



Bakalářská práce

**Design zařízení pro měření tremoru
u pacientů s roztroušenou sklerózou ve
spolupráci s FEL ČVUT**

Design of a device for measuring tremor in patients with
multiple sclerosis in collaboration with FEL CTU

Autor: Natália Bodnárová

Studijní program: (B) bakalářský

Studijní obor: (B212) Design

Vedoucí: MgA. Martin Tvarůžek

Praha, červen 2022

© Natália Bodnárová

České vysoké učení technické v Praze, 2022

Klíčová slova: *medicínská technika, tremor, roztroušená skleróza, design, elektronické zařízení*

Key words: *medical technology, tremor, multiple sclerosis, design, electronic device*



FAKULTA
ARCHITEKTURY
ČVUT V PRAZE

2/ ZADÁNÍ bakalářské práce

jméno a příjmení: Natália Bodnárová

datum narození: 6.12.1999

akademický rok / semestr: 2021/22, letní semestr

obor: Design

ústav: Ústav designu

vedoucí bakalářské práce: MgA. Martin Tvarůžek

téma bakalářské práce: Elektronické zařízení

viz přihláška na BP

zadání bakalářské práce:

1/ popis zadání projektu a očekávaného cíle řešení

Design zařízení pro měření tremoru u pacientů s roztroušenou sklerózou ve spolupráci s FEL ČVUT

2/ popis závěrečného výsledku, výstupy a měřítka zpracování

Analytická část, formulace vize, tvůrčí část, finální návrh – vizualizace a model

3/ seznam případných dalších dohodnutých částí BP

Portfolio 2x (A3 na šířku)

Výkres

Plakát

Model v měřítku

1 x CD elektronická data BP

Datum a podpis studenta 23.2.2022

Datum a podpis vedoucího DP 23.2.2022

registrováno studijním oddělením dne

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta architektury	
Autor: Natália Bodnárová Akademický rok / semestr: AR 2021/22, letní semestr Ústav číslo / název: 15150 Ústav designu Téma bakalářské práce - český název: Design zařízení pro měření tremoru u pacientů s roztroušenou sklerózou ve spolupráci s FEL ČVUT Téma bakalářské práce - anglický název: Design of a device for measuring tremor in patients with multiple sclerosis in collaboration with FEL CTU Jazyk práce: český	
Vedoucí práce:	MgA. Martin Tvarůžek
Oponent práce:	Ing. David Semrád
Klíčová slova (česká):	Medicínská technika, tremor, roztroušená skleróza, design, elektronické zařízení
Anotace (česká):	Předmětem bakalářské práce je design zařízení TremLog, které slouží k měření tremoru u pacientů s roztroušenou sklerózou a je vyvíjeno Fakultou elektrotechniky ČVUT v Praze. Cílem práce byl návrh a realizace funkčního medicínského zařízení, jenž bude splňovat požadavky na ergonomii, uživatelský komfort a adekvátní estetiku. Finální design přístroje spočívá ve vytvoření kompaktní řídicí jednotky s integrovaným organizérem pro uskladnění pěti nově navržených senzorů na tělo. Celý návrh je založen na využití technologie 3D tisku a svým konstrukčním řešením zohledňuje potřebu rozebíratelnosti a univerzality senzorů.
Anotace (anglická):	The subject of the bachelor thesis is the design of the TremLog device, which is used to measure tremor in patients with multiple sclerosis and is developed by the Faculty of Electrical Engineering at the CTU in Prague. The thesis aimed to design and create a functional medical device that meets the requirements for ergonomics, user comfort and adequate aesthetics. The device's final design consists of developing a compact control unit with an integrated organiser for the storage of five newly-designed wearable body sensors. The entire design is based on the use of 3D printing technology and its structure takes into account the need for disassembly and versatility of the sensors.

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s „Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“

V Praze dne 19.5.2022


Podpis autora bakalářské práce

PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych poděkovat vedoucímu práce MgA. Martinovi Tvarůžkovi a asistentovi ateliéru Ing. Tomášovi Blahovi za cenné rady a podnětné myšlenky při zpracování mé bakalářské práce. Zároveň děkuji Ing. Janu Havlíkovi PhD. za námět bakalářské práce a za vytvoření prostoru pro spolupráci s Fakultou elektrotechniky ČVUT.

ANOTACE

Předmětem bakalářské práce je design zařízení TremLog, které slouží k měření tremoru u pacientů s roztroušenou sklerózou a je vyvíjeno Fakultou elektrotechniky ČVUT v Praze.

Cílem práce byl návrh a realizace funkčního medicínského zařízení, jenž bude splňovat požadavky na ergonomii, uživatelský komfort a adekvátní estetiku. Finální design přístroje spočívá ve vytvoření kompaktní řídicí jednotky s integrovaným organizérem pro uskladnění pěti nově navržených senzorů na tělo. Celý návrh je založen na využití technologie 3D tisku a svým konstrukčním řešením zohledňuje potřebu rozebíratelnosti a univerzality senzorů.

ABSTRACT

The subject of the bachelor thesis is the design of the TremLog device, which is used to measure tremor in patients with multiple sclerosis and is developed by the Faculty of Electrical Engineering at the CTU in Prague.

The thesis aimed to design and create a functional medical device that meets the requirements for ergonomics, user comfort and adequate aesthetics. The device's final design consists of a compact control unit with an integrated organiser for the storage of five newly-designed wearable body sensors. The entire design is based on the use of 3D printing technology and its structure takes into account the need for disassembly and versatility of the sensor

OBSAH

1. ÚVOD.....	2
2. ANALYTICKÁ ČÁST	5
2.1. Tremor, příčiny vzniku a diagnostika.....	5
2.2. Původní zařízení pro měření tremoru.....	6
2.3. Uživatelský průzkum	9
2.4. Technické parametry od zadavatele.....	12
2.5. Analýza ergonomie umístění řídicí jednotky	14
3. VÝSTUP ANALÝZY A FORMULACE VIZE.....	22
4. PROCES NAVRHOVÁNÍ A PROTOTYPOVÁNÍ.....	24
4.1. Senzory	24
4.2. Organizér senzorů	30
4.3. Řídicí jednotka	32
4.4. Konstrukčně–technologické řešení řídicí jednotky.....	38
4.5. Finalizace organizéru a senzorů	42
4.6. Označení senzorů a konektorů.....	45
4.7. Logo.....	46
4.8. Světlo.....	47
5. FINÁLNÍ NÁVRH	50
6. TECHNICKÁ DOKUMENTACE	60
6.1. Rozměrový výkres	60
6.2. Elektronika.....	63
6.3. Materiál	64
6.4. Technologie výroby.....	65
7. ZÁVĚR A REFLEXE	66
8. ZDROJE	68
9. PŘÍLOHY	70

1. ÚVOD

Předmětem mé bakalářské práce je design a realizace funkčního zařízení TremLog na měření tremoru u pacientů s roztroušenou sklerózou. Zařízení spadá do kategorie medicínských přístrojů a po realizaci bude potenciálně testováno na Klinice revmatologie a neurologie ve Fakultní Thomayerově nemocnici v Praze.

V průběhu bakalářského studia designu na Fakultě architektury ČVUT v Praze (FA ČVUT) jsem se v jednotlivých ateliérových pracích opakovaně věnovala návrhu elektronických terapeutických pomůcek a medicínské techniky. V tomto segmentu vidím obrovský potenciál pro uplatnění schopností designéra – jako podněcovatele inovace a zprostředkovatele uživatelského komfortu, který dokáže pomoci konkurenceschopnosti produktu a zároveň může mít pozitivní dopad na zdraví uživatele.

Ve snaze vyzkoušet si vývoj inovativního medicínského přístroje v praxi a rozšířit si mé znalosti, jsem se pro svou bakalářskou práci rozhodla navázat mezioborovou spoluprací s Fakultou elektrotechniky ČVUT v Praze (FEL ČVUT). Z vlastní iniciativy jsem oslovila Ing. Jana Havlíka PhD., který na katedře teorie obvodů FEL ČVUT (dále „*zadavatel*“) působí jako vedoucí výzkumného týmu Biomedical Electronics Group zabývající se návrhy biomedicínské elektroniky a zpracováním biomedicínských signálů v oblasti telemedicíny, telemonitoringu a asistenčních technologií (překlad autora).¹ Jedním ze zařízení, které v rámci výzkumné skupiny dlouhodobě vyvíjí je přístroj pro měření tremoru u pacientů s roztroušenou sklerózou. Jde o přístroj, jehož funkční stránku v roce 2017 v rámci své diplomové práce na FEL ČVUT navrhla a realizovala Ing. Iva Hanousková právě pod vedením Ing. Jana Havlíka PhD. Přístroj se od té doby aktivně používá ve Fakultní Thomayerově nemocnici v Praze pro účely měření tremoru u pacientů, kteří podstupují rehabilitace.

Vzhledem k zájmu Ing. Jana Havlíka PhD. přístroj dále vyvíjet se zařízení pro měření tremoru stalo předmětem i mé bakalářské práce, která si klade za cíl návrh a realizaci nové verze zařízení, jenž bude splňovat požadavky na ergonomii a uživatelský komfort. Návrh zároveň bude zohledňovat technické možnosti, specifika prostředí, ve kterém bude instalován a adekvátní estetiku.

Realizace funkčního prototypu zařízení byla umožněna díky intenzivní spolupráci Ing. Martinem Němcem – studentem oboru medicínské techniky na FEL ČVUT, jehož diplomová práce s názvem *Návrh a realizace zařízení pro snímání*

¹ Biomedical Electronics Group [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <http://bmeg.fel.cvut.cz/>

tremoru měla za cíl „využít ověřené funkční principy, eliminovat nevýhody předchozího řešení a přidat nové prvky funkcionality, které usnadní práci s přístrojem.“² Nová verze zařízení s pracovním označením TremLog – spojení slov tremor a logger (přístroj pro ukládání dat)³ je výsledkem našeho společného snažení, propojování vědomostí a zohledňování, jak technologických parametrů, tak i ekonomických požadavků zadavatele.

V průběhu tvorby návrhu jsem postupovala podle metodiky, kterou jsem si osvojila v rámci bakalářského studia Designu na FA ČVUT:

1. Analytická část

Nejprve jsem si pečlivě nastudovala danou problematiku a výsledky práce mých předchůdců. Následně jsem provedla rozhovor s potenciálními uživateli a pomocí videozáznamu ilustračního měření jsem analyzovala ergonomii původního přístroje s cílem identifikovat místa pro zlepšení.

Na základě zjištění z ergonomické analýzy a parametrů zadavatele jsem pomocí zjednodušených papírových prototypů zkoumala ergonomii umístění přístroje.

2. Výstup analýzy a formulace vize

Poznatky z analytické části mi pomohly zformulovat požadavky na finální design.

3. Proces navrhování a prototypování

V procesu navrhování jsem postupně do detailu rozvíjela design přístroje. Pomocí skic, papírových modelů, počítačových vizualizací a 3D tištěných prototypů jsem ověřovala jednotlivé varianty se zaměřením na funkčnost, ergonomii a estetiku.

² NĚMEC, Martin, 2022. *Návrh a realizace zařízení pro snímání tremoru*. Praha. Diplomová práce. FEL ČVUT v Praze. Vedoucí práce Ing. Jan Havlík, Ph.D., str. 9 (nepublikováno)

³ NĚMEC, Martin, 2022. *Návrh a realizace zařízení pro snímání tremoru*. Praha. Diplomová práce. FEL ČVUT v Praze. Vedoucí práce Ing. Jan Havlík, Ph.D., str. 9 (nepublikováno)

4. Finalizace návrhu

V poslední části jsem finalizovala konstrukčně-technologické detaily s cílem vyrobit funkční přístroj s použitím elektroniky, kterou navrhl a realizoval Ing. Martin Němec.

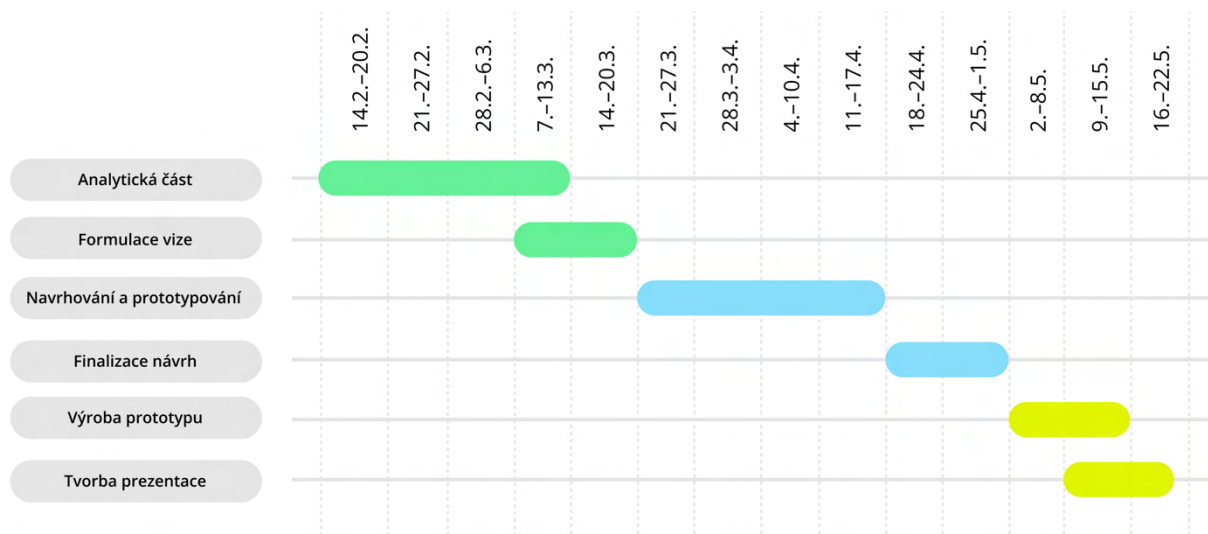
5. Výroba prototypu

V poslední fázi jsem se věnovala realizaci návrhu s cílem vytvořit za pomoci 3D tisku prototyp zařízení s povrchovou úpravou vhodnou pro testování v nemocničním prostředí.

6. Tvorba prezentace

Na závěr jsem připravila dokumenty pro prezentaci finálního návrhu včetně textu bakalářské práce, technické dokumentace a fotografií produktu.

Konkrétní časový harmonogram projektu je uveden v následujícím diagramu:



Obr. 01: Časový harmonogram bakalářské práce, archiv autora, 2022

2. ANALYTICKÁ ČÁST

V rámci analytické části jsem se věnovala porozumění problematice měření tremoru, základnímu popisu zařízení navrženého a realizovaného Ing. Ivou Hanuskovou v roce 2017 a uživatelskému průzkumu používání zařízení v ordinaci. Na základě získaných informací jsem dále analyzovala ergonomii variant umístění přístroje s cílem definování vize pro proces navrhování.

2.1. Tremor, příčiny vzniku a diagnostika

Zařízení, které je předmětem bakalářské práce, je určeno k měření tremoru u pacientů s roztroušenou sklerózou, přičemž jeho první verze z roku 2017 se již pátým rokem používá na Klinice revmatologie a rehabilitace Fakultní Thomayerovy nemocnice v Praze.⁴ Naměřená data slouží ke zhodnocení úspěšnosti rehabilitace pacientů v rámci studie s názvem *Virtuální realita ve fyzioterapii nemocných s roztroušenou sklerózou – cesta k zefektivnění plastických a adaptačních procesů mozku*.⁵

„Tremor (třes) je rytmický mimovolní oscilační pohyb částí těla způsobený střídavými tahy recipročně inervovaných svalů.“⁶ Tremor obecně dělíme na klidový a akční. Klidový tremor se objevuje v klidové poloze bez vědomé aktivace, zatímco akční třes lze zaznamenat při vědomé aktivaci svalstva. Akční třes dále dělíme na posturální a kinetický. Posturální tremor se objevuje „při vědomém držení části těla vůči působení gravitace“, zatímco ke kinetickému tremoru dochází během pohybu končetiny.⁷

Tremor se vyskytuje u 25 až 60 % pacientů s roztroušenou sklerózou.⁸ Jde o chronické autoimunitní onemocnění postihující centrální nervový systém⁹ a způsobující demyelinizaci – ztrátu myelinu z povrchu axonů.¹⁰ „Příznaky

⁴ HAVLÍK, Jan [ústní sdělení]. Praha, 17.2.2022

⁵ ŘASOVÁ, Kamila. *Protokol studie: Virtuální realita ve fyzioterapii nemocných s roztroušenou sklerózou – cesta k zefektivnění plastických a adaptačních procesů mozku*.

⁶ RŮŽIČKA, Evžen, 2016. *Tremor* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.lf2.cuni.cz/files/page/files/2016/tremor.pdf>

⁷ HLADÍKOVÁ, Hana, 2021. *Klasifikace tremoru u pacientů s roztroušenou sklerózou* [online]. Praha [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/94431/F3-BP-2021-Hladikova-Hana-Klasifikace_tremoru_u_pacientu_s_roztrousenou_sklerozou.pdf?sequence=-1&isAllowed=y. Bakalářská práce. FEL ČVUT v Praze. Vedoucí práce Ing. Jan Havlík, Ph.D., str. 7.

⁸ KOCH, Marcus, et al. Tremor in multiple sclerosis. *Journal of Neurology* [online]. 2007, 254(2), 133-145 [cit. 2022-05-19]. ISSN 1432-1459. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1915650/>

⁹ *Co je to RS? In: Www.erestymcr.cz* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.erestymcr.cz/zivot-s-rs/default/co-je-to-rs>

¹⁰ ŠTEFÁNEK, Jiří. Demyelinizace. In: *Www.stefajir.cz* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.stefajir.cz/demyelinizace>

roztroušené sklerózy se většinou objevují u mladých lidí ve věku mezi 20 – 40 lety, ženy jsou postiženy zhruba 2–3x častěji než muži.¹¹ Současná medicína zatím nezná příčinu vzniku nemoci a snaží se ji léčit jedině včasným zahájením protizánětlivé léčby.¹²

Kromě roztroušené sklerózy může být posturální tremor průvodním symptomem i cévní mozkové příhody¹³ – „náhle se rozvíjející postižení určitého okrsku mozkové tkáně vzniklé poruchou jejího prokrvení.“¹⁴

Počátečním krokem fyzikálního vyšetření přítomnosti tremoru je pozorování. Třes by měl být klasifikován podle části těla (paže, hlava), stavu aktivace (kdy je třes přítomen), frekvence (rychlý nebo pomalý) a amplitudy (jemný nebo hrubý).¹⁵ Obecné praktické testy k vyšetření a vyhodnocení tremoru jsou však značně subjektivní. V současné době se zvyšuje význam medicíny založené na důkazech, a proto je třeba objektivizovat vyšetření a hodnocení třesu co nejvíce, jak je to jen možné.¹⁶ Právě z toho důvodu má cenu se věnovat vývoji přístroje, který dokáže lékaři objektivně sdělit míru přítomného třesu.

2.2. Původní zařízení pro měření tremoru

Výchozím bodem návrhu bylo zařízení z roku 2017 navrženo a realizováno Ing. Ivou Hanouskovou v rámci její diplomové práce na FEL ČVUT.¹⁷

Při studiu její diplomové práce s názvem *Návrh a realizace zařízení pro měření tremoru*¹⁸ jsem se zaměřila na použitou technologii, konstrukční řešení, ovládání a navrhovaný postup měření tremoru.

¹¹ Roztroušená skleróza. In: *Www.medimerck.cz* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.medimerck.cz/cz/home/SM/about-SM.html>

¹² HANOUSKOVÁ, Iva, 2017. *Návrh a realizace zařízení pro měření tremoru* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/68622/F3-DP-2017-Hanouskova-Iva-Hanouskova_DP.pdf?sequence=-1&isAllowed=y. Diplomová práce. Vedoucí práce Ing. Jan Havlík, Ph.D., str. 9.

¹³ Cévní mozková příhoda. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9vn%C3%AD_mozkov%C3%A1_p%C5%99%C3%ADhoda

¹⁴ THOMAS, Liji. Tremors Following Stroke. In: *Www.news-medical.net* [online]. 2019 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.news-medical.net/health/Tremors-Following-Stroke.aspx>

¹⁵ SMAGA, Sharon. Tremor. *Am Fam Physician* [online]. 2003, 68(8), 1545-1552 [cit. 2022-05-19]. ISSN 1532-0650. Dostupné z: <https://www.aafp.org/afp/2003/1015/p1545.html>

¹⁶ HAVLÍK, Jan, et al. Design and realization of measuring device for tremor evaluation. *2015 International Workshop on Computational Intelligence for Multimedia Understanding (IWCIM)* [online]. 2015 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: http://bmeg.fel.cvut.cz/wp-content/uploads/2016/02/Havlik-DESIGN_AND_REALIZATION_OF_MEASURING_DEVICE_FOR_TREMOR_EVALUATION.pdf, str.1.

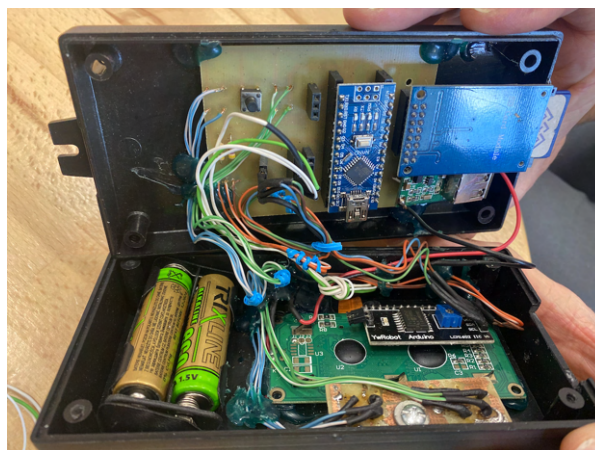
¹⁷ HANOUSKOVÁ, Iva, 2017. *Návrh a realizace zařízení pro měření tremoru* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/68622/F3-DP-2017-Hanouskova-Iva-Hanouskova_DP.pdf?sequence=-1&isAllowed=y. Diplomová práce. Vedoucí práce Ing. Jan Havlík, Ph.D.

¹⁸ HANOUSKOVÁ, Iva, 2017. *Návrh a realizace zařízení pro měření tremoru* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/68622/F3-DP-2017-Hanouskova-Iva-Hanouskova_DP.pdf?sequence=-1&isAllowed=y. Diplomová práce. Vedoucí práce Ing. Jan Havlík, Ph.D.

Řídící jednotka

Původní zařízení se skládá z řídící jednotky a jednoho senzoru na prst, který snímá intenzitu tremoru. Řídící jednotka o velikosti cca 140x70x40 mm se připevňuje na opasek pacienta a obsahuje:

- **Arduino Nano** – napájeno pomocí USB-mini a sloužící i jako komunikace s počítačem.
- **LCD display** – o rozměru 16x2 zajišťující komunikaci s obsluhou.
- **SD slot a SD kartu** – ukládání dat pro pozdější zpracování.
- **3 Tlačítka** – zajišťující ovládání.
- **LED diodu** – signalizace aktivovaného senzoru
- **Měnič** – napájení tužkových baterií.¹⁹



Obr. 2: Řídící jednotka – původní zařízení z roku 2017, archiv autora, 2022

Senzor

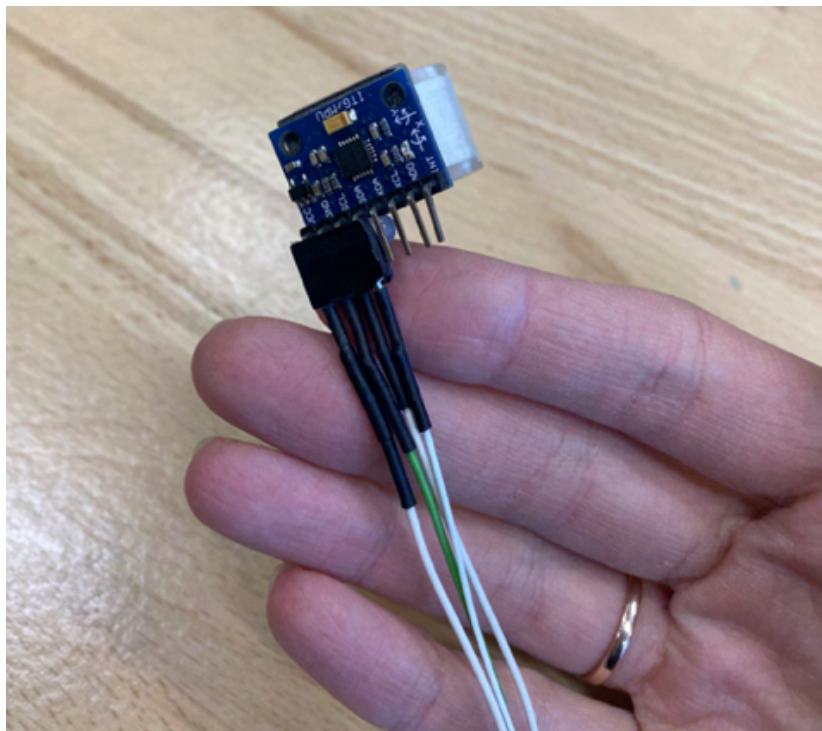
Přístroj provádí měření tremoru pomocí jednoho senzoru, který je připevněný na prstenu univerzální velikosti.²⁰ Pro měření je použitý senzor MPU6050. Tento senzor obsahuje MEMS akcelerometr a MEMS gyroskop na jednom čipu.²¹ Od

¹⁹ HANOUSKOVÁ, Iva, 2017. *Návrh a realizace zařízení pro měření tremoru* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/68622/F3-DP-2017-Hanouskova-Iva-Hanouskova_DP.pdf?sequence=-1&isAllowed=y. Diplomová práce. Vedoucí práce Ing. Jan Havlík, Ph.D., str. 10-19.

