

Návrh a realizace speciální rukavice pro snímání pohybu prstů s využitím ve VR

Michal Bradávka

Bakalářská práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav informatiky a umělé inteligence

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Michal Bradávka
Osobní číslo: A22001
Studijní program: B0613A140020 Softwarové inženýrství
Forma studia: Prezenční
Téma práce: Návrh a realizace speciální rukavice pro snímání pohybu prstů s využitím ve VR
Téma práce anglicky: Design and Implementation of a Special Glove for Capturing Finger Movement for Use in VR

Zásady pro vypracování

Cílem této bakalářské práce je návrh a vývoj speciální rukavice pro snímání pohybu prstů na ruce, která umožní plynulou a přirozenou interakci uživatele s virtuálním prostředím. V rámci práce bude fyzicky navržena a vytvořena speciální rukavice využívající mikrokontrolér, vhodné senzory a 3D tisk. Součástí práce bude také vývoj softwarové aplikace pro přenos dat do virtuálního prostředí a implementace dalších ovládacích prvků pro rozšíření funkcionality a interaktivity rukavice.

- Zpracujte literární rešerši na dané téma
- Navrhněte a vyberte vhodné komponenty pro tvorbu rukavice
- Realizujte prototyp rukavice a integrujte vybrané komponenty
- Vytvořte softwarovou část projektu pro sběr, zpracování a přenos dat do virtuálního prostředí
- Otestujte funkcionality vytvořeného systému

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. BLUM, Jeremy. Exploring Arduino: tools and techniques for engineering wizardry. Indianapolis: Wiley, 2013. ISBN 978-1-118-54936-0.
2. BANZI, Massimo a SHILOH, Michael. Getting Started with Arduino. 3rd ed. Sebastopol: Maker Media, 2014. ISBN 978-1-4493-6333-8.
3. NOURI, Hussein. Arduino for Embedded Systems. Switzerland: Springer, 2018. ISBN 978-3-319-77621-6.
4. MURRAY, Jeff W. Building Virtual Reality with Unity and Steam VR. 1. vydání. Boca Raton, FL: CRC Press, 2017. ISBN 978-1-138-03351-1.
5. GREENGARD, Samuel. Virtual reality. Cambridge, MA: MIT Press, 2019. ISBN 978-0-262-53752-0.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Mach, Ph.D.**
Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce: **27. října 2024**
Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2025**



L.S.

doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.
děkan

prof. Mgr. Roman Jašek, Ph.D., DBA v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 17. listopadu 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení bakalářské práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na bakalářské práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.
- při tvorbě této práce jsem použil nástroj generativního modelu AI [ChatGPT; <https://chatgpt.com>] za účelem zlepšení textu, kontroly pravopisu a jazykové korektury. Po použití tohoto nástroje jsem provedl(a) kontrolu obsahu a přebírám za něj plnou zodpovědnost.

Ve Zlíně, dne

.....

podpis autora

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce obsahuje návrh a vývoj speciální rukavice pro snímání pohybu prstů na ruce, která umožní plynulou a přirozenou interakci uživatele s virtuálním prostředím. V rámci práce bude fyzicky navržena a vytvořena speciální rukavice využívající mikrokontroler, vhodné senzory a 3D tisk. Součástí práce bude také vývoj softwarové aplikace pro přenos dat do virtuálního prostředí a implementace dalších ovládacích prvků pro rozšíření funkcionality a interaktivity rukavice.

Klíčová slova: VR, rukavice, mikrokontroler, ESP32, snímání prstů

ABSTRACT

This bachelor's thesis presents the design and development of a special glove for tracking finger movements, enabling a smooth and natural interaction with virtual environments. The project includes the physical design and creation of a specialized glove utilizing a microcontroller, suitable sensors, and 3D printing. Additionally, the thesis covers the development of a software application for data transmission to the virtual environment, as well as the implementation of additional control elements to enhance the glove's functionality and interactivity.

Keywords: VR, glove, microcontroller, ESP32, finger tracking

Děkuji Ing. Václavu Machovi, Ph.D., vedoucímu mé bakalářské práce, za odborné vedení a příležitost věnovat se tomuto tématu. Velmi si vážím možnosti pracovat na projektu, který spojil mé zájmy s praktickým využitím v oblasti technologií.

