku, čímž došlo k optimalizaci jeho technických parametrů, zvýšení přesnosti měření a zlepšení celkového komfortu při používání zařízení v ICE prostředí.