²⁰ HANOUSKOVÁ, Iva, 2017. *Návrh a realizace zařízení pro měření tremoru* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/68622/F3-DP-2017-Hanouskova-Iva-Hanouskova_DP.pdf?sequence=-1&isAllowed=y. Diplomová práce. Vedoucí práce Ing. Jan Havlík, Ph.D., str. 8.

²¹ Accelerometer vs Gyroscope sensor, and IMU, how to pick one?, 2020. In: *Www.seeedstudio.com* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.seeedstudio.com/blog/2019/12/24/what-is-accelerometer-gyroscope-and-how-to-pick-one/>

senzoru k zařízení vede tenký, poddajný kabel, s cílem eliminovat otřesy vedoucí od kabelu na senzor.²²



Obr. 3: Senzor MPU6050 – původní zařízení z roku 2017, archiv autora, 2022

Ovládání přístroje

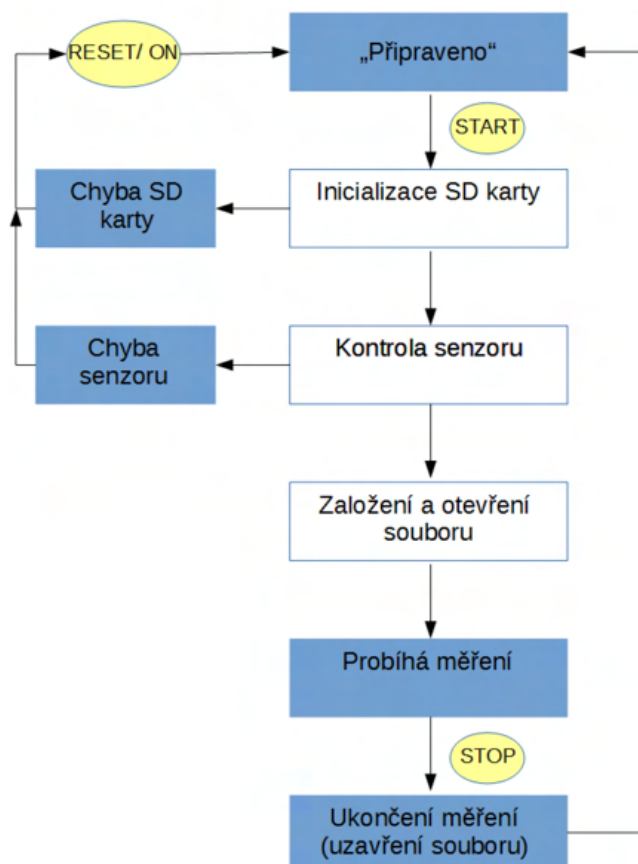
Zařízení je ovládáno tlačítkem START/STOP, které při prvním stisknutí spustí měření a při opětovném stisknutí měření zastaví. Dále je zde tlačítko RESET pro návrat do výchozího nastavení. Přístroj má 3 stavy: Připraveno, Probíhá měření a Měření ukončeno.²³ Chybové stavy jsou hlášeny textem na displeji:

- Pokud uživatel zapomene vložit do SD modulu SD kartu objeví se text: „Chyba inicializace SD karty“;
- Pokud senzor není připojený objeví se text: „Chyba senzoru“²⁴

²² HANOUSKOVÁ, Iva, 2017. *Návrh a realizace zařízení pro měření tremoru* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/68622/F3-DP-2017-Hanouskova-Iva-Hanouskova_DP.pdf?sequence=-1&isAllowed=y. Diplomová práce. Vedoucí práce Ing. Jan Havlík, Ph.D., str. 8.

²³ HANOUSKOVÁ, Iva, 2017. *Návrh a realizace zařízení pro měření tremoru* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/68622/F3-DP-2017-Hanouskova-Iva-Hanouskova_DP.pdf?sequence=-1&isAllowed=y. Diplomová práce. Vedoucí práce Ing. Jan Havlík, Ph.D., str. 24.

²⁴ HANOUSKOVÁ, Iva, 2017. *Návrh a realizace zařízení pro měření tremoru* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/68622/F3-DP-2017-Hanouskova-Iva-Hanouskova_DP.pdf?sequence=-1&isAllowed=y. Diplomová práce. Vedoucí práce Ing. Jan Havlík, Ph.D., str. 24



Obr. 4: Ing. Iva Hanousková, Schéma algoritmu, 2017

Postup měření

Pacient stojí vzpřímeně čelem k doktorce (výjimečně může sedět v případě, že není schopen po dobu celého měření stát). Doktorka upevní na opasek pacienta řídicí jednotku přístroje a nasadí pacientovi na prostředníček na pravé ruce prsten se senzorem. Pacient následně předpaží pravou paži a po spuštění měření ji drží s otevřenýma očima předpaženou po dobu jedné minuty. Po měření ruku spustí dolu a doktorka prsten přeloží na prostředníček na levé ruce. Měření se opakuje na levé straně. Měření se opakuje ještě jednou (v pořadí pravá, levá ruka) se zavřenýma očima. Naměřené data jsou nahrávána na SD kartu, která se po větším množství měření přenese do počítače k následnému zpracování.²⁵

2.3. Uživatelský průzkum

Uživatelský průzkum spočíval v ilustračním měření a rozhovoru s MUDr. Barborou Miznerovou, která působí na klinice revmatologie a rehabilitace Fakultní Thomayerovi nemocnice v Praze a provádí měření tremoru pacientů

²⁵ HAVLÍK, Jan [ústní sdělení]. Praha, 17.2.2022

s roztroušenou sklerózou. Cílem návštěvy ordinace bylo získat bližší představu o používání zařízení.

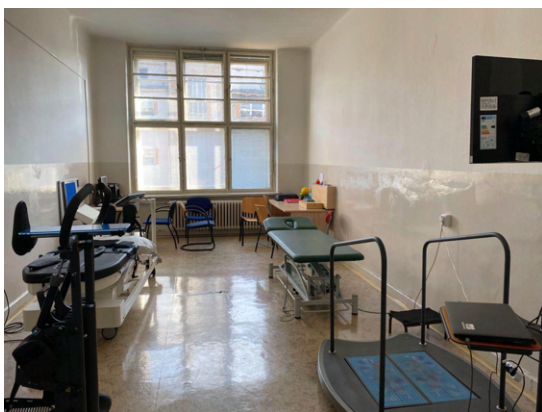
Během rozhovoru se mi podařilo zjistit i užitečné informace o skupině pacientů, kteří měření podstupují, informace o prostředí, kde se přístroj používá a o způsobu jeho uskladnění. Následně jsem měla možnost podstoupit vzorové měření, které jsem posléze analyzovala s cílem zjistit nedostatky v ergonomii a manipulaci. Na závěr jsem se zajímala o konkrétní návrhy na zlepšení z hlediska uživatele.

Základní informace

Měření se provádí na vstupní a výstupní prohlídce pacienta mezi nimiž uběhnou cca 2 až 3 měsíce rehabilitací. Měří se nárazově po skupinách zhruba pěti pacientů do měsíce. Způsob měření ovlivňují fyzická omezení pacientů, jako jsou: problémy s chůzí, stabilitou, s bolestí končetin, s obtíží natáhnout ruku či prsty a s těžkostí výdrže. Z uvedených důvodů se výjimečně měření provádí pouze na jedné končetině, nebo v sedě. Veškerá měření probíhají v oblečení a přístroj obsluhuje přímo lékař.

Přestože bylo původně zamýšleno, že se přístroj bude používat připnutý za opaskem pacienta, v praxi dochází jedině k měření s přístrojem položeným na stole. Lékař umístění na stole preferuje kvůli hygieně a snaze nezasahovat do intimní zóny pacienta.

Zařízení je umístěno na stole v poměrně velké světlé ordinaci určené k rehabilitačnímu cvičení. V čase, kdy se přístroj nepoužívá je spolu s namotanou kabeláží vložen do igelitového sáčku a zůstává na stole.²⁶



Obr. 5, 6: Ordinace a pracovní stůl ve Fakultní Thomayerově nemocnici v Praze, archiv autora, 2022

²⁶ MIZNEROVÁ, Barbora [ústní sdělení]. Praha, 7.3.2022.

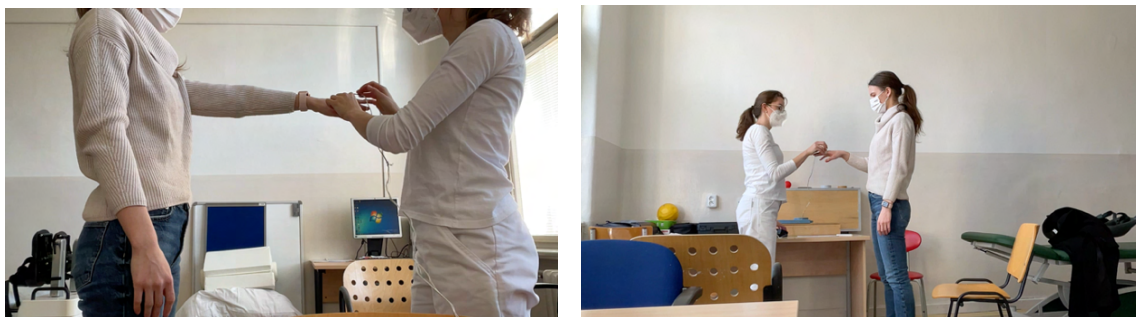


Obr.7: Uskladnění přístroje na stole, archiv autora, 2022

Průběh měření

S cílem identifikovat kritická místa manipulace s přístrojem, jsem požádala MUDr. Miznerovou o možnost videozáznamu ilustračního měření. V následujícím textu je uveden podrobný popis měření včetně mých postřehů.

Před začátkem měření lékař položí přístroj na stůl a nasadí pacientovi prsten se senzorem. Všímám si, že prsten je volný a přetáčí se. Lékař proto prsten nasadí znovu – tentokrát s dráty směřujícími po hřbetu ruky, nikoliv směrem k obsluze. Kabeláž přístroje je příliš krátká, proto mě musí lékař přisunout blíže ke stolu. Drát navíc kříží displej přístroje.



Obr. 8, 9: Nasazování senzoru, archiv autora, 2022

Měření probíhá 1 min, ale čas sleduje lékař na stopkách mobilního telefonu. Po uplynutí doby měření lékař sám vypne zařízení zmáčknutím tlačítka START/STOP. Přístroj má na zadní straně klip pro upevnění na opasek. Z toho důvodu na stole rotuje a doktorka ho musí během celého měření jednou rukou přidržovat. Druhou rukou měří čas na mobilním telefonu.



Obr. 10, 11: Lékař jednou rukou přidržuje přístroj, archiv autora, 2022

Zařízení má pouze jeden senzor na prst. Lékař proto změří hodnoty s otevřenýma i zavřenýma očima nejprve na pravé ruce. Poté přesune prsten na levou ruku a měření opakuje. Ruka je však už po prvním měření unavená, což ovlivňuje měření se zavřenýma očima.

Návrhy na zlepšení z hlediska uživatele

Jelikož cílem návštěvy bylo identifikovat oblasti pro zlepšení designu přístroje, požádala jsem MUDr. Miznerovou o sdělení jejích postřehů z hlediska uživatele.

- **Ovládací prvky** – černá krabička a malá černá tlačítka původního zařízení jsou těžce rozlišitelné.
- **Nabíjení** – v zařízení chybí signalizace nabití baterie.
- **Umístění** – přístroj je na stole nestabilní
- **Časovač** – chybí odpočítávání času pro dobu měření

2.4. Technické parametry od zadavatele

Součástí analytické části byly i opakované konzultace s Ing. Janem Havlíkem PhD. a Ing. Martinem Němcem zaměřené na vyjasnění technologických parametrů a požadavků, které má inovovaná verze zařízení s pracovním názvem TremLog splňovat.

Tabulka 1 Technické parametry inovovaného zařízení v porovnání s původní verzí z roku 2017

Parametr	Původní verze zařízení	Inovovaná verze zařízení
Senzor na ruce	Jeden senzor na prst ve formě univerzálního	Dva senzory, čím se zkrátí doba měření na polovinu.

	prstenu, který je potřeba za účelem střídavého měření přemísťovat z jedné ruky na druhou.	Za účelem kontinuity sbíraných dat je nutné zachovat umístění formou prstenu. Prsten musí být velikostně nastavitelný a lehký, aby nezatěžoval ruku pacienta. Aktivace senzoru je signalizována pomocí LED diody.
Senzor na zem	chybí	Senzor, který snímá třes ze země. Naměřená hodnota se odečte od třesu z rukou a těla pro větší přesnost měření (zejména ve výškových budovách).
Senzor za krk	chybí	Senzor, který lze nalepit za krk – měření nové hodnoty.
Univerzální senzor	chybí	Univerzální senzor umožňující variabilitu budoucích měření.
Displej	LCD displej 16x2	Nahrazení dobře kontrastním grafickým OLED displejem. Hlavní informace o stavu měření je předáváno prostřednictvím LED podsvícení hlavního tlačítka. Stačí malý a cenově dostupný displej.
Přenos dat	Pouze nahrávání na SD kartu.	Nahrávání na SD kartu doplněno o Wi-Fi přenos dat. Kvůli snadnější manipulaci zvolena SD karta místo micro SD karty.
Kabely	4 samostatné dráty	Nahrazení čtyřdrátovým telefonním kabelem.
Tlačítka	3 tlačítka: • Reset • START/STOP • ON/OFF	2 tlačítka: • Hlavní tlačítko s podsvícením. Podsvícení tlačítka komunikuje stav přístroje.

		ON/OFF tlačítko – posuvné tlačítko s cílem rozlišení od hlavního tlačítka.
Napájení	Napájení ze dvou tužkových baterií.	Akumulátor s LED signalizací stavu napájení
Výroba	Použití nalezené krabičky.	3D tisk dle vlastního návrhu.

2.5. Analýza ergonomie umístění řídicí jednotky

Vzhledem k rozšíření počtu senzorů bylo nutné prozkoumat varianty umístění řídicí jednotky a vybrat neoptimálnější řešení. Pomocí série papírových modelů na figurantech, jsem vyhodnocovala výhody a nevýhody jednotlivých variant.



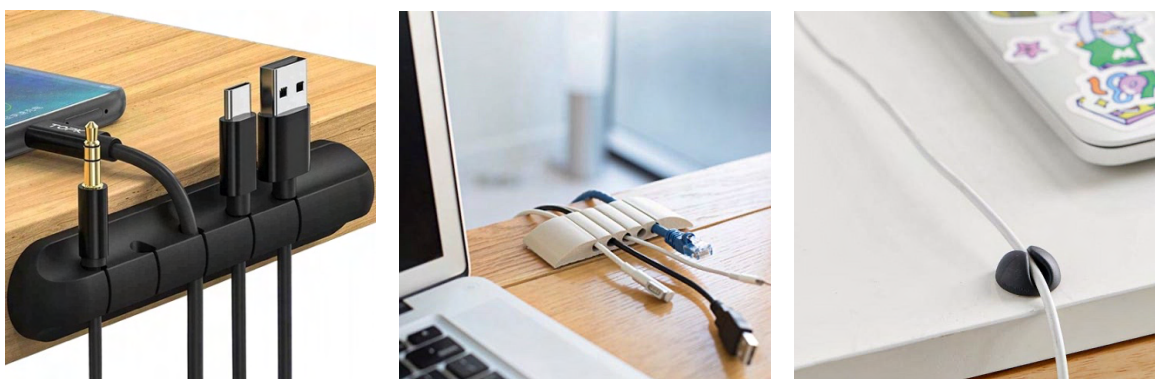
Obr. 12: (zleva) Varianta umístění přístroje kolem pasu, na hrudi a na zádech, archiv autora, 2022



Obr. 13: Varianta umístění přístroje na zdi, archiv autora, 2022

Z analýzy ergonomie umístění přístroje vyplynulo, že žádná z výše uvedených variant nesplňuje požadavky na komfortní obsluhu. V případě upevnění přístroje na tělo byla největším nedostatkem potřeba nastavitelného pásu, otázka hygieny a problematika zasahování do intimní zóny pacienta. Upevnění přístroje na zed' jednoznačně vyřadila potřeba přenášet zařízení mezi různými pracovišti.

U všech variant se navíc opakovaně objevoval problém zamotávání kabelů, který navyšoval čas nasazení přístroje na pacienta. Bylo tedy nevyhnutné zabývat se uspořádáním kabelů. Z rešerše možností organizace kabeláže vyplynulo, že řešení problému spočívá v uchycení konce kabelu, v mém případě senzoru, do organizéru.

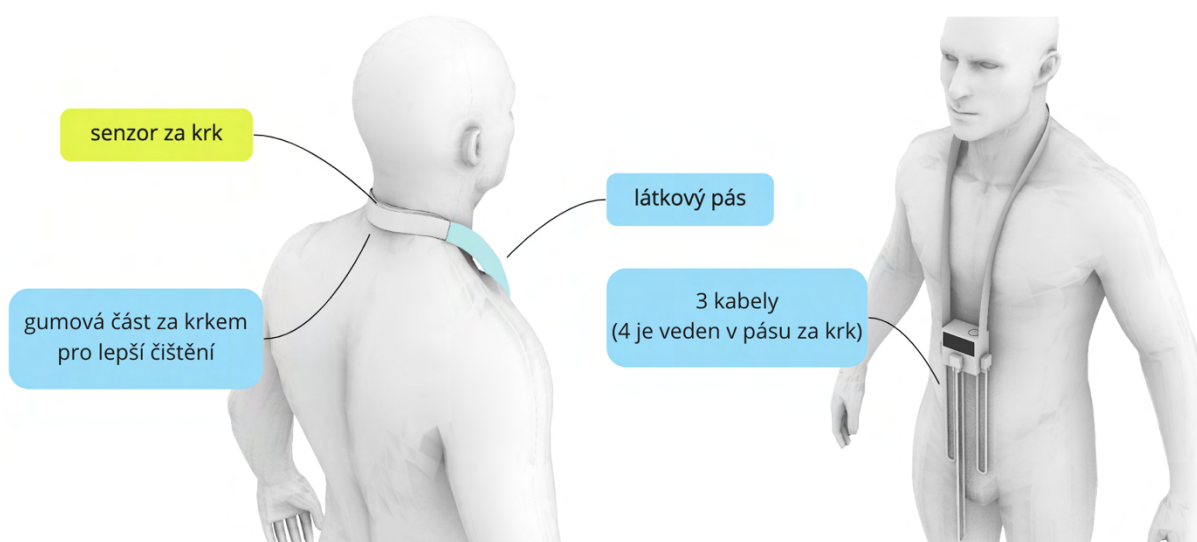


Obr. 14, 15, 16: Rešerše organizérů kabeláže

V následujících třech perspektivních variantách umístění přístroje – varianta na krk, varianta na stůl a kombinovaná varianta (na krk a na stůl), jsem již počítala s vytvořením organizéru kabelů a s jeho umístěním na řídicí jednotku přístroje.

Varianta přístroje umístěného na krk

V zájmu mobility je řídicí jednotka pověšená na krku pacienta. Uvnitř nastavitelného pásu vede kabel se senzorem, který ústí v gumové části za krkem pacienta. Gumový materiál je zvolen z důvodu snadné omyvatelnosti. Organizér je umístěn na řídicí jednotce a svým směřováním navádí ke správnému nasazení senzorů. Displej je na přední straně přístroje a hlavní tlačítko je na horní části řídicí jednotky tak, aby se zamezilo mačkání tlačítka směrem do trupu pacienta.



Obr. 17: Vize umístění přístroje na krk, archiv autora, 2022

Variantu jsem otestovala pomocí papírového kvádru o rozměrech 70x70x40 mm, kabelů a nastavitelného pásu. Výhody a nedostatky jsou shrnuté v tabulce 2.



Obr. 18,19,20: Prototyp umístění přístroje na krku, archiv autora, 2022

Tabulka 2 Zhodnocení umístění přístroje na krk

Výhody	Nevýhody
Mobilita – pacient se může s přístrojem volně pohybovat (v rámci vzdálenosti, kterou dovoluje senzor na zemi).	Při ovládání by se obsluha musela dotýkat pacienta. Lze řešit dálkovým ovládáním, hrozí však jeho ztráta.
Kabel se senzorem za krk může být zabudovaný v pásu – nasazením přístroje se současně nasadí i senzor za krk.	Otázka hygieny – po každém pacientovi je potřeba přístroj očistit, a to zejména část za krkem, kde je častý pot.

Nehrozí pád přístroje.	Potřeba dodatečně vyřešit skladování – např. ve formě stojanu či věšáku, aby nedošlo k zamotání kabelů.
Senzory lze na přístroj umístit tak, aby svým směřováním naváděly na správné nasazení na tělo.	Pokaždé je potřeba znovu upevňovat senzor na zem.
Snadné nasazení přístroje.	V sedě může zařízení spadnout do klína – potřeba nastavitelného pásu.
Lze obsluhovat zepředu.	

Varianta přístroje umístěného na stole

Komfortnější řešení pro obsluhu přístroje nabízí varianta umístění na stole, kde je řídicí jednotka společně s organizérem upevněná na horní desce stolu. K pevnému uchycení je použita protismyková podložka, nebo přísavky.



Obr. 21: Vize umístění přístroje na stůl, archiv autora, 2022

Fungování varianty jsem vyzkoušela pomocí papírového prototypu a kabelů. Výhody a nedostatky konceptu jsou shrnuté v tabulce 3.



Obr. 22, 23, 24: Prototyp umístění přístroje na stole, archiv autora, 2022

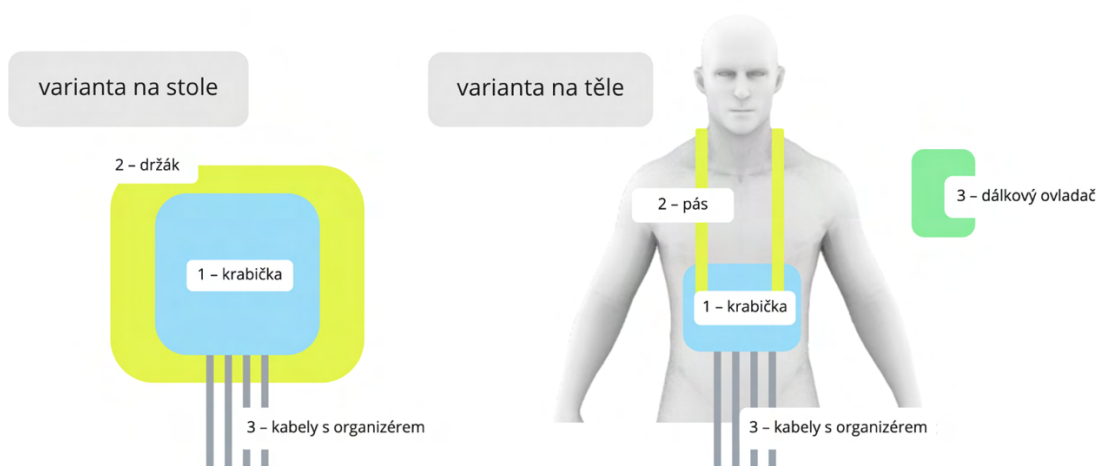
Tabulka 3 Zhodnocení umístění přístroje na stole

Výhody	Nevýhody
Obsluha je zvyklá používat přístroj na stole – přirozený přechod na nové zařízení.	Riziko pádu přístroje zataháním za kabel – lze řešit použitím přísavky či protismykovou podložkou.
Hygienické řešení – řídicí jednotka nepřichází do kontaktu s pacientem.	Potřeba fixace přístroje, aby se zabránilo přetáčení (tedy přetáčení způsobuje zejména skřípec na zadní straně přístroje).
Není potřeba dálkové ovládání. Lze ovládat přímo na řídicí jednotce na stole.	
Senzor na zem může být položený pod stolem i mimo dobu měření – nemusí se pokaždé znovu upevňovat.	
Skladování na stole.	
Neutrální zóna.	