OBSAH

ÚVOD.....	13
I TEORETICKÁ ČÁST	14
1 VIRTUÁLNÍ REALITA.....	15
1.1 POJEM VR	15
1.2 VÝVOJ A HISTORIE VR	16
1.3 SOUČASNÉ TECHNOLOGIE.....	18
1.3.1 VR pro mobilní zařízení.....	19
1.3.2 PCVR	20
1.3.3 Standalone VR	22
1.4 VYUŽITÍ VR	24
1.4.1 Vzdělání	25
1.4.2 Vojenský výcvik a simulace.....	25
1.4.3 Medicína.....	26
1.4.4 Zábavní a herní průmysl.....	27
2 ZPŮSOBY INTERAKCE VE VIRTUÁLNÍ REALITĚ	29
2.1 SOUČASNÝ STAV VR OVLADAČŮ	29
2.2 STANDARDNÍ VR OVLADAČE	29
2.3 POKROČILEJŠÍ VR OVLADAČE	31
2.4 VR RUKAVICE – EXISTUJÍCÍ ŘEŠENÍ	32
2.4.1 Teslasuit TeslaGlove	32
2.4.2 Manus Quantum Metagloves	33
2.4.3 bHaptics TactGloves	34
2.4.4 LucidGloves	36
2.5 META HAND TRACKING	37
3 KOMUNIKAČNÍ PLATFORMA PRO VR	38
3.1 MIKROKONTROLER	38
3.2 BEZDRÁTOVÁ KOMUNIKACE POMOCÍ BT SERIAL	38
3.3 PYTHON JAKO MIDDLEWARE NÁSTROJ.....	38
3.4 STEAMVR	39
3.5 WINDOWS NAMED PIPES	39
3.6 OPENGLOVES	39
4 3D TISK.....	40
4.1 SOFTWARE PRO TVORBU 3D MODELŮ.....	40
4.2 SOFTWARE PRO ŘEZÁNÍ 3D MODELŮ	40
4.3 TECHNOLOGIE TISKU	40
4.3.1 FDM	41

4.3.2	SLA	42
II	PRAKTICKÁ ČÁST	43
5	VÝBĚR KOMPONENT PRO VLASTNÍ VR RUKAVICI.....	44
5.1	MIKROKONTROLER.....	44
5.2	JOYSTICK.....	45
5.3	SENZORY PRO OHYB PRSTŮ.....	46
5.4	TLAČÍTKA.....	48
5.5	NAPÁJENÍ	49
5.6	RUKAVICE	50
6	FYZICKÉ ZAŘÍZENÍ – NÁVRH A REALIZACE.....	52
6.1	NÁVRH SCHÉMATU ZAPOJENÍ	52
6.1.1	Napájení.....	53
6.1.1	Tlačítka.....	54
6.1.2	Flex senzory	54
6.1.3	Joystick.....	54
6.2	3D MODEL Y PRO TISK	55
6.2.1	Hlavní model	55
6.2.2	Uchycení joysticku	57
6.2.3	Uchycení tlačítek	58
6.2.4	Uchycení senzorů	60
6.2.5	Uchycení Trackeru	61
6.3	SESTAVENÍ PROTOTYPU	61
7	VÝVOJ SOFTWAREOVÉHO ROZHRAŇÍ PRO RUKAVICI	65
7.1	KÓD PRO MIKROKONTROLER	65
7.2	DOPROVODNÁ MIDDLEWARE APLIKACE	66
7.2.1	Výběr COM portů	67
7.2.2	Kalibrace	68
7.2.3	Animace.....	68
7.2.4	Ruční úprava kalibračních hodnot.....	68
7.2.5	Přenos dat do OpenGloves	69
7.2.6	Ukončení běžící funkce	69
7.2.7	Stavový řádek	69
7.3	INTEGRACE DO STEAMVR.....	69
8	TESTOVÁNÍ HOTOVÉHO PROTOTYPU.....	71
8.1	SOFTWAREOVÉ ROZHRAŇÍ.....	71
8.2	PŘESNOST SENZORŮ A ODEZVA ZAŘÍZENÍ	73
8.3	PRAKTICKÁ UKÁZKA VE VIRTUÁLNÍM PROSTŘEDÍ	74
8.3.1	Připojení ke SteamVR	74
8.3.2	Ohnutí prstů.....	75
8.3.3	Emulace tlačítek	76

ZÁVĚR	77
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	79
SEZNAM OBRÁZKŮ	85
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	87

ÚVOD

Virtuální realita se v posledních letech stává stále populárnější a nachází uplatnění nejen v oblasti zábavy, ale i ve vzdělávání, simulacích a profesním tréninku. Způsob interakce uživatele s digitálním prostředím hraje klíčovou roli v celkovém zážitku i efektivitě využití těchto technologií. Standardní ovladače pro virtuální realitu umožňují základní manipulaci s objekty, avšak často mají svá omezení – například nemožnost držet jiné fyzické předměty nebo vykonávat přirozená gesta.

Nejzajímavější směr vývoje v této oblasti je využití rukavic pro virtuální realitu, které toto přesnější a intuitivnější ovládání umožňují. Existující komerční řešení však bývají velice drahá, mohou obsahovat zbytečné funkce, a naopak postrádají některé klíčové vlastnosti nebo jsou příliš těžká a rozměrná.