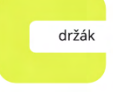
Kombinovaná varianta umístění přístroje

Na základě požadavku ze strany zadavatele, jsem se na závěr snažila o spojení výhod varianty na krku a na stole. Za účelem vytvoření návrhu zařízení, které bude

splňovat požadavky na ergonomii a pohodlnou manipulaci, jsem provedla analýzu slučitelnosti prvků:

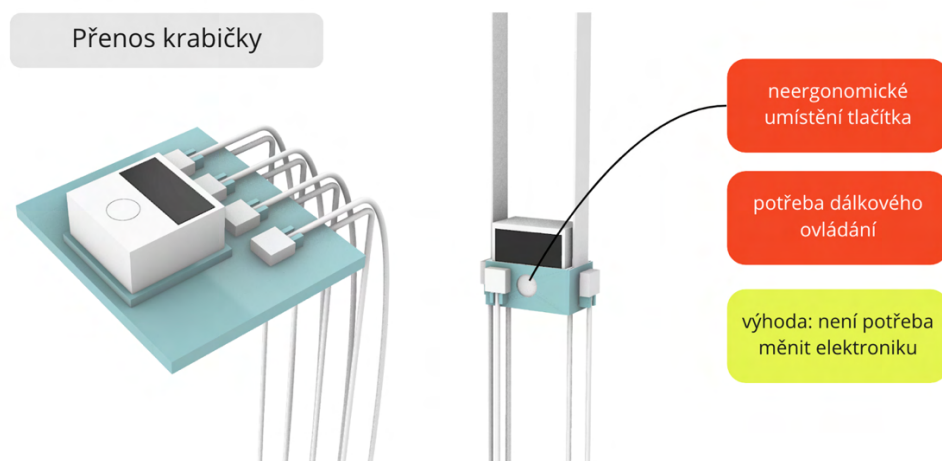


Obr. 25: Analýza slučitelnosti prvků, archiv autora, 2022

	na stole	na těle		
1	 krabička	 krabička	✓	potenciálně slučitelné → hrozí neergonomické umístění tlačítka a
2	 držák	 pás	✗	nevyhnutně odlišné
3	 kabely s organizérem	 kabely s organizérem  dálkový ovladač	✓	aby nebyla potřeba dálkového ovládání → umístění ovládacích prvků na housing na stole → přenášel by se kabelový modul (kabely + organizér)

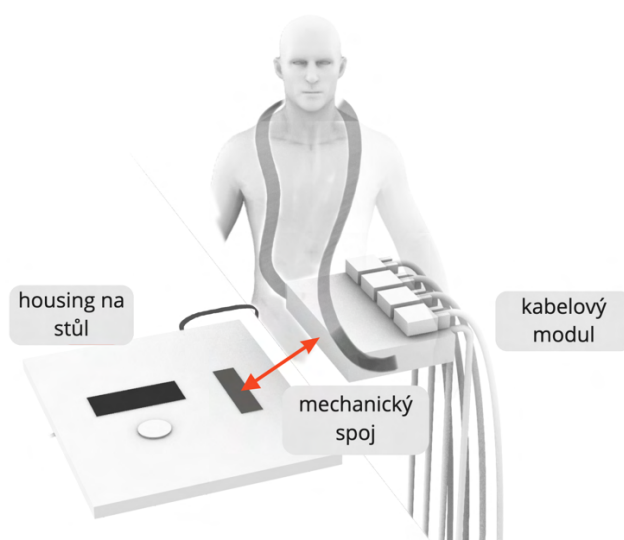
Obr. 26: Analýza slučitelnosti prvků, archiv autora, 2022

Z analýzy vyplývá, že řídicí jednotka je potenciálně slučitelná, ale při vložení do obalu na krk hrozí neergonomické umístění tlačítka a displeje viz obr. 27.



Obr. 27: Neergonomické umístění tlačítka při přenosu řídicí jednotky do pásu na krk, archiv autora, 2022

Za účelem řešit problém jsem navrhla přenosný kabelový modul s organizérem, který by se připojoval, buď do „housingu“ na stole, nebo na pás na krk. Toto řešení by splňovalo požadavky na ergonomii, ale vyžadovalo by vyřešení technické stránky bezdrátového spojení mezi „housingem“ na stole a přenosným kabelovým modulem.



Obr. 28: Vize kombinovaného umístění přístroje, archiv autora, 2022

Srovnání výhod a nevýhod kombinovaného umístění je uvedeno v tabulce 4.

Tabulka 4 Zhodnocení kombinovaného umístění na stole a na krku

Výhody	Nevýhody
Do budoucna umožnění větší variability měření.	Bylo by nutné navrhnout elektroniku, která dovolí bezdrátovou komunikaci mezi kabelovým modulem a housingem.

Ergonomické a uživatelsky komfortní řešení.	Kompromis v tvarovém a konstrukčním zpracování ve prospěch univerzality
Není potřeba dálkové ovládání.	

Na základě předložené analýzy, časových možností a v neposlední řadě i ceny zařízení zadavatel dospěl k rozhodnutí **realizovat variantu umístění řídicí jednotky na stůl.**

3. VÝSTUP ANALÝZY A FORMULACE VIZE

Výstupem analytické části je vize navrhnout inovované zařízení pro měření tremoru u pacientů s roztroušenou sklerózou. Měření se provádí na vstupní a výstupní prohlídce pacienta mezi nimiž uběhnou cca dva až tři měsíce rehabilitací. Měří se nárazově po skupinách zhruba pěti pacientů do měsíce. Věkovou skupinu nelze přesně určit, jelikož onemocnění postihuje široké spektrum populace. Měření pacientů se provádí ve všech stupních postižení.²⁷

Přestože je přístroj určen k měření pacientů, cílovou skupinou návrhu je zejména obsluha – v tomto případě lékař, který pravidelně provádí měření a zároveň má na starosti rehabilitaci pacientů. Cílem návrhu je tedy zajistit nejen uživatelský komfort pacienta, ale především umožnit pohodlnou obsluhu přístroje.

Návrh inovovaného zařízení musí splňovat následující požadavky:

- **Ergonomie umístění** – přístroj by měl být v pohodlném dosahu obsluhy, přičemž by neměl zasahovat do intimní zóny pacienta. Vhodné umístění řídicí jednotky by navíc mělo zaručit pohodlné nasazování senzorů.
- **Ovládání** – přístroj by měl disponovat srozumitelnými a jednoznačnými ovládacími a signalizačními prvky, s nimiž se bude snadno manipulovat. Přístroj by navíc měl měření provádět autonomně (bez doplňkových zařízení jako jsou např. stopky na mobilním telefonu).
- **Manipulace** – vzhledem k velkému počtu komponentů je nutné navrhnout kompaktní přístroj, který uspořádá a zamezí ztrátě jednotlivých senzorů a kabeláže.
- **Hygiena** – design by měl umožňovat snadné čištění přístroje a senzorů – týká se tvarování, materiálu a povrchové úpravy, která musí splňovat normy do nemocničního prostředí.
- **Rozebíratelnost** – zadavatel požaduje rozebíratelnost přístroje z důvodu servisu či výměny elektroniky.
- **Materiál** – z ekonomických důvodů (plánovaná výroba pouze pěti kusů) zadavatel požaduje na realizaci přístroje použít technologii 3D tisku.

²⁷ MIZNEROVÁ, Barbora [ústní sdělení]. Praha, 7.3.2022

- **Estetika** – zařízení musí v pacientovi a obsluze vzbuzovat pocit stability – opak třesu. Stabilní vzhled přístroje může mít nejen ujišťuje obsluhu o pevném uchycení přístroje na povrch stolu, ale může mít i uklidňující vliv na psychiku pacienta. Přístroj by se svým vzhledem a úpravou měl podřídit estetice medicínské techniky. Jelikož se jedná o přístroj určený výhradně do nemocničního prostředí, s nímž manipuluje kvalifikovaná obsluha, není nutné příliš měkké tvarování, které se zpravidla používá pro návrh medicínských přístrojů do domácnosti.

Na základě výše uvedených požadavků vznikla konkrétní představa o medicínském přístroji **TremLog**, které se skládá z:

- **Řídící jednotky,**
- **Senzorů,**
- **kabeláže a organizéru.**

Řídící jednotka bude přenosná a bude možné ji stabilně upevňovat na desku stolu. Senzory s LED signalizací zapojení budou členěny na:

- **2 senzory na ruce** ve formě prstenu
- **2 senzory na tělo** (jeden na krk a jeden univerzální pro budoucí měření)
- **1 senzor na zem**

Senzory budou umístěny v organizéru a spojeny s řídící jednotkou prostřednictvím kabelů. Přístroj bude ovládán posuvným **on / off tlačítkem** a **hlavním tlačítkem**, který barevným podsvícením bude signalizovat stav přístroje. Kryt bude mít **vstup na SD kartu** a **micro USB** napájení s LED diodou. Konstrukční řešení umožní rozebíratelnost za účelem servisu elektroniky. Celé zařízení bude realizováno pomocí technologie 3D tisku a povrchová úprava bude splňovat standardy přístrojů v nemocničním prostředí.

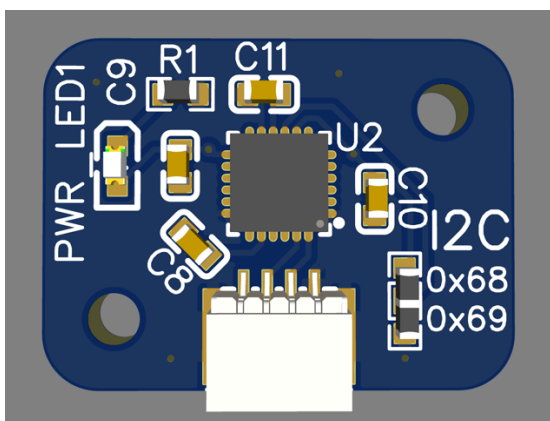
Detailnímu rozpracování uvedeného konceptu s cílem navrhnout a realizovat funkční zařízení *TremLog* se podrobně věnuji v procesu navrhování. Z důvodu požadované technologie 3D tisku pro realizaci návrhu bylo nevyhnutné procesy navrhování a prototypování vzájemně propojit.

4. PROCES NAVRHOVÁNÍ A PROTOTYPOVÁNÍ

Výchozím bodem designu zařízení *TremLog* byl návrh jednotlivých senzorů, jejichž rozměry, tvar a uspořádání určily podobu řídicí jednotky přístroje. Cílem práce byla realizace funkčního zařízení, tudíž během celého procesu navrhování bylo nutné zohledňovat zejména technické možnosti použité elektroniky.

4.1. Sensory

Základem pro návrh nových senzorů byla senzorová deska navržena Ing. Martinem Němcem, která mimo jiné obsahuje senzor MPU-6050, JST 4-pin konektor a zelenou LED diodu, jenž signalizuje správné zapojení senzoru do řídicí jednotky přístroje.

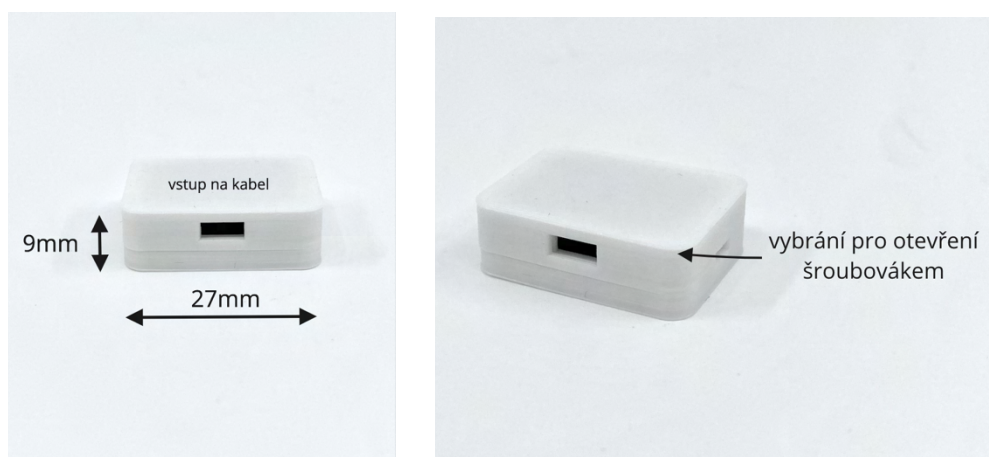


Obr. 29: Senzorová deska navržena Ing. Martinem Němcem, rozměry: 15x20mm, archiv autora, 2022

Při návrhu obalu senzoru bylo nutné dodržet následující technické požadavky:

- Senzorová deska musí být chráněná před okolními vlivy (otěr, dezinfekce, prach).
- Obal senzorové desky musí mít nízkou hmotnost, která nebude ovlivňovat měření na těle.
- Senzorové deska musí být pevně uložena v ochranném obalu, aby nedocházelo k izolaci měřeného třesu.

Na základě uvedených požadavků vznikl první návrh ochranného obalu senzoru – jde o kompaktní obal, který je doplněn o dva upevňovací kolíky pro fixování senzorové desky. Na bocích krabičky jsou dva výřezy na šroubovák umožňující rozebíratelnost.

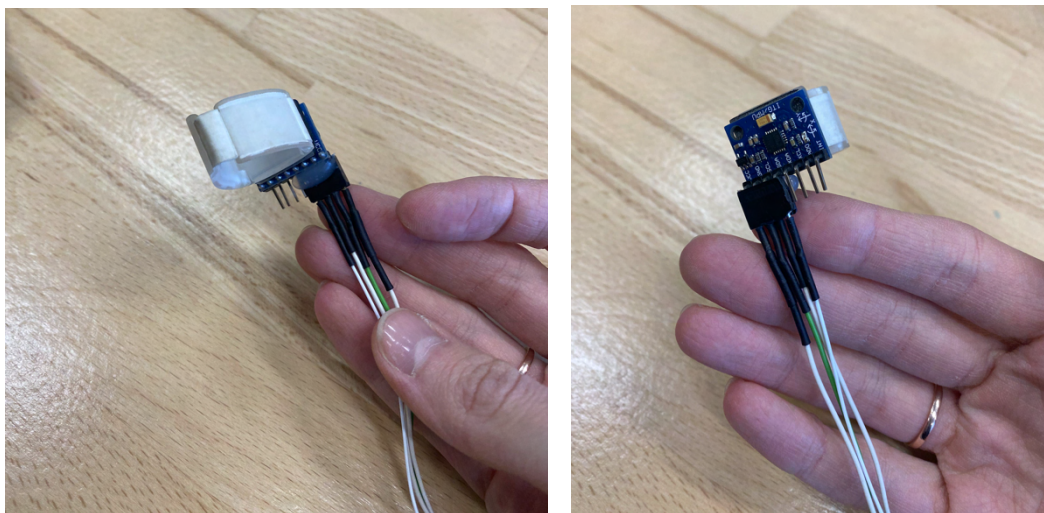


Obr. 30, 31: Ochranný obal senzoru, rozměry 9x27x10 mm, archiv autora, 2022

Vytvořený obal se stal výchozím bodem pro návrh konstrukčních prvků umožňujících upevnění senzorů na různé části těla a na zem.

Senzor na ruce

Původní zařízení z roku 2017 obsahuje pouze jeden senzor, který se upevňuje na prst pacienta a skládá se z nechráněné přístrojové desky, plastového prstenu s panty a latexového proužku, který zajišťuje univerzalitu. Design prstenu sice plní svou funkci, ale konstrukčním řešením je určen spíše do laboratorních podmínek než do nemocničního prostředí.



Obr. 32, 33: Senzor na prst – původní zařízení z roku 2017, archiv autora, 2022

Mezi hlavní nevýhody původního řešení patří:

- Nechráněnost senzoru
- Nedostatečná univerzalita prstenu. (Pro menší obvod prstu je prsten příliš volný a přetáčí se, což musí doktorka fixovat vedením kabelu po hřbetu ruky.)

V zařízení *TremLog* budou na měření z prstu na žádost zadavatele použity dva senzory – jeden na pravou a jeden na levou ruku. Tím se zkrátí čas měření na polovinu a zvýší se komfort pacienta i obsluhy.

Při návrhu prstenů jsem musela dodržet následující technické požadavky:

- Zachování referenčního umístění za účelem kontinuity dat sbíraných do studie.
- Univerzalitu
- Nízkou hmotnost

Prvním krokem byla snaha zajistit univerzalitu prstenu. Z uvedené rešerše vyplývá, že tento požadavek se v praxi převážně řeší pootevřenými prsteny, nebo prsteny z flexibilního materiálu.



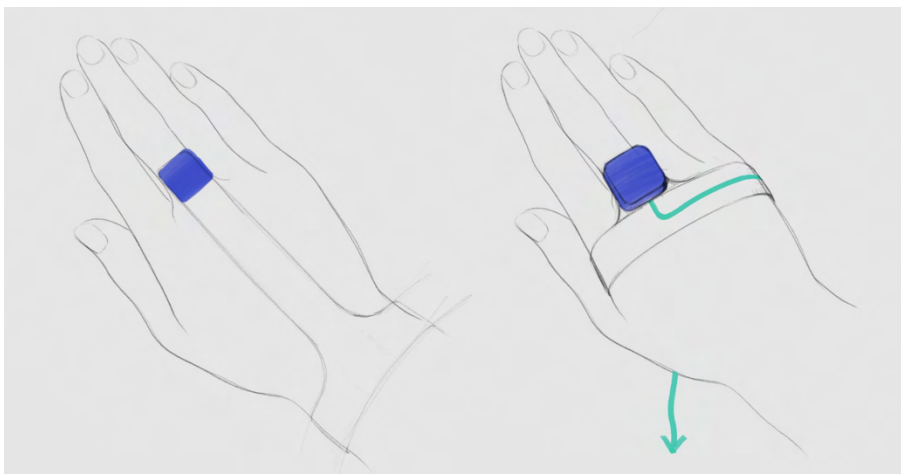
Obr. 34: Rešerše univerzálních prstenů, koláž vícero zdrojů

Nejprve jsem v papírovém prototypu vyzkoušela možnost upevnění senzoru mezi prsty. (Inspirace obr. F) Zjistila jsem, že nevýhodou je potřeba svírat prsty k sobě. Problém nastává zejména během relaxace, kdy může dojít k uvolnění sevření prstů a senzor může spadnout na zem.



Obr. 35: Prototyp upevnění senzoru mezi prsty, archiv autora, 2022

Další možnost upevnění konstrukce na zápěstí nebo na dlani se taky ukázala jako nevhodná. Přestože byl senzor v úrovni prstu, docházelo by k měření třesu v místě upevnění, nikoliv z referenčního prostředníčku.



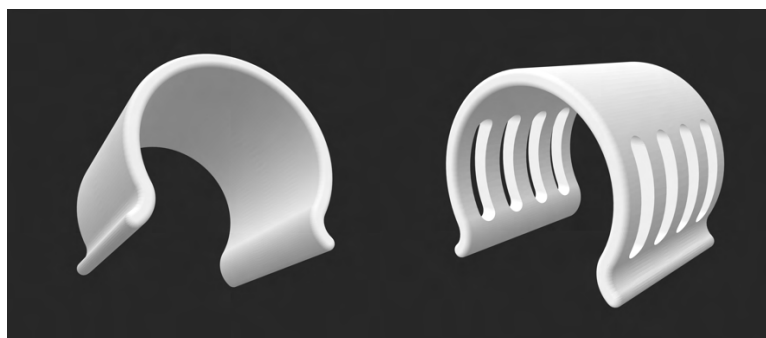
Obr. 36: Upevnění na zápěstí a na dlani, archiv autora, 2022

Kvůli potřebě zachovat kontinuitu měření jsem se vrátila k variantě polootevřeného prstenu, jehož fungování jsem zkoušela v papírovém modelu zpevněným tavným lepidlem za účelem flexibility.



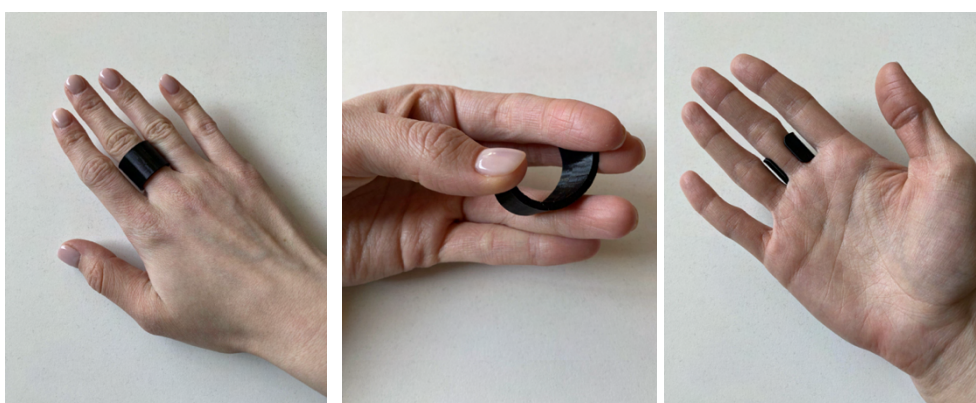
Obr. 37: Papírový prototyp polootevřeného prstenu, archiv autora

Pootevřený prsten jsem následně vytiskla z PLA filamentu, který se ukázal oproti papírovému modelu příliš tuhý a neumožňoval nasazení na prsty různých průměrů. K zvýšení pružnosti nepomohly ani výřezy v konstrukci či zúžení prstenu.



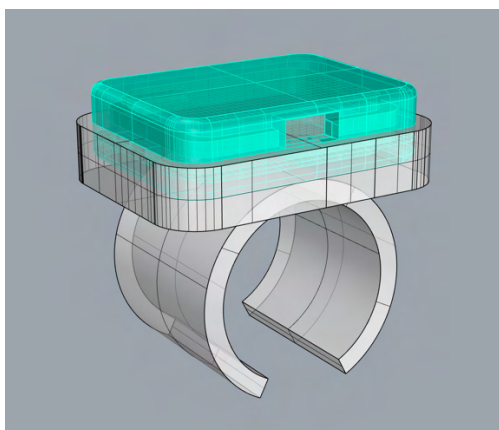
Obr. 38: Prototypy prstenu z PLA, archiv autora, 2022

S cílem zachovat flexibilitu, jsem prsten vytiskla z termoplastického polyuretánu (TPU) materiálu Form Futura Python Flex.



Obr. 39: Prototyp prstenu z TPU, archiv autora, 2022

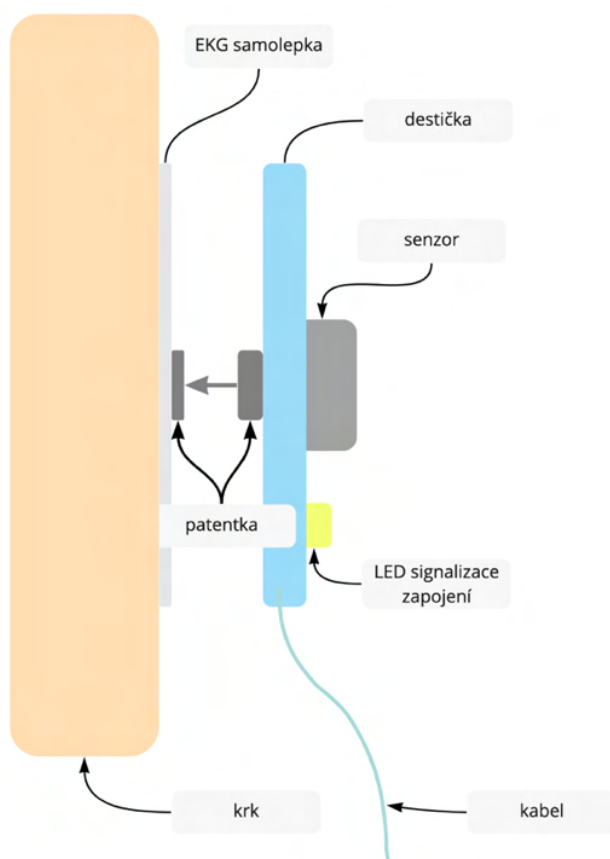
Tato varianta nejen že splnila požadavky na univerzalitu, ale navíc umožnila i upevnění sensorového obalu do prstenu a zabránila jeho přetáčení.



Obr. 40: 3D model prstenu, archiv autora, 2022

Senzor na tělo

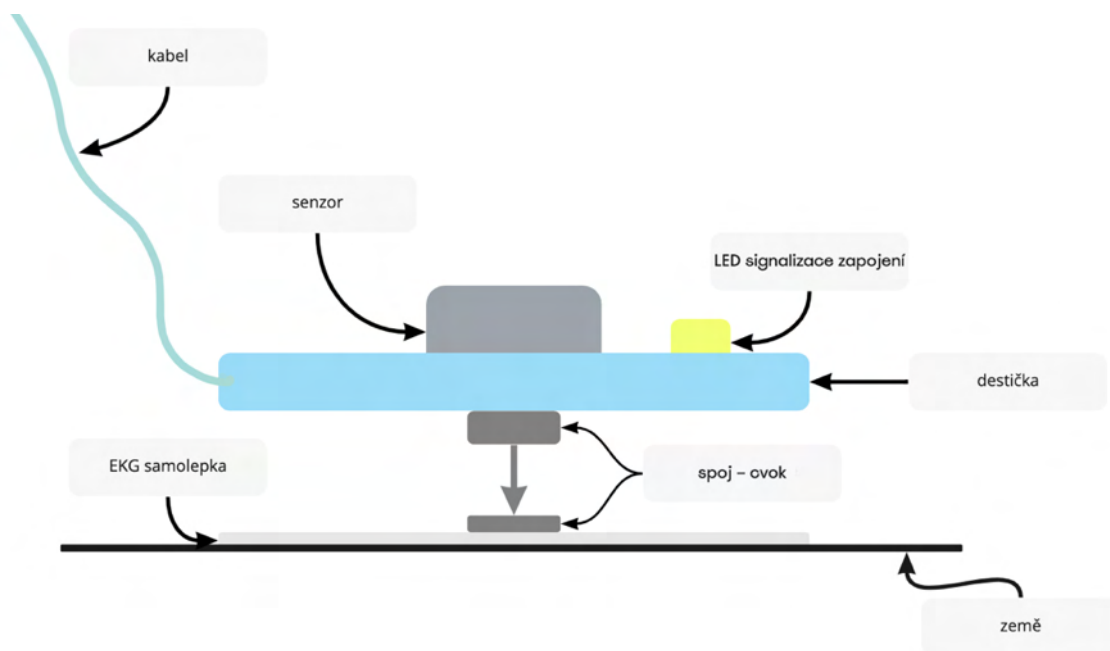
Zadavatel požaduje dva senzory na tělo. Jeden s možností umístění na krk, druhý pro zatím blíže nespecifikované místo na těle pacienta. Bylo nutné vyřešit upevnění senzoru. Pro finální návrh jsem zvolila upevnění obou senzorů pomocí patentky a EKG samolepky. Použití jednorázové samolepky je vhodné, protože splňuje hlavní kritérium hygieny.



Obr. 41: Schéma principu upevnění senzoru pomocí patentky a EKG samolepky, archiv autora, 2022

Senzor na zem

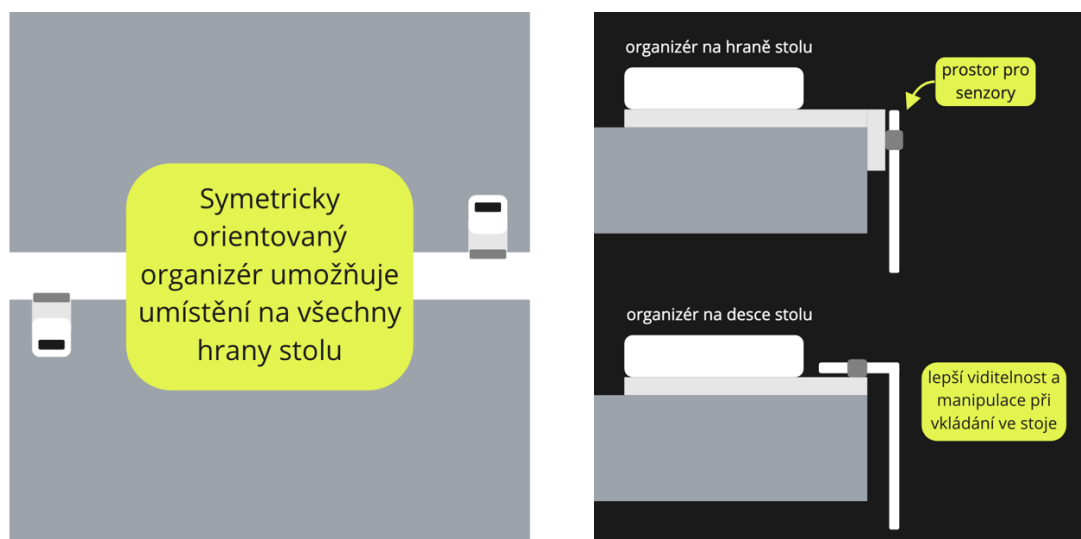
Senzor na zem má zajistit odpočet třesu budovy od naměřeného třesu těla, čímž dochází ke zpřesnění měření. Jelikož se přístroj přemísťuje mezi pracovišti, nepřípadá v úvahu senzor na zem upevňovat na trvalo. Senzor bude v ochranném obalu pouze umísťován na podlahu ordinace.



Obr. 42: Schéma principu umístění senzoru na zem, archiv autora, 2022

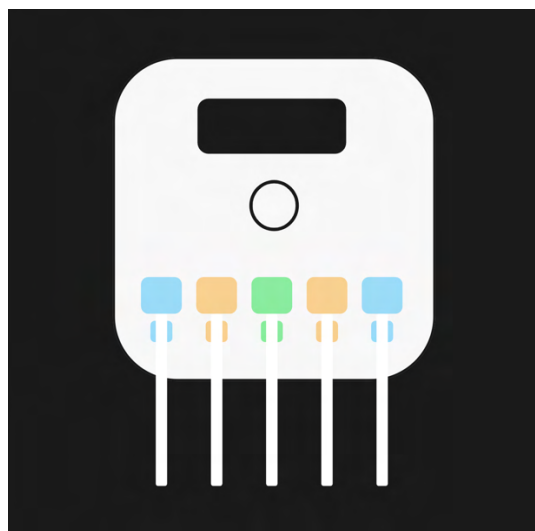
4.2. Organizér senzorů

Z důvodu zavedení pěti senzorů bylo nevyhnutné vyřešit problém zamotávání kabeláže. Řešení jsem našla v uložení senzorů do organizéru. Dalším krokem bylo vyřešit umístění organizéru a jeho orientaci vzhledem k řídicí jednotce.



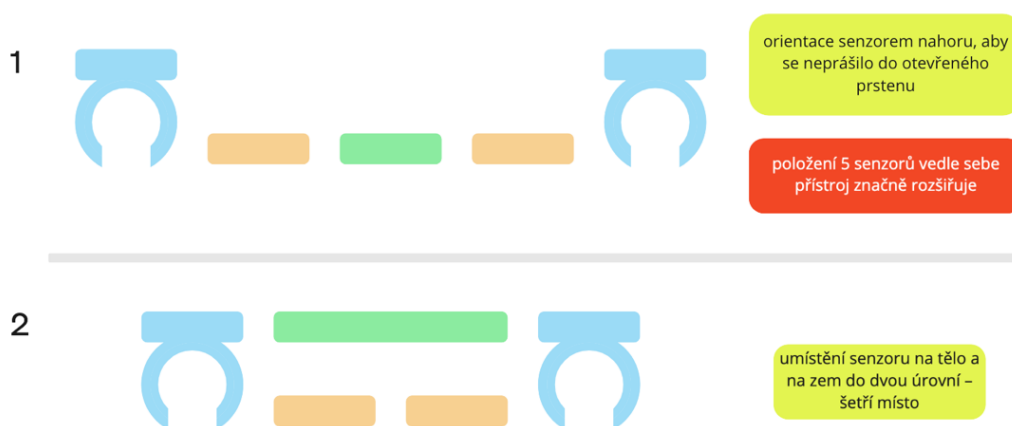
Obr. 43: Analýza umístění přístroje na stole, archiv autora; Analýza vertikální a horizontální orientace organizéru, archiv autora, 2022

Z analýzy na obr. 43 vyplynulo, že pro pohodlnou manipulaci se senzory jak ve stoje, tak i v sedě se jako nejuniverzálnější řešení ukázalo umístění organizéru na přední straně řídicí jednotky.



Obr. 44: Schéma organizéru na přední straně řídicí jednotky, archiv autora, 2022

Následně jsem prozkoumala varianty uspořádání senzorů uvnitř organizéru.



Obr. 45: Varianty možných uspořádání senzorů, archiv autora, 2022

Zvolila jsem variantu, kde senzor na zem překrývá senzory na tělo a senzory na prst. Toto uspořádání nejen že chrání senzory před prachem, ale navíc určuje pořadí manipulace.

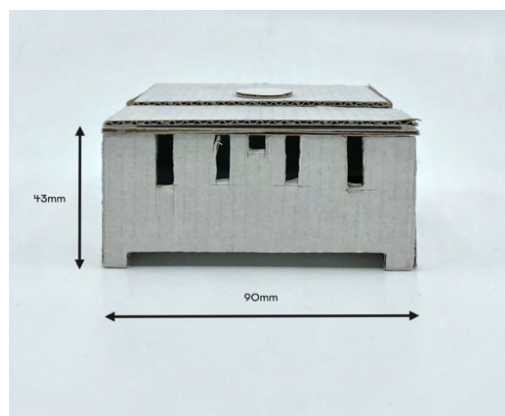


Obr. 46: Schéma zvolené varianty uspořádání senzorů v organizéru, archiv autora, 2022

4.3. Řídící jednotka

Tvar řídící jednotky jsem postupně zadefinovala prostřednictvím série papírových modelů a 3D tištěných prototypů.

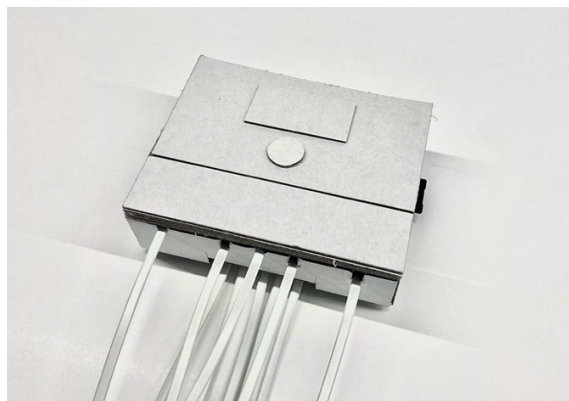
Přehled vývoje tvaru řídící jednotky:



Obr. 47, 48. Tvar řídící jednotky s naznačenými vstupy, rozměry 96x91x36 mm, archiv autora, 2022



Obr. 49, 50: Řídící jednotka se senzory v organizéru, Rozměry: 130x100x50 mm, archiv autora, 2022



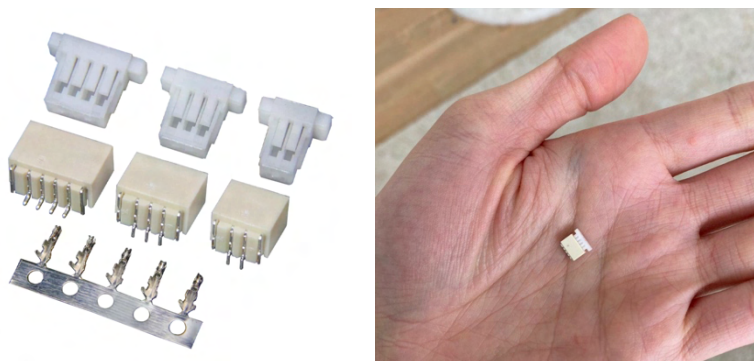
Obr. 51, 52: vodorovná orientace všech senzorů – zabránění ohybu kabelu po kratší straně, 150x110x40mm, archiv autora, 2022



Obr. 53, 54: umístění přístroje na stole, rozměry 150x110x40mm, archiv autora, 2022

Ergonomie konektorů

Pro zdefinování výsledného tvaru řídicí jednotky bylo klíčové vyřešit pohodlné vkládání konektorů. Původně zadavatel pracoval s konektory typu *JST 4-pin*. Jejich použití však nezajišťovalo uživatelský komfort – konkrétně způsobovalo problém s přístupností zásuvek pro pohodlné vkládání konektorů

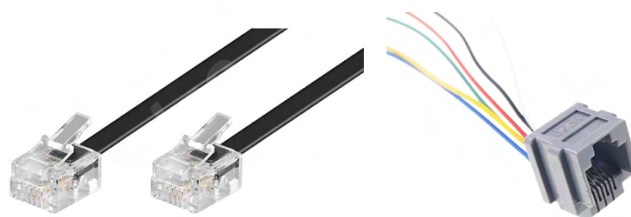


Obr. 55,56: servisní konektory, JST 4-pin, 4.5x2.15mm + archiv autora

Jako vhodné řešení se ukázal můj návrh vyměnit konektor *JST 4-pin* za konektory *RJ11*, které je možné na řídicí jednotku připojit pomocí drátků. Toto připojení vyřešilo uvedený nedostatek a přineslo i řadu dalších výhod:

- Kompatibilitu konektoru s použitým kabelem
- Možnost panelového upevnění zásuvky

- Pojistku proti vytažení konektoru
- Vhodné umístění zásuvek a vstupů

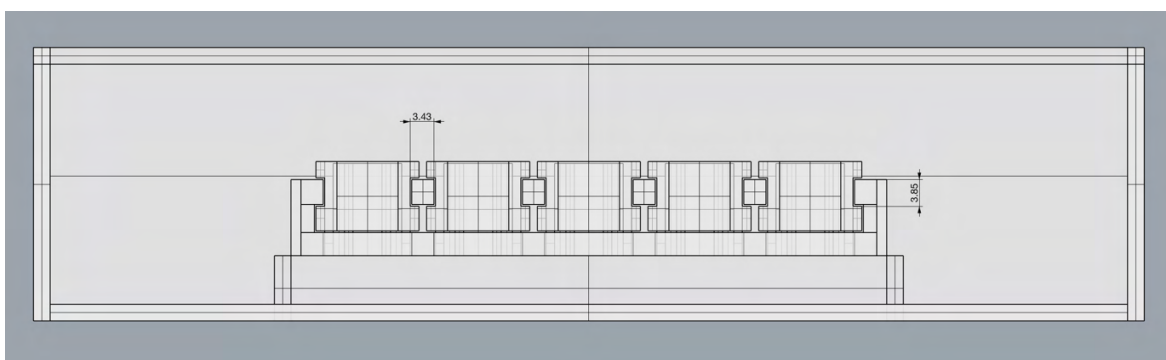


Obr. 57, 58: RJ11 konektor a 623K zásuvka

Na základě zvolených konektorů *RJ11* a jim příslušných zásuvek – 623K jsem navrhla tzv. zásuvkový modul, jehož ergonomii jsem testovala pomocí 3D tištěného prototypu. Od rozměrů zásuvkového modulu se následně odvíjela šířka celého přístroje.



Obr. 59: zásuvkový modul, archiv autora, 2022

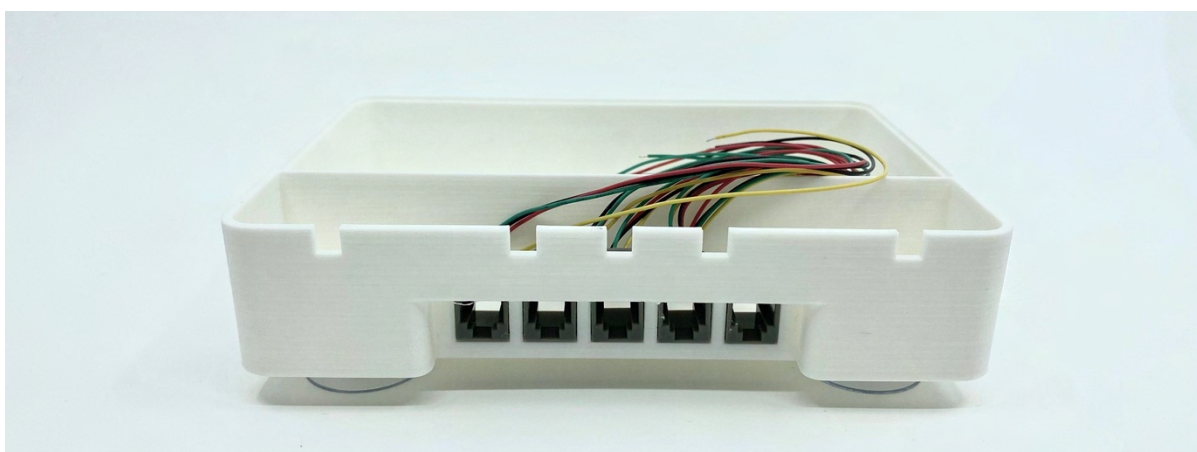


Obr. 60: Upevnění panelových zásuvek, archiv autora, 2022

Vkládání konektorů do zásuvkového modulu jsem následně ověřila v 3D tištěných prototypch s lišícím se zaoblení okolních hran.



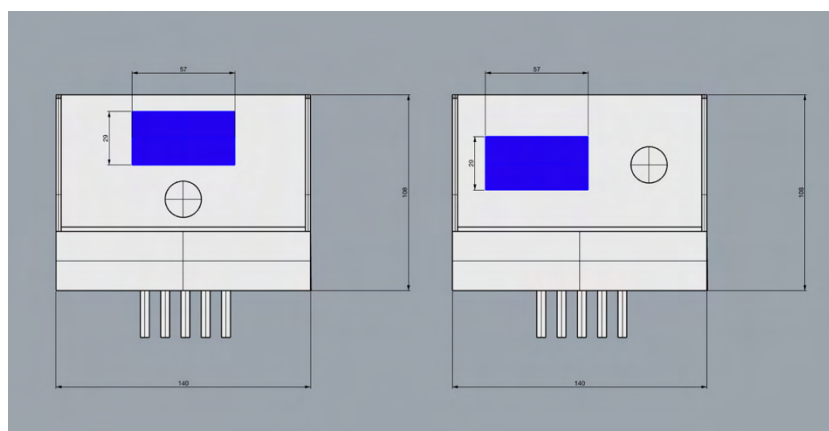
Obr. 61,62: Prototyp zásuvkového modulu se zaoblením horních hran, archiv autora, 2022



Obr. 63: Výslední návrh zásuvkového modulu se zaoblením bočních hran, archiv autora, 2022

Prototyp řídicí jednotky

Před tvorbou finálního návrhu řídicí jednotky jsem ještě prozkoumala umístění loga, hlavního tlačítka a displeje. Uvažovala jsem nad variantami, které jsou znázorněné na obr.X.



Obr. 64: Varianty umístění displeje OLED 2.42" , archiv autora, 2022

Zvolila jsem variantu, v níž je tlačítko a displej umístěn nad sebou, protože tohle umístění je uživatelsky vhodné i pro leváky.

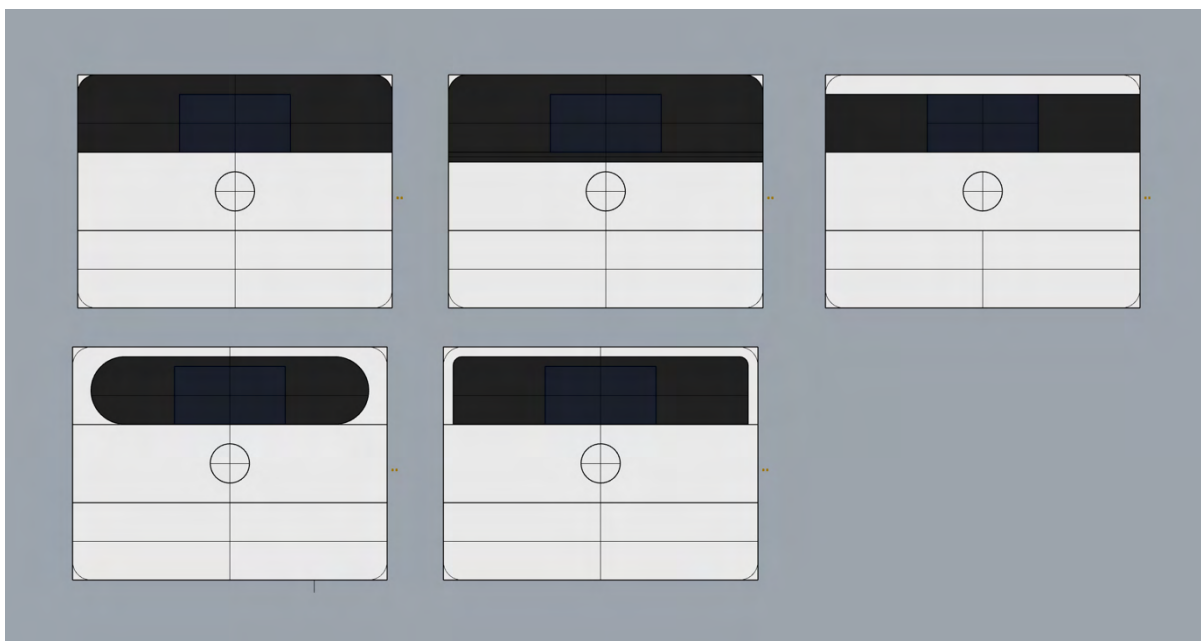


Obr. 65: Umístění loga displeje a tlačítka, archiv autora, 2022

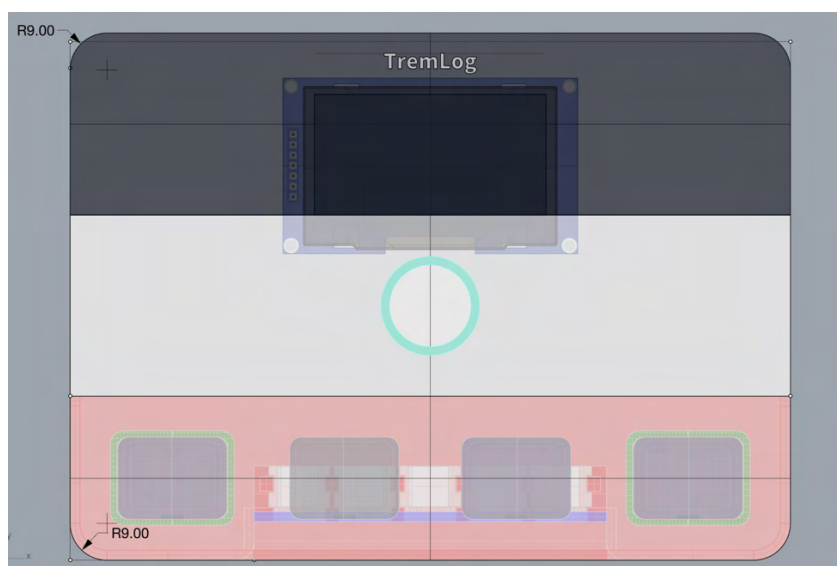
Rohy přístroje jsem zaoblila radiusem R9 (největší možný radius, který zohledňoval umístění senzorů v organizéru) a poměrně malý displej jsem opticky rozšířila černou plochou na základě inspirace z obr. 66.