Cílem této práce je tedy návrh a realizace rukavice, která bude cenově dostupnější než většina komerčních řešení a zároveň bude obsahovat aspoň základní funkce jako snímání ohybu prstů, joystick pro pohyb ve virtuálním prostředí a další prvky pro plynulejší interakci.

Tato práce se nejprve věnuje teoretickému přehledu již existujících ovladačů pro virtuální realitu a rukavic včetně výhod a nevýhod jednotlivých řešení. Následně popisuje návrh a realizaci prototypu rukavice, od výběru komponent a konstrukčního návrhu přes programování mikrokontroleru až po integraci do virtuálního prostředí. Výsledkem bude prototyp zařízení, které nabídne větší svobodu pohybu a přirozenější způsob interakce s virtuálním prostředím.

I TEORETICKÁ ČÁST

1 VIRTUÁLNÍ REALITA

VR (Virtuální realita) si za posledních 20 let prošla významným vývojem a stává se běžnou součástí moderního světa. Díky rostoucímu výkonu zařízení, zdokonalujícím se technologiím a zvyšující se dostupnosti VR technologií se její využití neustále rozšiřuje. Oblast využití je dnes rozšířena do různých odvětví, od zábavního průmyslu až po zdravotnický či vojenský trénink.

V této kapitole se budu věnovat definici pojmu VR, jejímu vývoji, současným technologiím a oblastem, ve kterých je možné její využití.

1.1 Pojem VR

VR je počítačová technologie, která simuluje či imituje skutečný svět, ale nemusí být nutně stejný. Toto vytvořené prostředí může obsahovat jak simulace reálných míst, tak i vytvořený fiktivní svět, který má od skutečného daleko. Snaží se umožnit uživateli interakci s tímto virtuálním světem s pomocí různých smyslů, především zraku, sluchu a hmatu. [1]

Ve VR je uživatel plně ponořen do tohoto simulovaného světa bez kontaktu s tím reálným, nicméně existují i další pojmy jako AR (Augmented Reality), kde se jedná pouze o rozšíření skutečného světa. Tohoto lze dosáhnout například zobrazením digitálních objektů v reálném světě s pomocí kamery chytrého telefonu nebo jiných speciálních brýlí. Příkladem by mohla být mobilní hra Pokemon Go nebo mobilní aplikace jako byla IKEA Place, která dokázala vizualizovat jejich nábytek ve skutečném prostoru. Zde virtuální objekty pouze „plavou“ v prostoru s pozadím z vaší kamery. [1; 2; 3]

Dalším dnes rozšířeným pojmem je MR (Mixed Reality), která oproti AR nabízí i další rozšiřující funkce. V MR je možné nejen zobrazit digitální objekty, ale můžeme s nimi i interagovat. Na rozdíl od AR, kde jsou objekty statické a pouze překrývají skutečný svět, v MR se objekty chovají realisticky. Reagují například na pohyb uživatele a přizpůsobují se reálnému prostoru. [4]

Pokud bych se nacházel na prázdném pozemku a chtěl si zobrazit svůj budoucí dům, v AR bych viděl pouze model domu a mohl s ním otáčet, abych ho viděl z vícero úhlů. V případě MR bych podobně jako ve skutečnosti mohl tento dům fyzicky obejít, nebo vejít dovnitř a vidět třeba jednotlivé místnosti.

1.2 Vývoj a historie VR

Přestože se může VR jevit jako moderní technologická novinka, její kořeny sahají až do 19. století. Již v roce 1838 popsal britský vědec Sir Charles Wheatstone princip binokulárního vidění, tedy způsob, jakým lidský mozek spojuje obraz z obou očí do jednoho trojrozměrného vjemu. Tento objev vedl ke vzniku prvního stereoskopu – zařízení, které dokázalo navodit iluzi prostorové hloubky. Tento princip se stal základem pro pozdější vývoj VR technologií. [5]

Futuristickou vizi VR načrtl již v roce 1935 americký spisovatel Stanley G. Weinbaum ve své povídce *Pygmalion's Spectacles*. V této povídce popsal speciální brýle schopné přenést uživatele do smyslově bohatého virtuálního světa prostřednictvím obrazu, zvuku, vůně i doteku. [5]

V polovině 20. století se objevily první pokusy o realizaci virtuálních zážitků. V roce 1956 představil Morton Heilig zařízení *Sensorama*, které nabízelo zážitek pomocí obrazu, zvuku, vibrací, a dokonce i vůní. O čtyři roky později vyvinul Heilig také první náhlavní soupravu – *Telesphere Mask*. V roce 1968 vytvořil Ivan Sutherland s kolegou Bobem Sproullem zařízení přezdívané „*The Sword of Damocles*“, první HMD (head mounted display) napojený na počítač, který dokázalo zobrazovat jednoduché 3D modely reagující na pohyb hlavy. [5; 6]