Obr. 66: Inspirace optického rozšíření displeje, koláž vícero zdrojů



Obr. 67: varianty optického rozšíření přístroje, archiv autora, 2022



Obr. 68: finální návrh horního pohledu přístroje, archiv autora, 2022

Na závěr jsem pro pohodlné vkládání konektorů zaoblila boční stěny kolem zásuvkového modulu rádiusem R4.5.

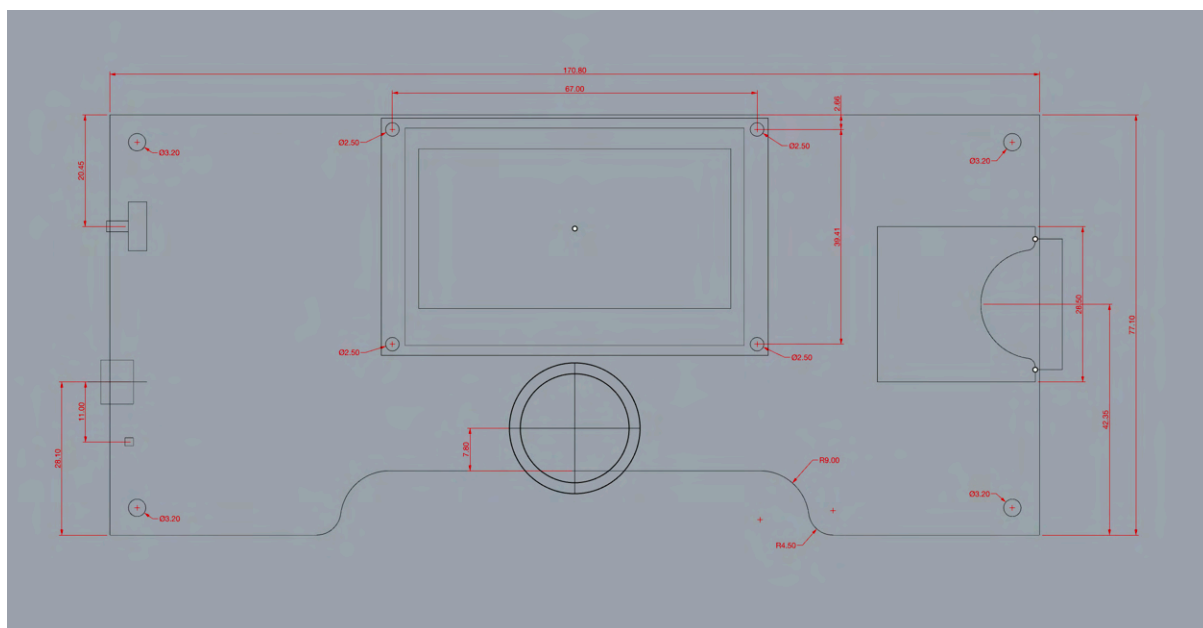


Obr. 69, 70: Radius R4.5 na bočních stěnách kolem zásuvkového modulu, archiv autora, 2022

Řídící deska

Na základě vytištěného 3D prototypu řídicí jednotky jsme společně s Ing. Martinem Němcem navrhli tvar řídicí desky a umístění SD karty, on/off tlačítka, micro USB a diody. Řídicí desku posléze zrealizoval Ing. Martin Němec.

Při návrhu řídicí desky jsme počítali s odsazením od stěny přístroje o 0.2 mm. V dolní části je vybrání pro vyjmutí konektorů, které umožňuje pohodlnou rozebíratelnost elektroniky. Veškeré vstupy jsou na horní straně řídicí desky, kromě připojení konektorů a baterie. Baterie o rozměrech 40x50.5x5.9 mm je umístěna nalevo, pod řídicí deskou přístroje.



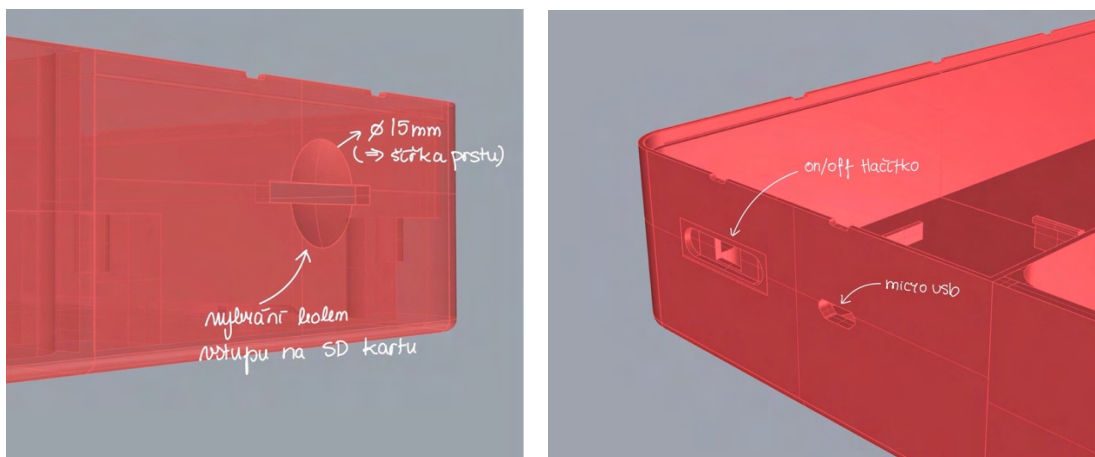
Obr.71: Zadání řídící desky, archiv autora, 2022

4.4. Konstrukčně–technologické řešení řídicí jednotky

Realizace funkčního přístroje rovněž vyžadovala i konstrukční řešení jednotlivých funkčních prvků přístroje:

Vstupy na SD kartu a micro USB napájení

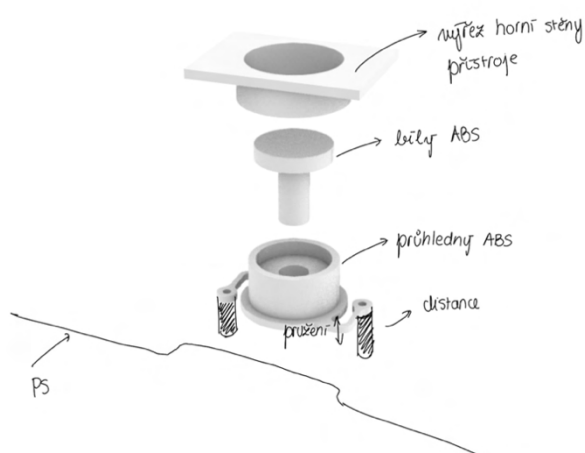
V místě otvoru pro SD kartu je konkávní vybrání materiálu, které umožňuje pohodlné vyjmutí karty.



Obr. 72,73: Vstupy na SD kartu a micro USB, archiv autora, 2022

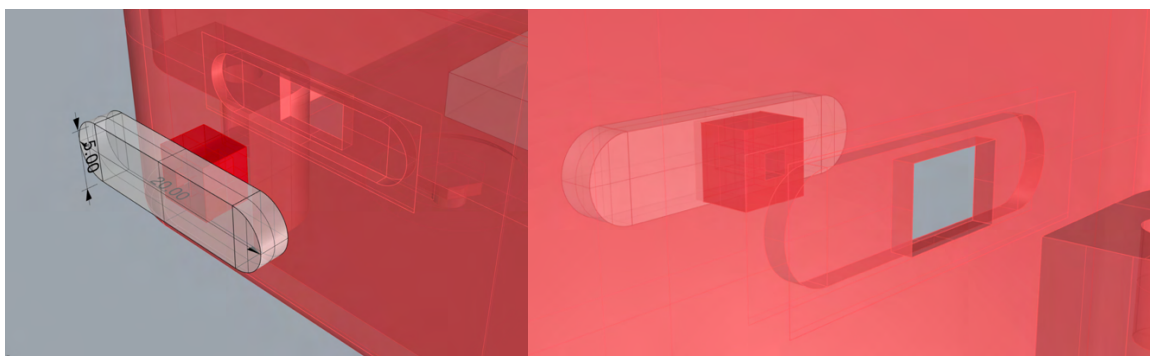
Hlavní tlačítko a on/off tlačítko

Komponenty hlavního tlačítka jsou popsány na obr. 74. Tlačítko je podsvícené dvěma RGB diodami. Pod řídicí deskou jsou vymodelované dvě výztuže, které zabraňují ohybu řídicí desky při mačkání tlačítka.



Obr.74: Hlavní tlačítko, archiv autora, 2022

Tlačítko on/off je posuvné a je tvořeno 3D tištěným hmatníkem.



Obr. 75, 76: Hmatník s otvorem pro nasazení na posuvné tlačítko, archiv autora, 2022

Upevnění řídící desky

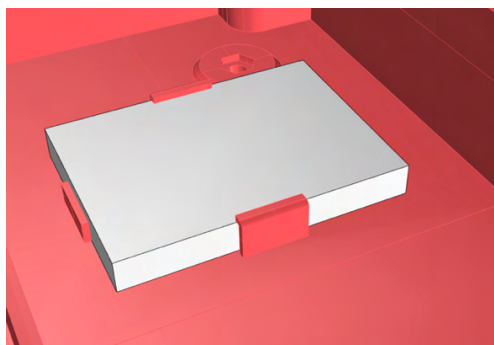
Řídící deska je uchycená na výztužích se zatavenými vložkami pro M4 šrouby.



Obr. 77: Zatavené vložky na ukotvení PS, archiv autora a externí zdroj

Upevnění baterie

Místo pro baterii je vymezeno čtyřmi pružnými výběžky.



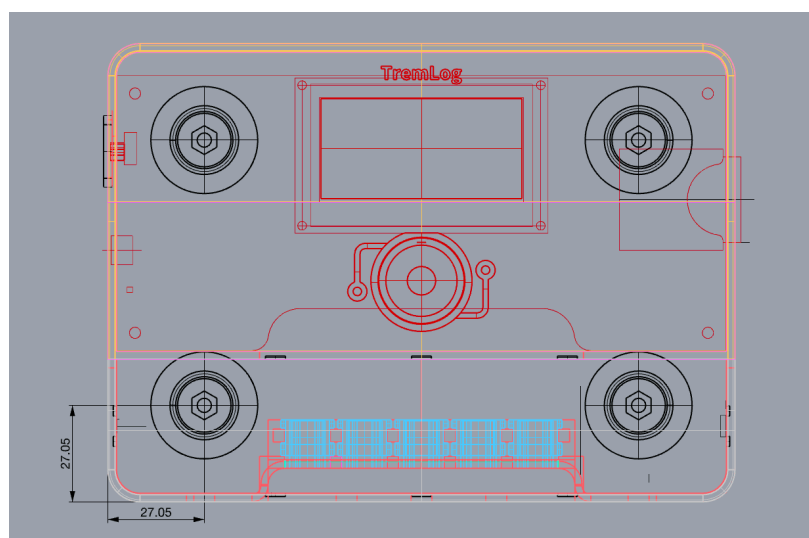
Obr. 78: Uchycení baterie, archiv autora, 2022

Přísavky

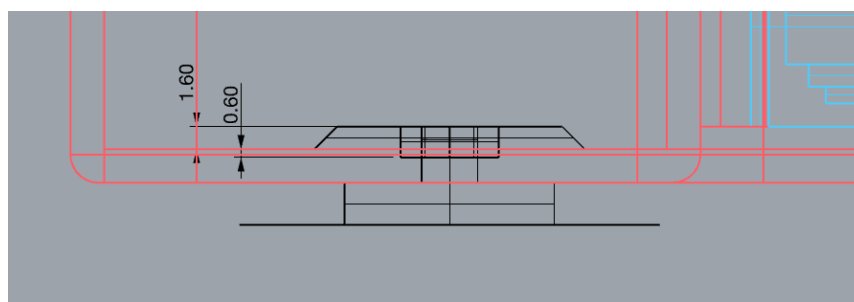
Pro zabezpečení stability přístroje na stole jsem zvolila čtyři přísavky s M4 šroubem. Přísavky jsou uchyceny v zapuštěné snížené M4 matici.



Obr. 79: DIYexpert přísavky, d=30 mm, M4 šroub



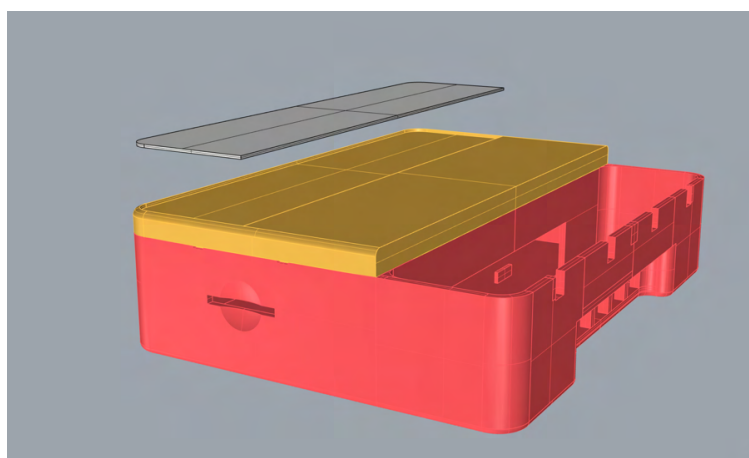
Obr. 80: Přísavky 27.05 mm od hran přístroje, archiv autora



Obr. 81: Upevnění – zapuštění M4 matice do spodní stěny

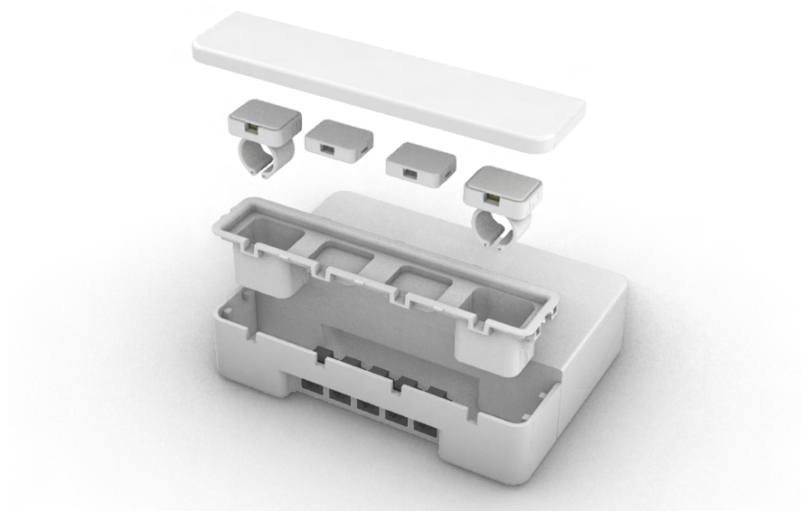
Plexisklo

Pro optické rozšíření displeje je použité 1mm plexisklo s černým náštříkem na zadní stěně. Plexisklo zároveň chrání logo a je vlepeno do 1,2mm hlubokého odskoku.



Obr. 82: Umístění plexiskla o tloušťce 1 mm, archiv autora, 2022

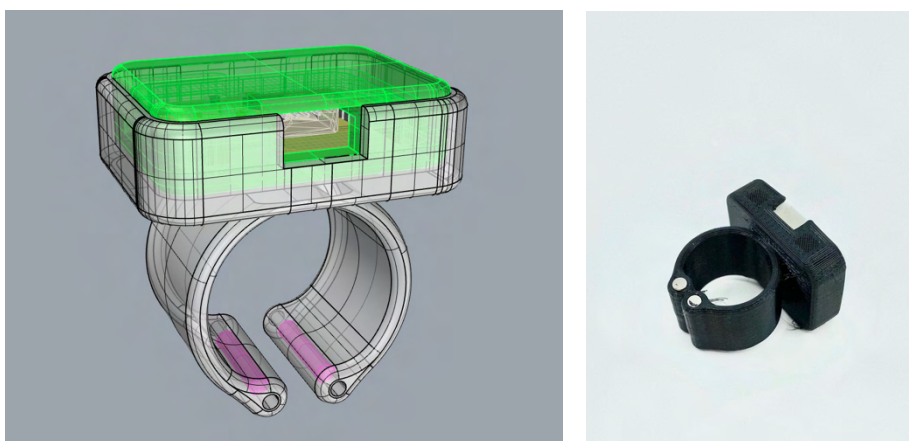
Organizér se skládá ze 4 vaků a kvádrového výstupku, který fixuje zásuvky pod ním. Pro účely povrchové úpravy jsou jednotlivé vaky tištěny samostatně. Součástí skořepiny jsou i otvory pro 4 magnety, které drží nad sebou drží velký senzor na zem.



Obr. 85: vizualizace skořepiny, archiv autora, 2022

Senzory na ruce

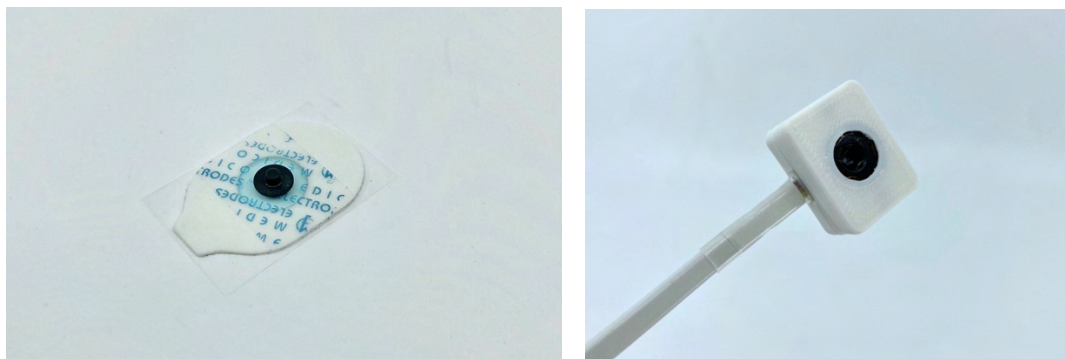
Do finální verze prstenu jsem umístila dva diametriální magnety o průměru 3mm. Jejich funkce spočívá v zabránění přetáčení prstenu vzájemným přitahováním a zároveň ukotvení prstenu uvnitř organizéru.



Obr. 86,87: Finální návrh gumového prstenu; Gumový prsten z TPU filamentu s vloženými tyčovými magnety, archiv autora, 2022

Senzory na tělo

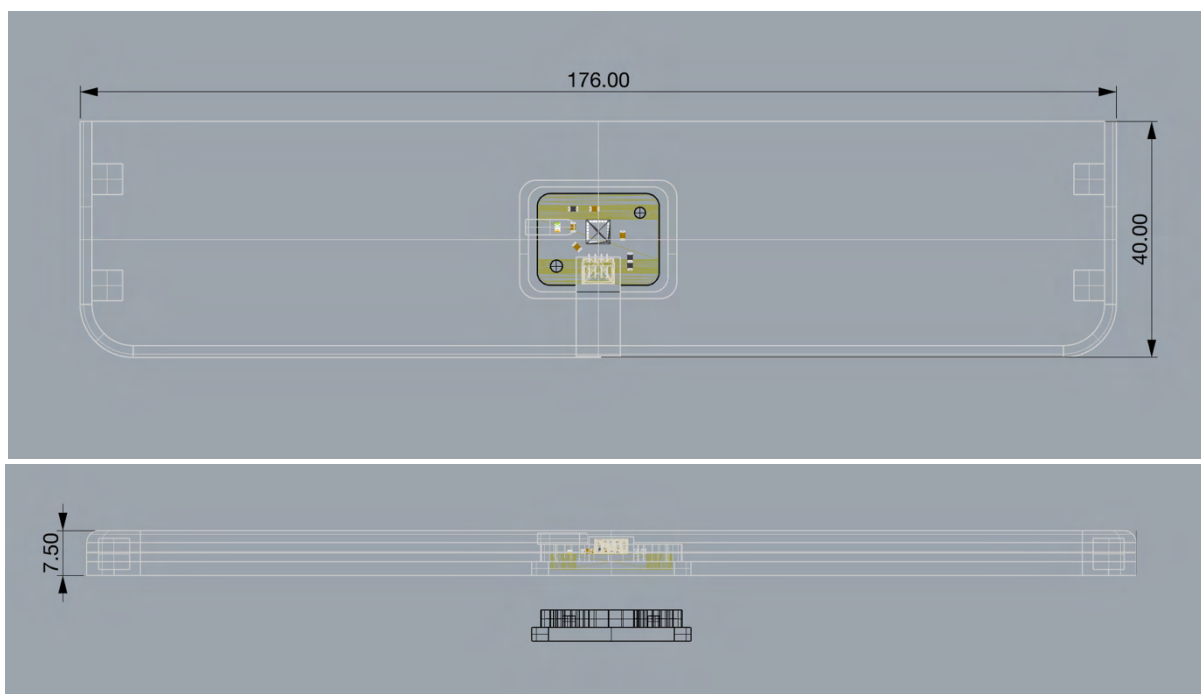
Vytištěný senzor na tělo obsahuje patentku, která zabezpečuje přichycení senzoru na EKG samolepku. Součástí senzoru jsou i dva magnety, které zabezpečují upevnění senzoru uvnitř organizéru.



Obr. 88,89: EKG samolepka; Senzor s patentkou, archiv autora, 2022

Senzor na zem

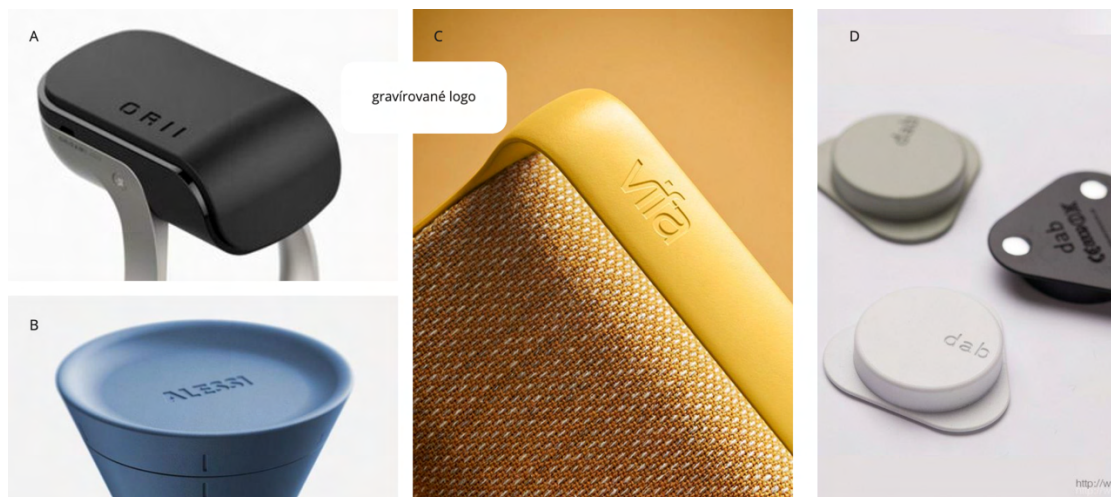
Senzor na zem je největší ze všech senzorů a rovněž obsahuje magnety, které zabezpečují ukotvení na řídicí jednotce. Sensorová deska je umístěná uprostřed plochy senzoru a kabel je do ní zaveden prostřednictvím tunelu, který zabraňuje vytažení.



Obr. 90,91: návrh senzoru na zem, archiv autora, 2022

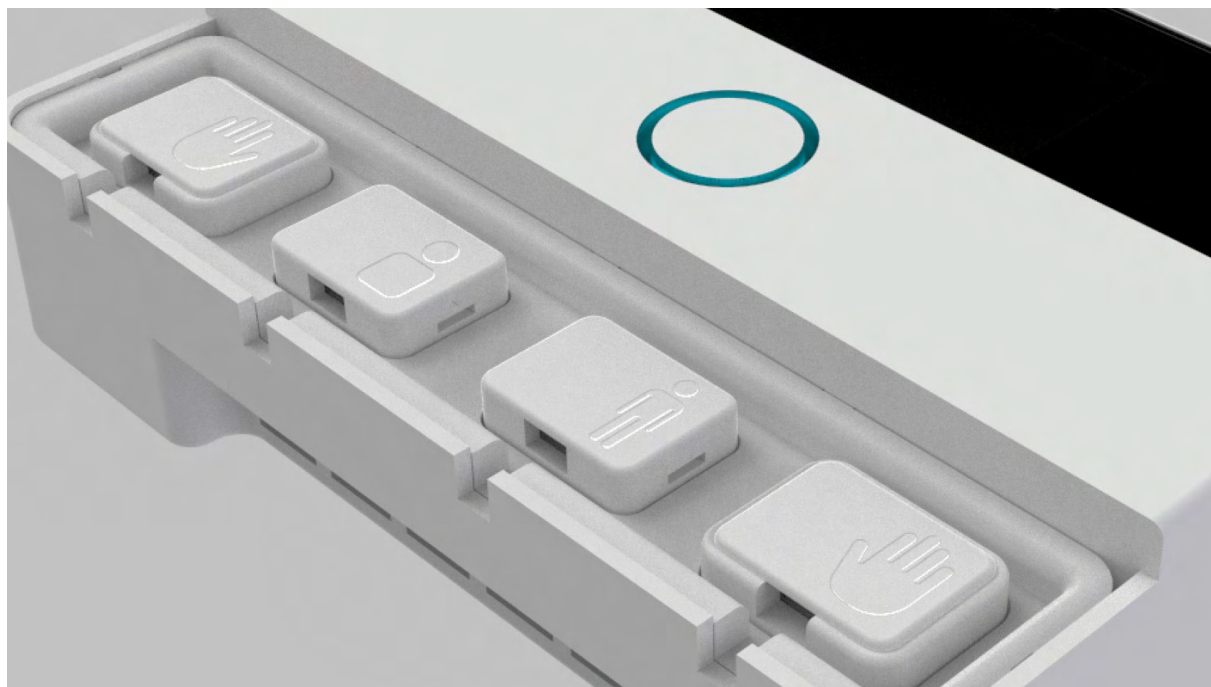
4.6. Označení senzorů a konektorů

Na základě rešerše jsem se rozhodla technologii 3D tisku využít i pro označení senzorů.



Obr. 92: rešerše možností 3D tisku pro označení produktu, koláž vícero zdrojů

Z důvodu globální srozumitelnosti a čitelnosti jsem místo písmen volila piktogramy. Piktogramy jsou záměrně vyosené, protože na horní levé straně senzoru bude umístěna LED dioda.



Obr. 93: označení senzorů, archiv autora, 2022

Stejné piktogramy formou laminované samolepky se opakují i na spodní straně přístroje.



Obr. 94: označení konektorů, archiv autora, 2022

4.7. Logo

Logo tvoří název přístroje *TremLog* – spojení slov Tremor a Logger. Pro tvorbu loga jsem zvolila jsem bezpatkový font Hurme Geometric Sans 3 Bold. V prototypech jsem vyzkoušela různé výšky loga. Nakonec jsem se rozhodla pro výšku 6 mm.



Obr. 95: Zvolená varianta – Hurme Geometric Sans, výška 6 mm

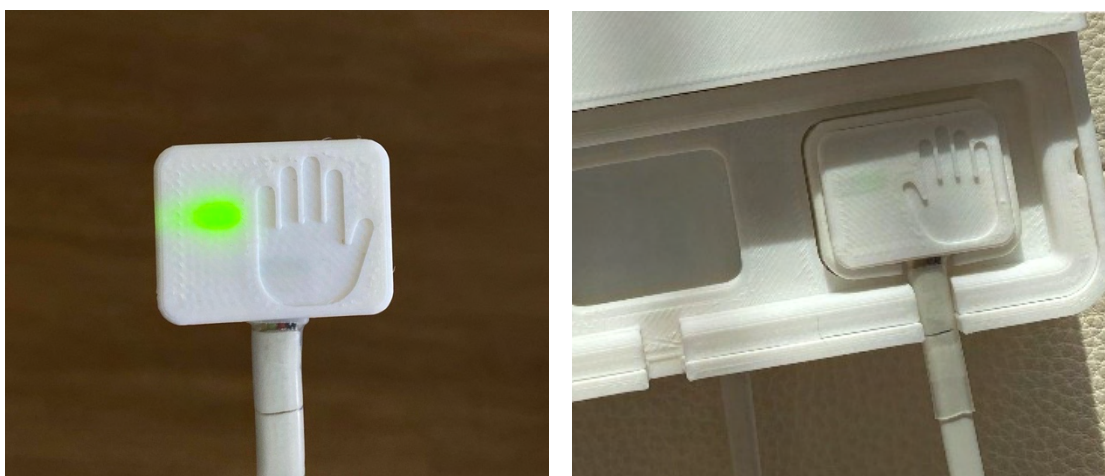
Pro finální přístroj jsem použila vyplotterovanou samolepku, která se nalepila na spodní stranu plexiskla překrývající displej přístroje.

4.8. Světlo

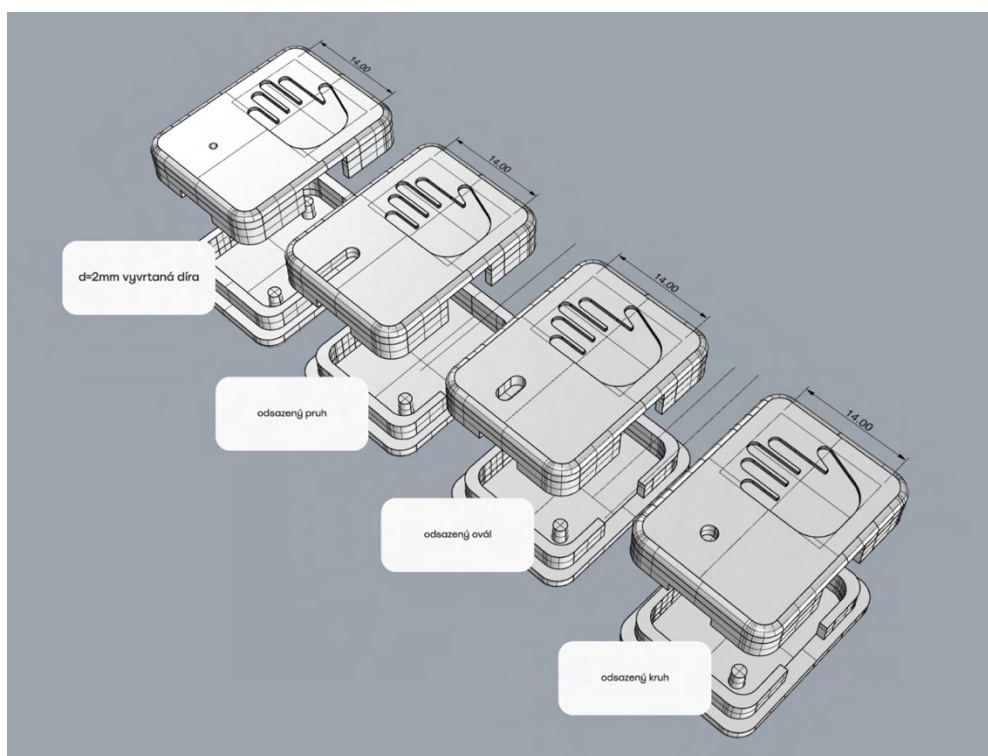
Důležitou roli v návrhu hraje světlo, které signalizuje správné zapojení senzorů a komunikuje stav přístroje s obsluhou.

Signalizace zapojení senzorů

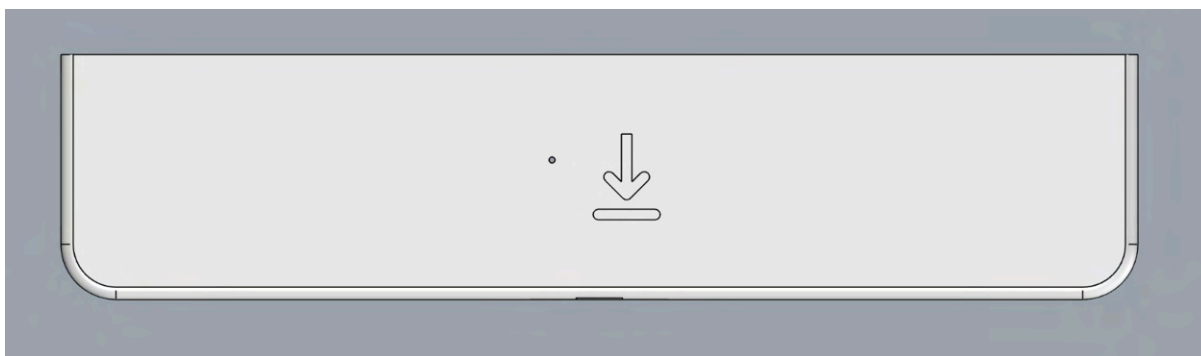
Zelená LED dioda v levém horním rohu senzoru obsluze sděluje informaci o zapojení senzoru. Pro umožnění viditelnosti LED diody jsem navrhla varianty ztenčení obalu v místě diody.



Obr. 96, 97: LED dioda na pokojovém světle vs. na přímém světle



Obr. 98: Varianty výřezu pro diodu, archiv autora, 2022



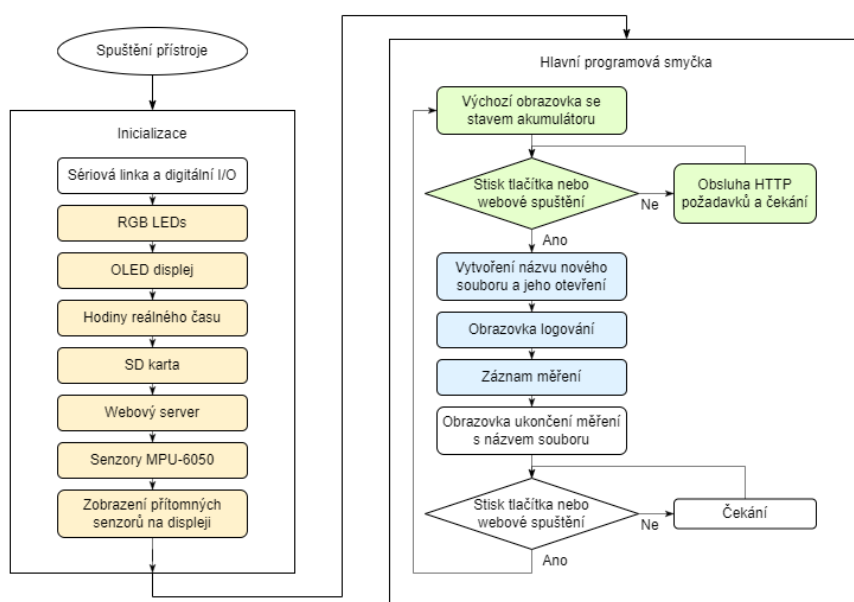
Obr. 99: Senzor na zem s piktogramem a výřezem pro diodu, 2022

Po bližším zkoumání jsem zjistila, že na přímém denním světle ztenčení neumožňuje dostatečnou viditelnost. Z toho důvodu jsem pro finální senzor navrhla vyvrtat díru o průměru 2mm. Do otvoru se následně průsvitný filament, aby senzor zůstal chráněný (zejména v průběhu dezinfikování přístroje).

Komunikace stavu přístroje

Na základě algoritmu navrženého Ing. Martinem Němcem přístroj dokáže prostřednictvím barevného podsvícení tlačítka komunikovat 5 stavů přístroje:

- **Inicializace** – oranžová
- **Připraveno k měření** – zelená
- **Průběh měření** – modrá
- **Měření dokončeno** – bílá
- **Chyba** – červená



Obr. 100: Schéma algoritmu navrženého Ing. Martinem Němcem

Jelikož měření probíhá zpravidla na denním světle, bylo nutné otestovat potřebnou intenzitu svítivosti RGB diody. Společně s Ing. Martinem Němcem jsme zvolili intenzitu 100 %. Průsvit kolem tlačítka je ve finálním prototypu řešen tiskem z černého filamentu.



Obr. 101,102,103: Srovnání intenzity světla – (zleva) 20%, 50% a 100%, archiv autora, 2022

5.FINÁLNÍ NÁVRH

Řídící jednotka

Finální design přístroje TremLog spočívá v kompaktní řídící jednotce s integrovaným organizérem pro uskladnění senzorů. Vnější vzhled přístroje vychází z jeho funkce, která spočívá v senzorickém měření tremoru u pacientů s roztroušenou sklerózou. Přístroj je vyváženě rozdělený na tři části – displej, ovládací tlačítko a senzor na zem.

Na zařízení je použitý OLED displej o rozměru 2,42", který komunikuje s obsluhou prostřednictvím textové informace. Konkrétně obsluze sděluje: výčet zapojených senzorů, pokyny k měření, název uloženého souboru a stav baterie. Za účelem vyváženého vzhledu řídící jednotky je displej opticky rozšířen černým plexisklem. Plexisklo zároveň plní ochrannou funkci displeje i loga. Logo je pracovním názvem zařízení, které je tvořeno spojením slov tremor a logger²⁸.



Obr. 104: Řídící jednotka, archiv autora, 2022

²⁸ NĚMEC, Martin, 2022. *Návrh a realizace zařízení pro snímání tremoru*. Praha. Diplomová práce. Fakulta elektrotechnická ČVUT v Praze. Vedoucí práce Ing. Jan Havlík, Ph.D. (nepublikováno)

Hlavní ovládací tlačítko je umístěno ve střední části řídicí jednotky. Celé tlačítko včetně systému pružení je vyrobeno technologií 3D tisku. Z důvodu zachování stálosti vnějšího vzhledu při častém používání je na hmatník tlačítka použita lesklá povrchová úprava. Tlačítko je ohraničeno podsvíceným kruhem z průsvitného filamentu. Podsvícení se barevně mění v závislosti na stavu přístroje:

- Inicializace přístroje – oranžová
- Přístroj připraven k měření – zelená
- Průběh měření – modrá
- Měření dokončeno – bílá
- Chyba přístroje – červená

Barevné podsvícení je v kontrastu s bílou matnou povrchovou úpravou celého zařízení.

Senzor na zem obsahuje na horní straně piktogram, který byl vytvořený technologií 3D tisku. Piktogram navrhuje na umístění a manipulaci se senzorem. Senzor je pevně uchycený na řídicí jednotku díky 4 magnetům, které jsou pomocí technologie 3D tisku zatavené do rohů senzoru. Nalevo od piktogramu je umístěna LED dioda signalizující správné zapojení senzoru.

Stabilní dojem celého přístroje je umocněný mírným zapuštěním zásuvek konektorů, které vytváří dojem pevných nožiček.



Obr. 105: Vodorovné uložení senzorů, archiv autora, 2022

Senzory

Zařízení obsahuje 5 senzorů – senzor na zem, senzor na pravou ruku, senzor na levou ruku, senzor za krk a univerzální senzor na tělo. Všechny senzory jsou založeny na principu ochranného rozebíratelného obalu s LED diodou, která signalizuje správné zapojení. Piktogram vytištěný na horní straně obalu senzoru navádí na jeho správné umístění. Senzory se liší pouze ve způsobu upevnění na tělo pacienta.

Jako první se z řídicí jednotky odejme senzor na zem. Pokládá se na podlahu a měří třes budovy za účelem zpřesnění hodnoty naměřeného třesu pacienta.



Obr. 106: Senzor na zem, archiv autora, 2022

Pod senzorem na zem se nachází zbylé 4 senzory, které jsou uloženy ve vodorovné poloze tak, aby byly připraveny na kalibraci. Senzory jsou vytištěny z medicínsky nezávadného filamentu a nemají povrchovou úpravu, protože přichází do kontaktu s tělem pacienta.

Senzory na ruce jsou vloženy do univerzálního polootevřeného prstenu z flexibilního materiálu, který umožňuje upevnění senzoru na prsty různých průměrů. Nechtěné přetáčení prstenu je řešeno pomocí tyčových diametrálních magnetů, které vzájemným přitahováním prsten fixují. Magnety jsou vloženy do tunelů vytvořených 3D tiskem.



Obr. 107: Senzor na prst, archiv autora, 2022



Obr. 108: Nasazování senzoru na prst, archiv autora, 2022

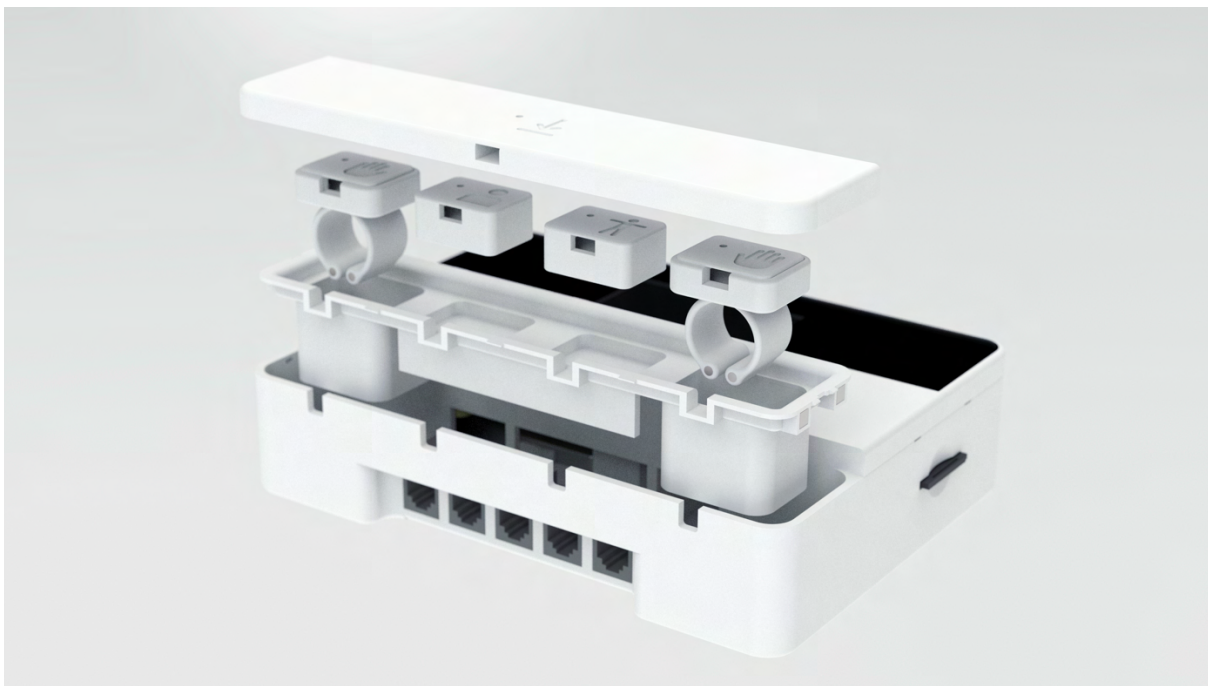
Senzory na tělo obsahují patentku zatavenou pomocí technologie 3D tisku, která se z hygienických důvodů připíná na jednorázovou EKG samolepku – ta se následně nalepí na tělo pacienta.



Obr. 109: Senzor upevněný za krk, archiv autora, 2022

Organizér

Senzory jsou umístěny v organizéru, který zabraňuje zamotávání kabelů, čímž se značně zjednodušuje manipulace s přístrojem a zároveň zkracuje čas potřebný k nasazení senzorů na pacienta. Organizér je tvořen čtyřmi samostatnými členěnými prostory (dva hlubší pro prsteny a dva mělké pro senzory na tělo) a dlouhým výběžkem, který fixuje konektory uvnitř přístroje. V rozích organizéru jsou umístěny 4 magnety, které přitahují velký senzor na zem. Z důvodu rozebíratelnosti (umožnění přístupu k vyjmutí konektorů) je organizér tvořen skořepinovou konstrukcí, která je v řídicí jednotce upevněna pomocí výstupků na skořepině a jim odpovídajících vybrání na vnitřní stěně přístroje. Demontáž je umožněna pomocí vybrání pro šroubovák. V přední části organizéru jsou U-profily, které zabezpečují uchycení kabelu.



Obr. 110: Rozklad organizéru, archiv autora, 2022

Konektory a kabeláž

Senzory jsou s řídicí jednotkou spojeny prostřednictvím kabelů. Pro tento účel jsou použity čtyři drátové telefonní kabely o délce 1,75m. Na koncích kabelů jsou umístěny konektory *RJ11*, které se vkládají do příslušných zásuvek *623K* na řídicí jednotce. Konektory umožňují pohodlné vyjmutí kabelů za účelem uskladnění nebo výměny. Pro opětovné správné zapojení jsou na spodní straně řídicí jednotky jednotlivé zásuvky označeny laminovanou samolepkou s odpovídajícími piktogramy.

Výrazný technický vzhled zásuvek konektorů je potlačen jejich mírným zapuštěním do přední stěny přístroje. Boční stěny kolem zásuvek jsou tvarovány tak, aby nebránily v pohodlné manipulaci s konektory.

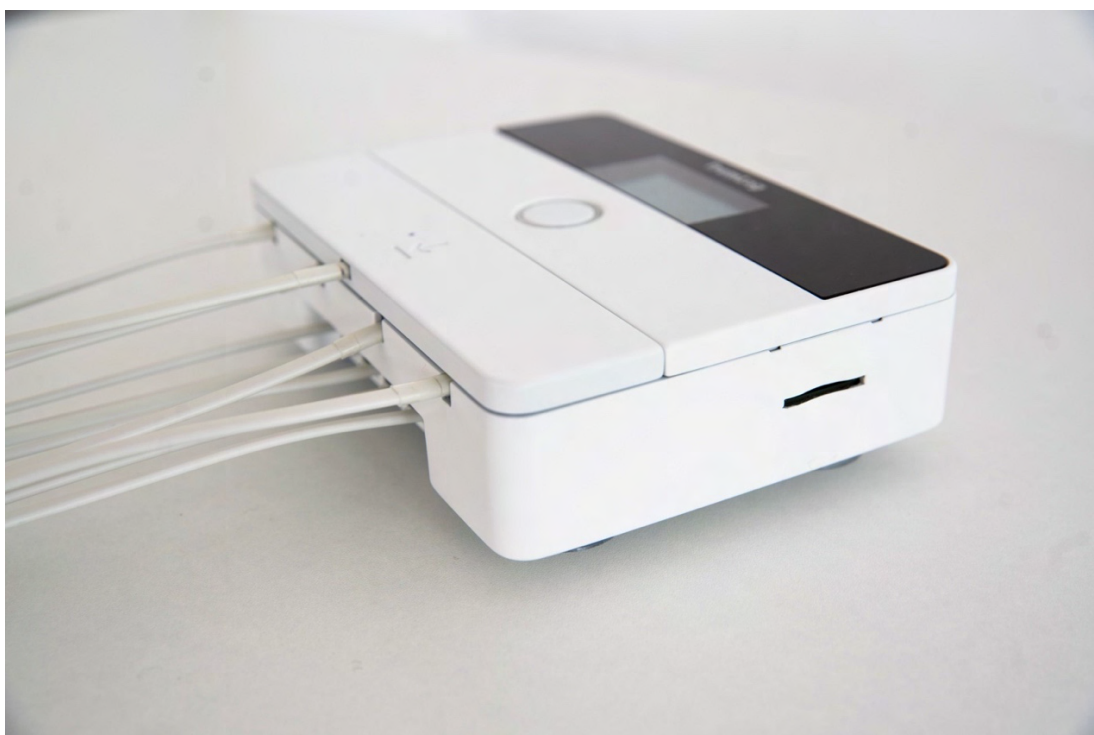
Na spodní straně přístroje se nachází CE štítek a čtyři silikonové přísavky, které zajišťují uchycení přístroje na povrchu stolu. Přísavky jsou v řídicí jednotce upevněny pomocí M4 šroubu a snížené matice uvnitř přístroje.



Obr. 111: Vkládání konektorů, archiv autora, 2022

Vstupy pro SD kartu, micro USB

Na boční stěně přístroje se nachází konkávní vstup pro SD kartu, který svým tvarováním usnadňuje její vyjmutí.



Obr. 112: Otvor na SD kartu, archiv autora, 2022

Na protilehlé stěně se nachází posuvné tlačítko on / off a vstup na micro USB společně s červenou LED diodou signalizující napájení. Hmatník tlačítka on / off je samostatnou součástí, která byla vytvořena technologií 3D tisku.

Na přiložené fotografii lze vidět i linii, která rozděluje řídicí jednotku na horní a spodní kryt. Pro pohodlnou demontáž horního krytu jsou po obvodu umístěny vybrání na šroubovák.



Obr. 113: Vstup micro USB a on / off tlačítko, archiv autora, 2022

Vnitřní konstrukce

Vnitřní konstrukce přístroje je přizpůsobena použité elektronice. Pro upevnění řídicí desky jsou v rozích navrženy 4 sloupky se zatavenými vložkami pro M3 šrouby. Pod střední částí řídicí desky jsou 2 výztuže, které zabraňují ohybu řídicí desky při mačkání hlavního tlačítka. Místo pro baterii je vymezeno čtyřmi pružnými T-profily. Ve spodní stěně přístroje jsou do 3D tisku ukotveny snížené M4 matice pro našroubování přísavky. Displej je upevněný na distančních sloupcích.

Interakce

Interakce s přístrojem TremLog spočívá v zapnutí přístroje posuvným tlačítkem on / off, přičemž se hlavní tlačítko přístroje rozsvítí oranžovým světlem. Následně obsluha odejme senzor na zem z řídicí jednotky a položí ho na podlahu. Zelené světlo na senzoru signalizuje jeho správné zapojení. Obsluha postupně vybírá senzory z organizéru a nasazuje je na tělo pacienta.



Obr. 114: Nasazování senzoru na prst, archiv autora, 2022



Obr. 115: Nasazování senzoru za krk pacienta, archiv autora, 2022

Hlavní tlačítko přístroje svítí zeleným světlem – přístroj je připraven k měření. Pacient předpaží obě ruce a drží je předpažené po dobu celého měření. Po zmáčknutí tlačítka přístroj 60 vteřin měří třes pacienta.



Obr. 116: Průběh měření tremoru, archiv autora, 2022

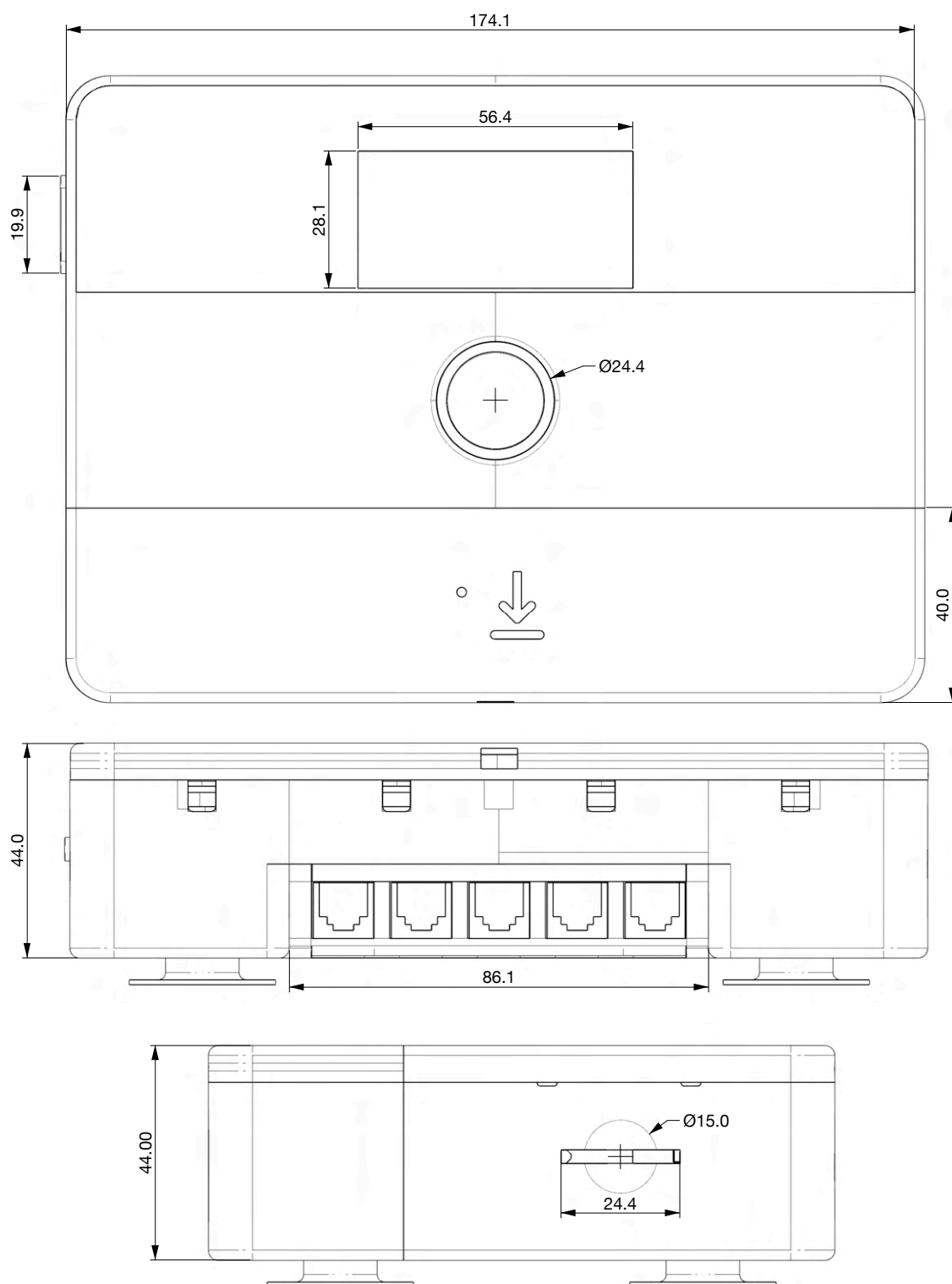
Po uplynutí času se měření samo zastaví a tlačítko se rozsvítí bílým světlem. Opětovným zmáčknutím tlačítka se přístroj vrátí do stavu připravenému k dalšímu měření. Měření se opakuje se zavřenýma očima. Po skončení měření obsluha vrátí senzory do organizéru. Přístroj je připravený na další měření.



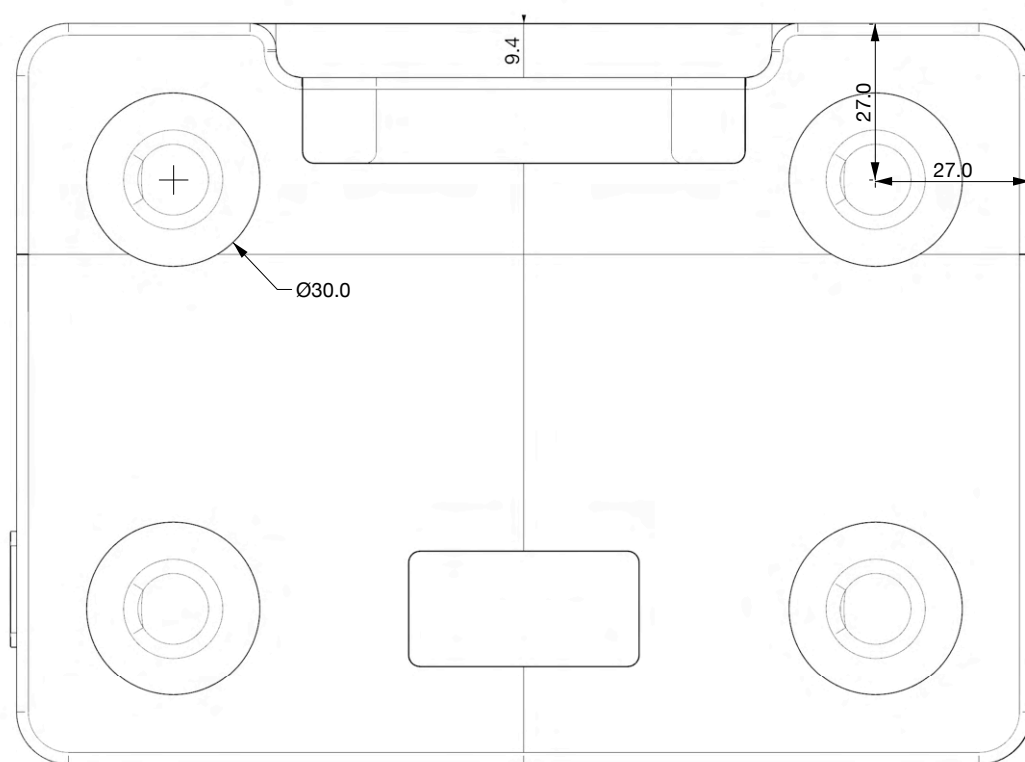
Obr. 117: Ukončené měření, archiv autora, 2022

6. TECHNICKÁ DOKUMENTACE

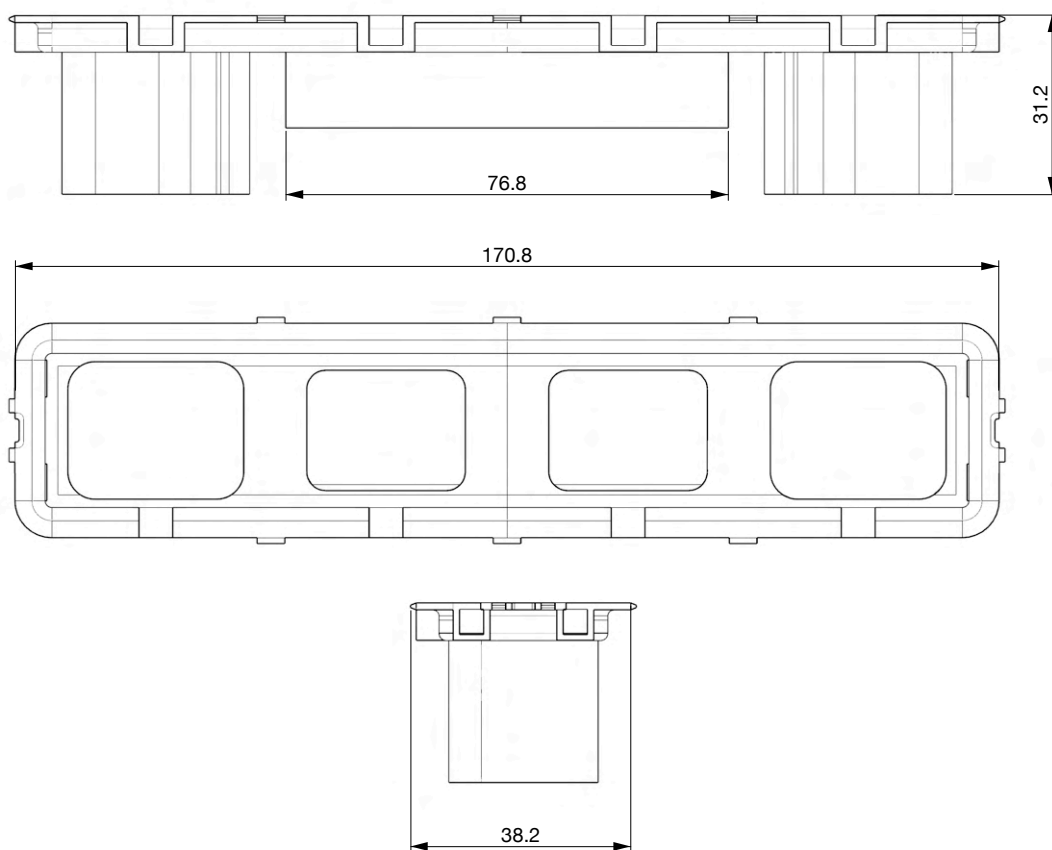
6.1. Rozměrový výkres



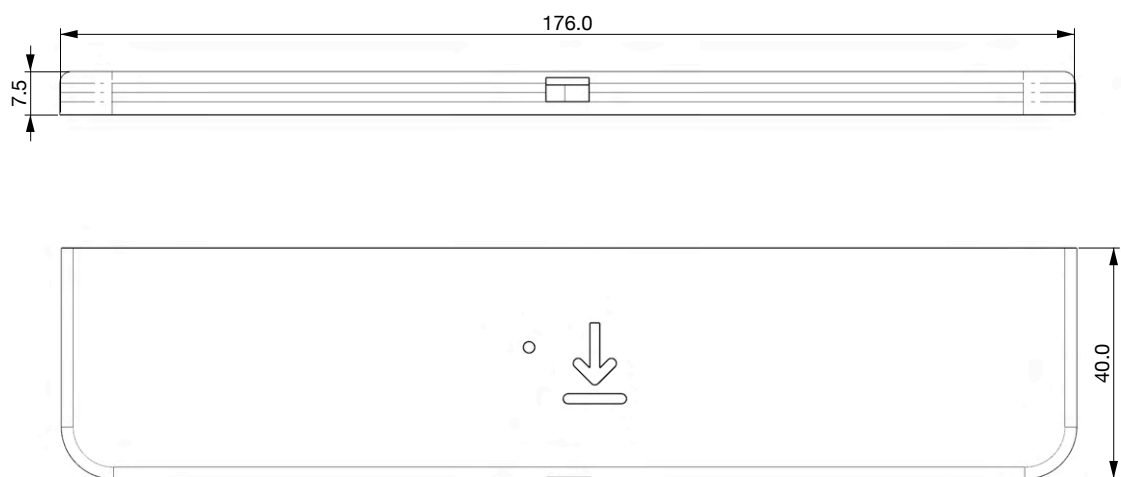
Obr. 118: Rozměrový výkres řídicí jednotky, 1:1, rozměry uvedeny v mm, archiv autora, 2022



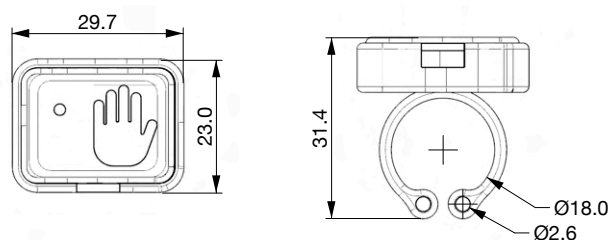
Obr. 119: Rozměrový výkres řídící jednotky – pohled zespodu, 1:1, rozměry uvedeny v mm, archiv autora, 2022



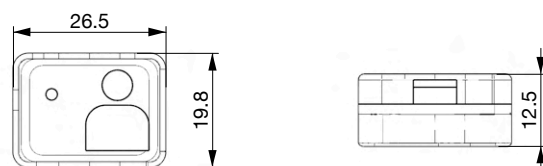
Obr. 120: Rozměrový výkres organizéru, 1:1, rozměry uvedeny v mm archiv autora, 2022



Obr. 121: Rozměrový výkres senzoru na zem, 1:1, rozměry uvedeny v mm archiv autora, 2022



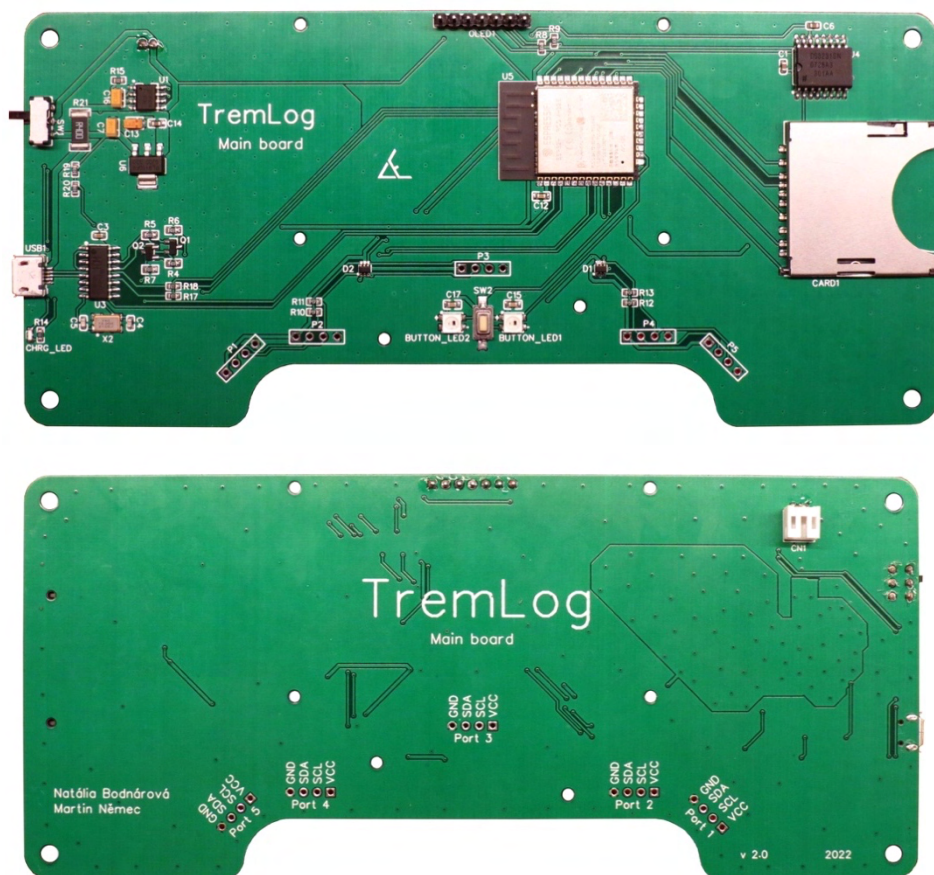
Obr. 122: Rozměrový výkres senzoru na prst, 1:1, rozměry uvedeny v mm archiv autora, 2022



Obr. 123: Rozměrový výkres senzoru na tělo, 1:1, rozměry uvedeny v mm archiv autora, 2022

6.2. Elektronika

Elektronika přístroje byla navržena a realizována Ing. Martinem Němcem a detailně je popsána v jeho diplomové práci s názvem *Návrh a realizace zařízení po měření tremoru*²⁹.



Obr. 124: Řídicí deska navržena a realizována Ing. Martinem Němcem



Obr. 125: Senzorová deska navržena a realizována Ing. Martinem Němcem

²⁹ NĚMEC, Martin, 2022. *Návrh a realizace zařízení pro snímání tremoru*. Praha. Diplomová práce. Fakulta elektrotechnická ČVUT v Praze. Vedoucí práce Ing. Jan Havlík, Ph.D. (nepublikováno)

6.3. Materiál

Pro výrobu přístroje je použita technologie 3D tisku a to z důvodu současného plánu zadavatele na výrobu pouze pěti kusů.

Řídící jednotka přístroje je vytištěna z ABS filamentu TitanX od značky Form Futura, který má na rozdíl od běžných ABS filamentů vylepšené vlastnosti po stránce preciznosti tisku a nízké deformace.³⁰ Materiál je zvolený zejména kvůli své tuhosti a odolnosti vůči vysokým teplotám. Za účelem zamezení průsvitnosti tisku byl použitý černý filament.

Vzhledem k tomu, že senzory přicházejí do kontaktu s pacientem – jsou vytištěny z PLA filamentu od značky Flashforge, který je zdravotně nezávadný. Pro výrobu prstenu byl použit TPU filament Python Flex od značky Form Futura, který se vyznačuje flexibilitou a elasticitou.³¹

Průsvitná vlastnost tlačítka je zajištěna tiskem z transparentního PLA filamentu značky Flashforge.

3D tisk byl profesionálně opracován v lakovně Servind. Povrchová úprava sestává z adhezivního primeru od značky Hesse, laku Extreme klar od značky Standox a barvy Mäder nuvo vern DS v odstínu RAL 9003 – Signal White. Černá část přístroje je v odstínu RAL 9005 – Jet Black.



Obr. 126,127: proces povrchové úpravy, hotová povrchová úprava, archiv autora, 2022

³⁰ TitanX. In: [Www.formfutura.com](https://www.formfutura.com) [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.formfutura.com/shop/product/titanx-2846>

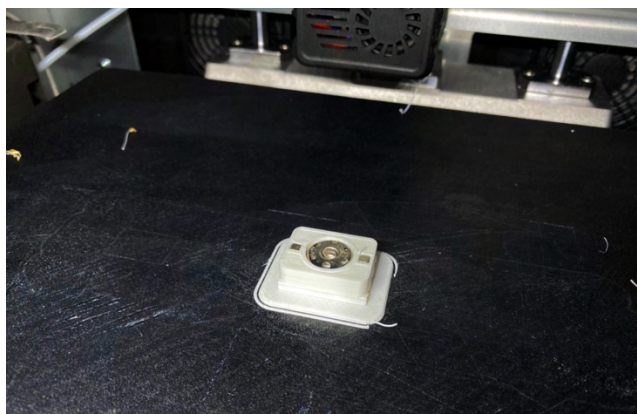
³¹ Python Flex. In: [Www.formfutura.com](https://www.formfutura.com) [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.formfutura.com/shop/product/python-flex-2835?category=464>

6.4. Technologie výroby

Přístroj je vyroben postupným FDM tiskem jednotlivých dílů na domácí 3D tiskárně. Celkem se přístroj skládá z 12 částí:

- Spodní díl řídicí jednotky
- Horní kryt řídicí jednotky
- Skořepina organizéru (pro lakování tištěna ze 4 částí a posléze slepena), obsahuje 4 magnety o rozměru 4x4x4 mm
- Senzor na zem (horní a spodní kryt), obsahuje 4 magnety o rozmeru 5x5mm
- 2x Senzor na prst (horní a spodní kryt)
- 2x Senzor na tělo (horní a spodní kryt)
- 2x flexibilní prsten, obsahuje 2 tyčové magnety o průměru 3 mm a délce 8mm
- Hmatník hlavního tlačítka a průsvitný díl zajišťující pružení
- Hmatník on/off tlačítka

Pro výrobu zařízení je specifický postup výroby dílů s magnety. Ten spočíval v zastavení tisku pro vložení magnetů a následném dotištění dílu. Tím byla umožněna výroba součástí bez potřeby lepených spojů.



Obr.128: Zatištění magnetů a patentky během tisku, archiv autora, 2022

Jediný díl, který není vyrobený 3D tiskem je 1mm plexisklo, které je na míru vyřezané na laseru. Plexisklo je ze zadní strany nalakované černou barvou, aby se dalo vložit do výřezu v horním krytu bez viditelnosti lepidla. Dále jsou použity zakoupené přísavky a snížené matice M4. Pro logo, označení konektorů a CE štítek jsou použity samolepky vyrobeny na plotteru.

Cena výroby prvního prototypu zařízení se orientačně pohybuje kolem pěti tisíc českých korun. Cena zahrnuje jenom 3D tisk, příslušenství a použitou elektroniku.

7. ZÁVĚR A REFLEXE

V závěru mé bakalářské práce bych chtěla poděkovat vedoucímu ateliéru MgA. Martinovi Tvarůžkovi, že podpořil můj návrh věnovat se v rámci bakalářské práce designu zařízení ve spolupráci s FEL ČVUT. Velmi si vážím, že jsem dostala tímto způsobem příležitost stát se alespoň na chvíli členem vývojového týmu Ing. Jana Havlíka PhD a z naší spolupráce si odnáším do budoucích projektů neocenitelné zkušenosti.

Skutečnost, že se jednalo o návrh, který se bude potenciálně testovat v ordinaci, dával celému projektu nový rozměr a pravidla. Uvědomila jsem si, jaká omezení ve tvůrčí práci designéra přináší technologické parametry a jaká je pro dobrý výsledek důležitá komunikace a týmová spolupráce. Během celé práce bylo nutné dělat řadu kompromisů a podřídit se technickým, ekonomickým a časovým požadavkům zadavatele. Navíc jsem si musela osvojit terminologii elektroniky a řešit úskalí související s realizací funkčního zařízení. Taktéž jsem se nemohla opřít o řešerše podobných produktů, jelikož se zařízení toho druhu zatím na trhu nevyskytuje.

V procesu tříměsíční intenzivní práce jsem pečlivě analyzovala zejména umístění přístroje. Původní zařízení bylo navrženo na tělo, ale poznatky z praxe ukazovaly, že se preferuje varianta na stole. Z důvodu rozšíření počtu senzorů jsem se však snažila ověřit, jestli původní záměr není pro používání vhodnější. Přínosem celé analýzy bylo vyloučení pochybností a zvolení jednoznačného umístění zařízení na stůl.

Dále vzniklo množství variant a 3D tištěných prototypů, prostřednictvím kterých jsem si prohloubila mé znalosti o materiálech a technologii 3D tisku. Pochopila jsem, jaký klíčový význam má prototypování v procesu navrhování, obzvláště z hlediska zajištění ergonomie produktu. Taky jsem se ujistila v důležitosti uživatelského průzkumu – v mém případě formou rozhovoru s uživatelem – který přinesl nové inovační podněty do designu a funkce zařízení.

Chtěla bych zdůraznit, že finální návrh zařízení plní požadovaný účel, a navíc zohledňuje uživatelský komfort a estetiku medicínského přístroje, a to při akceptování všech technologických podmínek zadavatele. Uvedené prvky tak z původně čistě funkčního zařízení vytváří produkt, který má ambici být do budoucna uveden na trh.

Kdybych měla možnost pokračovat v návrhu zařízení, snažila bych se o zpracování poznatků získaných z testování produktu v ordinaci. Prostor pro konkrétní zlepšení již teď vidím v konstrukci senzorů. Zpětně bych přehodnotila požadavek na jejich rozebíratelnost za účelem pevnějšího sevření konektoru. V bakalářské práci jsem do časového fondu musela zahrnout především čas potřebný k dotažení technických detailů a samotné realizaci produktu. Pokud bych však měla větší časové možnosti, věnovala bych více času i tvarování přístroje.

V neposlední řadě chci poděkovat i Ing. Martinovi Němcovi za jeho ochotu spolupracovat, konzultovat a realizovat navrhované změny. Jeho úlohou bylo realizovat funkční zařízení, mým úkolem bylo vytvořit uživatelský komfort, který definuje výrobek jako reálný produkt. Věřím, že i pro něj to byla nejen užitečná zkušenost, ale i příležitost nahlédnout do oblasti designu a pochopit práci designéra v procesu vývoje nového produktu. V rámci našich společných setkání jsem si i já uvědomila, že zájem designéra pochopit fungování navrhovaného produktu podněcuje zadavatele k přehodnocení dosavadních postupů a otevírá prostor pro inovaci.

Na závěr bych chtěla zdůraznit, že i přestože jsem během celého procesu musela čelila mnohým výzvám, bylo pro mě velmi přínosné, již během studia mít možnost konfrontovat mé schopnosti a vědomosti s praxí.

8.ZDROJE

Elektronické zdroje

Accelerometer vs Gyroscope sensor, and IMU, how to pick one?, 2020.

In: *Www.seeedstudio.com* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z:

<https://www.seeedstudio.com/blog/2019/12/24/what-is-accelerometer-gyroscope-and-how-to-pick-one/>

Biomedical Electronics Group [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <http://bmeg.fel.cvut.cz/>

Cévní mozková příhoda. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA):

Wikimedia Foundation [cit. 2022-05-19]. Dostupné z:

https://cs.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9vn%C3%AD_mozkov%C3%A1_p%C5%99%C3%ADhoda

Co je to RS?. In: *Www.erestymcr.cz* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z:

<https://www.erestymcr.cz/zivot-s-rs/default/co-je-to-rs>

HANOUSKOVÁ, Iva, 2017. *Návrh a realizace zařízení pro měření tremoru* [online]. [cit. 2022-05-19].

Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/68622/F3-DP-2017-Hanouskova-Iva-Hanouskova_DP.pdf?sequence=-1&isAllowed=y. Diplomová práce. Vedoucí práce Ing. Jan Havlík, Ph.D.

HAVLÍK, Jan, et al. Design and realization of measuring device for tremor evaluation. 2015 *International Workshop on Computational Intelligence for Multimedia Understanding (IWCIM)* [online]. 2015 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z:

http://bmeg.fel.cvut.cz/wp-content/uploads/2016/02/Havlik-DESIGN_AND_REALIZATION_OF_MEASURING_DEVICE_FOR_TREMOR_EVALUATION.pdf.

HLADÍKOVÁ, Hana, 2021. *Klasifikace tremoru u pacientů s roztroušenou sklerózou* [online]. Praha [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/94431/F3-BP-2021-Hladikova-Hana-Klasifikace_tremoru_u_pacientu_s_roztrousenou_sklerozou.pdf?sequence=-1&isAllowed=y.

Bakalářská práce. FEL ČVUT v Praze. Vedoucí práce Ing. Jan Havlík, Ph.D.

KOCH, Marcus, et al. Tremor in multiple sclerosis. *Journal of Neurology* [online]. 2007, 254(2), 133-145 [cit. 2022-05-19]. ISSN 1432-1459. Dostupné z:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1915650/>

NĚMEC, Martin, 2022. *Návrh a realizace zařízení pro snímání tremoru*. Praha. Diplomová práce. FEL ČVUT v Praze. Vedoucí práce Ing. Jan Havlík, Ph.D. (nepublikováno)

Python Flex. In: *Www.formfutura.com* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z:

<https://www.formfutura.com/shop/product/python-flex-2835?category=464>

Roztroušená skleróza. In: *Www.medimerck.cz* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z:

<https://www.medimerck.cz/cz/home/SM/about-SM.html>

RŮŽIČKA, Evžen, 2016. *Tremor* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.lf2.cuni.cz/files/page/files/2016/tremor.pdf>

ŘASOVÁ, Kamila. *Protokol studie: Virtuální realita ve fyzioterapii nemocných s roztroušenou sklerózou – cesta k zefektivnění plastických a adaptačních procesů mozku.*

SMAGA, Sharon. Tremor. *Am Fam Physician* [online]. 2003, 68(8), 1545-1552 [cit. 2022-05-19]. ISSN 1532-0650. Dostupné z: <https://www.aafp.org/afp/2003/1015/p1545.html>

ŠTEFÁNEK, Jiří. Demyelinizace. In: *Www.stefajir.cz* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.stefajir.cz/demyelinizace>

THOMAS, Liji. Tremors Following Stroke. In: *Www.news-medical.net* [online]. 2019 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.news-medical.net/health/Tremors-Following-Stroke.aspx>

TitanX. In: *Www.formfutura.com* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.formfutura.com/shop/product/titanx-2846>

Rozhovory

HAVLÍK, Jan [ústní sdělení]. Praha, 17. 2. 2022

MIZNEROVÁ, Barbora [ústní sdělení]. Praha, 7.3.2022

9. PŘÍLOHY

Obrazové přílohy

Obr. 1: Časový harmonogram bakalářské práce, archiv autora, 2022

Obr. 2: Řídící jednotka – původní zařízení z roku 2017, archiv autora, 2022

Obr. 3: Senzor MPU6050 – původní zařízení z roku 2017, archiv autora, 2022

Obr. 4: Ing. Iva Hanousková, Schéma algoritmu, 2017. In: *Www.dspace.cvut.cz* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/68622/F3-DP-2017-Hanouskova-Iva-Hanouskova_DP.pdf?sequence=-1&isAllowed=y

Obr. 5, 6: Ordinace a pracovní stůl ve Fakultní Thomayerově nemocnici v Praze, archiv autora, 2022

Obr. 7: Uskladnění přístroje na stole, archiv autora, 2022

Obr. 8, 9: Nasazování senzoru, archiv autora, 2022

Obr. 10, 11: Lékař jednou rukou přidržuje přístroj, archiv autora, 2022

Obr. 12: (zleva) Varianta umístění přístroje kolem pasu, na hrudi a na zádech, archiv autora, 2022

Obr. 13: Varianta umístění přístroje na zdi, archiv autora, 2022

Obr. 14: Rešerše organizérů kabeláže - univerzální držák kabelu, organizér, rukojeť, kabelová spona. In: *Www.vashop.cz* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: https://www.vashop.cz/Univerzalni-drzak-kabelu-organizer-rukojet-kabelova-spona-d33598.htm?gclid=CjwKCAiAyPyQBhB6EiwAFUuakl3XNR5mc-vVC_-8vIBx7V6MKmfD0oUmK2vz1HB0dGc2GoHrgiYUqhoCXfoQAvD_BwE

Obr. 15: Rešerše organizérů kabeláže. In: *Www.goodhousekeeping.com* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.goodhousekeeping.com/electronics/g26783483/cord-management-solutions/>

Obr. 16: Rešerše organizérů kabeláže. In: *Www.goodhousekeeping.com* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.goodhousekeeping.com/electronics/g26783483/cord-management-solutions/>

Obr. 17: Vize umístění přístroje na krk, archiv autora, 2022

Obr. 18, 19, 20: Prototyp umístění přístroje na krku, archiv autora, 2022

Obr. 21: Vize umístění přístroje na stůl, archiv autora, 2022

Obr. 22, 23, 24: Prototyp umístění přístroje na stole, archiv autora, 2022

Obr. 26: Analýza slučitelnosti prvků, archiv autora, 2022

Obr. 27: Neergonomické umístění tlačítka při přenosu řídicí jednotky do pásu na krk, archiv autora, 2022

Obr. 28: Vize kombinovaného umístění přístroje, archiv autora, 2022

Obr. 29: Senzorová deska navržena Ing. Martinem Němcem, rozměry: 15x20mm, archiv autora, 2022

Obr. 30, 31: Ochranný obal senzoru, rozměry 9x27x10 mm, archiv autora, 2022

Obr. 32, 33: Senzor na prst – původní zařízení z roku 2017, archiv autora, 2022

Obr. 34: Rešerše univerzálních prstenů, koláž vícero zdrojů

Obr. 34: Rešerše univerzálních prstenů, koláž vícero zdrojů

A- In: *Www.pinterest.co.uk* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.pinterest.co.uk/pin/424886546107491319>

B- In: *Www.pinterest.co.uk* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.pinterest.co.uk/pin/33706697199717812>

C- In: *Www.pinterest.co.uk* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.pinterest.co.uk/pin/166844361168706877>

D- In: *Www.fruugo.cz* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.fruugo.cz/simple-feather-adjustable-ring/p-63353319-127870320>

E- In: *Www.pinterest.co.uk* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.pinterest.co.uk/pin/424886546107491367>

F- In: *Www.pinterest.co.uk* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.pinterest.co.uk/pin/451697037633923230>

Obr. 35: Prototyp upevnění senzoru mezi prsty, archiv autora, 2022

Obr. 36: Upevnění na zápěstí a na dlani, archiv autora, 2022

Obr. 37: Papírový prototyp polootevřeného prstenu, archiv autora

Obr. 38: Prototypy prstenu z PLA, archiv autora, 2022

Obr. 39: Prototyp prstenu z TPU, archiv autora, 2022

Obr. 40: 3D model prstenu, archiv autora, 2022

Obr. 41: Schéma principu upevnění senzoru pomocí patentky a EKG samolepky, archiv autora, 2022

Obr. 42: Schéma principu umístění senzoru na zem, archiv autora, 2022

Obr. 43: Analýza umístění přístroje na stole, archiv autora; Analýza vertikální a horizontální orientace organizéru, archiv autora, 2022

Obr. 44: Schéma organizéru na přední straně řídicí jednotky, archiv autora, 2022

Obr. 45: Varianty možných uspořádání senzorů, archiv autora, 2022

Obr. 46: Schéma zvolené varianty uspořádání senzorů v organizéru, archiv autora, 2022

Obr. 47, 48. Tvar řídicí jednotky s naznačenými vstupy, rozměry 96x91x36 mm, archiv autora, 2022

Obr. 49, 50: Řídicí jednotka se senzory v organizéru, Rozměry: 130x100x50 mm, archiv autora, 2022

Obr. 51, 52: vodorovná orientace všech senzorů – zabránění ohybu kabelu po kratší straně, 150x110x40mm, archiv autora, 2022

Obr. 53, 54: umístění přístroje na stole, rozměry 150x110x40mm, archiv autora, 2022

Obr. 55 : servisní konektory, JST 4-pin. In: *Www.aliexpress.com* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z:

https://www.aliexpress.com/item/1005002270572687.html?spm=a2g0o.order_list.0.0.21ef1802KvJ1Cz&fbclid=IwAR1cTa5I3LD08qNqXahl-9H5pya0x8_13vDaloh_60BOHBF2HROnBE-layQ

Obr. 56: servisní konektory, JST 4-pin, archiv autora, 2022

Obr. 57: RJ11 konektor. In: *Www.alza.cz* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z:

https://www.alza.cz/premiumcord-telefonni-rovny-6p4c-rj-11-plug-6p4c-rj-11-plug-3m-cerny-d6471236.htm?kampan=adw4_prislusenstvi-pro-mt_pla_all_obecna-css_kabely-redukce-a-radice_c_9062893_WD974a2_456135983220_-106264923253~&gclid=Cj0KCQjwl7qSBhD-ARIsACvV1X0Cx4Mn56da5wUQUdZyeFmtFgQanywOH9PF3E_BjWW_MjG4TO7vIR8aAmOREALw_wcB

Obr. 58: 623K zásuvka. In: *Www.tme.eu* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z:

https://www.tme.eu/cz/details/rj11gl/konektory-rj/ninigi/?fbclid=IwARORingNou1A-gm_uM5y6pNELplsr--OPI-d0zcXC4Yu1wfaL41YQPq4u_M

Obr. 59: zásuvkový modul, archiv autora, 2022

Obr. 60: Upevnění panelových zásuvek, archiv autora, 2022

Obr. 61,62: Prototyp zásuvkového modulu se zaoblením horních hran, archiv autora, 2022

Obr. 63: Výsledný návrh zásuvkového modulu se zaoblením bočních hran, archiv autora, 2022

Obr. 64: Varianty umístění displeje OLED 2.42" , archiv autora, 2022

Obr. 65: Umístění loga displeje a tlačítka, archiv autora, 2022

Obr. 66: Inspirace optického rozšíření displeje

A- In: *Www.pinterest.co.uk* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z:

<https://www.pinterest.co.uk/pin/424886546107905991/>

B- In: *Www.pinterest.co.uk* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z:

<https://www.pinterest.co.uk/pin/424886546107905987/>

C- In: *Www.pinterest.co.uk* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z:

<https://www.pinterest.co.uk/pin/225250418850807802/>

Obr. 67: varianty optického rozšíření přístroje, archiv autora, 2022

Obr. 68: finální návrh horního pohledu přístroje, archiv autora, 2022

Obr. 69, 70: Radius R4.5 na bočních stěnách kolem zásuvkového modulu, archiv autora, 2022

Obr.71: Zadání řídicí desky, archiv autora, 2022

Obr. 72,73: Vstupy na SD kartu a micro USB, archiv autora, 2022

Obr.74: Hlavní tlačítko, archiv autora, 2022

Obr. 75, 76: Hmatník s otvorem pro nasazení na posuvné tlačítko, archiv autora, 2022

Obr. 77: Zatavené vložky na ukotvení PS, archiv autora a externí zdroj. Hot Melt Inset Nut Brass Threaded Rod. In: *Www.fruugo.cz* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: https://www.fruugo.cz/hot-melt-inset-nut-brass-threaded-rod-m3-100pcs-insert-knurled-copper-nuts/p-80036476-165770604?language=en&ac=croud&gclid=Cj0KCQjwspKUBhCvARIsAB2lYutM6EhJlpzNe-SMHOEXInSnW5-GydlIrHiUJpKTKwhleU8NRob7EL8aAouaEALw_wcB

Obr. 78: Uchycení baterie, archiv autora, 2022

Obr. 79: DIYexpert přísavky, d=30mm, M4 šroub In: *Www.amazon.de* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: https://www.amazon.de/gp/product/B084BZJ752/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o00_s00?ie=UTF8&th=1

Obr. 80: Přísavky 27.05 mm od hran přístroje, archiv autora, 2022

Obr. 81: Upevnění – zapuštění M4 matice do spodní stěny, archiv autora, 2022

Obr. 82: Umístění plexiskla o tloušťce 1 mm, archiv autora, 2022

Obr. 83: mechanismus pro upevnění horního krytu, archiv autora, 2022

Obr. 84: Prototyp horní části organizéru – skořepina, která se vkládá do přední části přístroje, archiv autora, 2022

Obr. 85: vizualizace skořepiny, archiv autora, 2022

Obr. 86,87: Finální návrh gumového prstenu; Gumový prsten z TPU filamentu s vloženými tyčovými magnety, archiv autora, 2022

Obr. 88,89: EKG samolepka; Senzor s patentkou, archiv autora, 2022

Obr. 90,91: návrh senzoru na zem, archiv autora, 2022

Obr. 92: rešerše možností 3D tisku pro označení produktu, koláž vícero zdrojů

A- In: *Www.pinterest.co.uk* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.pinterest.co.uk/pin/424886546107905997/>

B- In: *Www.pinterest.co.uk* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.pinterest.co.uk/pin/844493670130665/>

C- In: *Www.pinterest.co.uk* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.pinterest.co.uk/pin/424886546108169051/>

D- In: *competition.adesignaward.com* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://competition.adesignaward.com/design-image.php?y=2017&design=65254>

Obr. 93: označení senzorů, archiv autora, 2022

Obr. 94: označení konektorů, archiv autora, 2022

Obr. 95: Zvolená varianta – Hurme Geometric Sans, výška 6 mm

Obr. 96, 97: LED dioda na pokojovém světle vs. na přímém světle, archiv autora, 2022

Obr. 98: Varianty výřezu pro diodu, archiv autora, 2022

Obr. 99: Senzor na zem s piktogramem a výřezem pro diodu, 2022

Obr. 100: Schéma algoritmu navrženého Ing. Martinem Němcem
NĚMEC, Martin, 2022. *Návrh a realizace zařízení pro snímání tremoru*. Praha. Diplomová práce. Fakulta elektrotechnická ČVUT v Praze. Vedoucí práce Ing. Jan Havlík, Ph.D. (nepublikováno)

Obr. 101,102,103: Srovnání intenzity světla – (zleva) 20%, 50% a 100%, archiv autora, 2022

Obr. 104: řídící jednotka, archiv autora, 2022

Obr. 105: Vodorovné uložení senzorů, archiv autora, 2022

Obr. 106: Senzor na zem, archiv autora, 2022

Obr. 107: Senzor na prst, archiv autora, 2022

Obr. 108: Nasazování senzoru na prst, archiv autora, 2022

Obr. 109: Senzor upevněný za krk, archiv autora, 2022

Obr. 110: Rozklad organizéru, archiv autora, 2022

Obr. 111: Vkládání konektorů, archiv autora, 2022

Obr. 112: Otvor na SD kartu, archiv autora, 2022

Obr. 113: Vstup micro USB a on / off tlačítko, archiv autora, 2022

Obr. 114: Nasazování senzoru na prst, archiv autora, 2022

Obr. 115: Nasazování senzoru za krk pacienta, archiv autora, 2022

Obr. 116: Průběh měření tremoru, archiv autora, 2022

Obr. 117: Ukončené měření, archiv autora, 2022

Obr. 118: Rozměrový výkres řídící jednotky, 1:1, rozměry uvedeny v mm, archiv autora, 2022

Obr. 118: Řídící deska navržená a realizována Ing. Martinem Němcem
NĚMEC, Martin, 2022. *Návrh a realizace zařízení pro snímání tremoru*. Praha. Diplomová práce. Fakulta elektrotechnická ČVUT v Praze. Vedoucí práce Ing. Jan Havlík, Ph.D. (nepublikováno)

Obr. 119: Senzorová deska navržená a realizována Ing. Martinem Němcem
NĚMEC, Martin, 2022. *Návrh a realizace zařízení pro snímání tremoru*. Praha. Diplomová práce. Fakulta elektrotechnická ČVUT v Praze. Vedoucí práce Ing. Jan Havlík, Ph.D. (nepublikováno)

Obr. 120, 121: proces povrchové úpravy, hotová povrchová úprava, archiv autora, 2022

Obr. 122: Zatištění magnetů a patentky během tisku, archiv autora, 2022

Obr. 123: Rozměrový výkres senzoru na tělo, 1:1, rozměry uvedeny v mm archiv autora, 2022

Obr. 124: Řídící deska navržena a realizována Ing. Martinem Němcem

NĚMEC, Martin, 2022. *Návrh a realizace zařízení pro snímání tremoru*. Praha. Diplomová práce. Fakulta elektrotechnická ČVUT v Praze. Vedoucí práce Ing. Jan Havlík, Ph.D. (nepublikováno)

Obr. 125: Senzorová deska navržena a realizována Ing. Martinem Němcem

NĚMEC, Martin, 2022. *Návrh a realizace zařízení pro snímání tremoru*. Praha. Diplomová práce. Fakulta elektrotechnická ČVUT v Praze. Vedoucí práce Ing. Jan Havlík, Ph.D. (nepublikováno)

Obr. 126, 127: proces povrchové úpravy, hotová povrchová úprava, archiv autora, 2022

Obr. 128: Zatištění magnetů a patentky během tisku, archiv autora, 2022

Tabulky

Tabulka 1 Technické parametry inovovaného zařízení v porovnání s původní verzí z roku 2017

Parametr	Původní verze zařízení	Inovovaná verze zařízení
Senzor na ruce	Jeden senzor na prst ve formě univerzálního prstenu, který je potřeba za účelem střídavého měření přemísťovat z jedné ruky na druhou.	Dva senzory, čím se zkrátí doba měření na polovinu. Za účelem kontinuity sbíraných dat je nutné zachovat umístění formou prstenu. Prsten musí být velikostně nastavitelný a lehký, aby nezatěžoval ruku pacienta. Aktivace senzoru je signalizována pomocí LED diody.
Senzor na zem	chybí	Senzor, který snímá třes ze země. Naměřená hodnota se odečte od třesu z rukou a těla pro větší přesnost měření (zejména ve výškových budovách).
Senzor za krk	chybí	Senzor, který lze nalepit za krk – měření nové hodnoty.

Univerzální senzor	chybí	Univerzální senzor umožňující variabilitu budoucích měření.
Displej	LCD displej 16x2	Nahrazení dobře kontrastním grafickým OLED displejem. Hlavní informace o stavu měření je předáváno prostřednictvím LED podsvícení hlavního tlačítka. Stačí malý a cenově dostupný displej.
Přenos dat	Pouze nahrávání na SD kartu.	Nahrávání na SD kartu doplněno o Wi-Fi přenos dat. Kvůli snadnější manipulaci zvolena SD karta místo micro SD karty.
Kabely	4 samostatné dráty	Nahrazení čtyřdrátovým telefonním kabelem.
Tlačítka	4 tlačítka: • Reset • START/STOP • ON/OFF	2 tlačítka: • Hlavní tlačítko s podsvícením. Podsvícení tlačítka komunikuje stav přístroje. • ON/OFF tlačítko – posuvné tlačítko s cílem rozlišení od hlavního tlačítka.
Napájení	Napájení ze dvou tužkových baterií.	Akumulátor s LED signalizací stavu napájení
Výroba	Použití nalezené krabičky.	3D tisk dle vlastního návrhu.

Tabulka 2 Zhodnocení umístění přístroje na krk

Výhody	Nevýhody
Mobilita – pacient se může s přístrojem volně pohybovat (v rámci vzdálenosti, kterou dovoluje senzor na zemi).	Při ovládání by se obsluha musela dotýkat pacienta. Lze řešit dálkovým ovládáním, hrozí však jeho ztráta.
Kabel se senzorem za krk může být zabudovaný v pásu – nasazením přístroje se současně nasadí i senzor za krk.	Otázka hygieny – po každém pacientovi je potřeba přístroj očistit, a to zejména část za krkem, kde je častý pot.

Nehrozí pád přístroje.	Potřeba dodatečně vyřešit skladování – např. ve formě stojanu či věšáku, aby nedošlo k zamotání kabelů.
Senzory lze na přístroj umístit tak, aby svým směřováním naváděly na správné nasazení na tělo.	Pokaždé je potřeba znovu upevňovat senzor na zem.
Snadné nasazení přístroje.	V sedě může zařízení spadnout do klína – potřeba nastavitelného pásu.
Lze obsluhovat zepředu.	

Tabulka 3 Zhodnocení umístění přístroje na stole

Výhody	Nevýhody
Obsluha je zvyklá používat přístroj na stole – přirozený přechod na nové zařízení.	Riziko pádu přístroje zataháním za kabel – lze řešit použitím přísavek či protismykovou podložkou.
Hygienické řešení – řídicí jednotka nepřichází do kontaktu s pacientem.	Potřeba fixace přístroje, aby se zabránilo přetáčení (ted' přetáčení způsobuje zejména skřípec na zadní straně přístroje).
Není potřeba dálkové ovládání. Lze ovládat přímo na řídicí jednotce na stole.	
Senzor na zem může být položený pod stolem i mimo dobu měření – nemusí se pokaždé znovu upevňovat.	
Skladování na stole.	
Neutrální zóna.	

Tabulka 4 Zhodnocení kombinovaného umístění na stole a na krku

Výhody	Nevýhody
Do budoucna umožnění větší variability měření.	Bylo by nutné navrhnout elektroniku, která dovolí bezdrátovou komunikaci mezi kabelovým modulem a housingem.
Ergonomické a uživatelsky komfortní řešení.	Kompromis v tvarovém a konstrukčním zpracování ve prospěch univerzality
Není potřeba dálkové ovládání.	