Obrázek 1 Sensorama

(zdroj: [5])

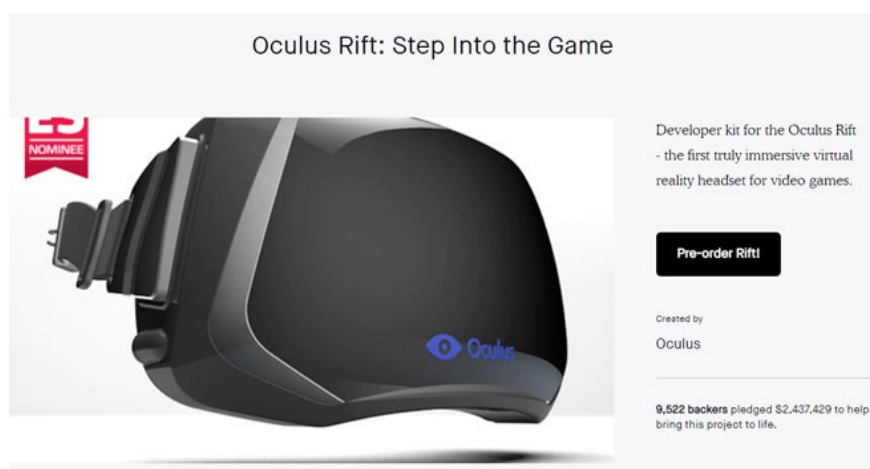
V následujících desetiletích nacházela VR uplatnění především ve vojenském výcviku, výzkumu a uměleckých projektech. V 80. a 90. letech vznikla první komerční zařízení, jako například Power Glove od firmy Nintendo nebo VR automaty Virtuality. Většina těchto zařízení však byla technologicky omezená a finančně nedostupná pro širší veřejnost. [5]



Obrázek 2 Virtuality

(zdroj: [5])

Zásadní zlom nastal v roce 2012, kdy mladý vývojář Palmer Luckey zahájil na Kickstarteru kampaň pro svůj prototyp Oculus Rift – moderní VR headset určený pro spotřebitele. Oculus nabídl široké zorné pole, plynulý pohyb a relativně nízkou cenu. V roce 2014 koupil firmu Oculus gigant Facebook za dvě miliardy dolarů, čímž započala nová etapa intenzivního vývoje VR. [5; 6]



Obrázek 3 Oculus Rift Kickstarter

(zdroj: [5])

Rok 2016 byl dalším klíčovým milníkem – na trh vstoupil HTC Vive, první headset umožňující plné prostorové sledování pohybu uživatele pomocí externích senzorů. Ve stejném roce vyšel také komerční Oculus Rift. Obě zařízení nabízela kvalitní zážitek, ale vyžadovala výkonný počítač a kabelové propojení. Tyto dvě zařízení používá spousta lidí dodnes. [5; 6]

Další velký vliv na rozvoj VR mělo uvedení Oculus Quest řady v roce 2019, hlavně tedy Quest 2 v roce 2020. Tato řada standalone VR headsetů funguje totiž bez nutnosti propojení s počítačem. Díky bezdrátovému provozu, dostatečnému výkonu a příznivé ceně je Quest 2 dodnes nejrozšířenějším headsetem na trhu. V následujících letech jej následují novější verze Quest 3 a Quest 3S. [5; 6]



Obrázek 4 Oculus Quest 1

(zdroj: [5])

Dnes nachází VR uplatnění i za hranicemi herního průmyslu. Moderní zařízení navíc kombinují různé prvky propojující virtuální a reálný svět.

Vývoj VR pokračuje dynamickým tempem a technologie směřuje k čím dál vyšší kvalitě obrazu, většímu uživatelskému komfortu a širšímu využití napříč obory.

1.3 Současné technologie

V dnešní době se vybavení pro VR skládá především z brýlí s vysokým rozlišením, které uživateli umožňují vidět virtuální prostředí a ovladačů pro interakci s objekty v tomto

simulovaném světě. Jednou z dalších částí jsou senzory či kamery které sledují pohyb brýlí, ovladačů a jiných zařízení v prostoru v reálném světě a přenáší tyto data do toho virtuálního. Tyto senzory se mohou nacházet jak přímo v brýlích, tak i samostatně mimo ně.

Pro funkčnost VR je kromě těchto zařízení potřeba i výkonné výpočetní zařízení, které zpracovává grafiku a pohyb v prostoru v reálném čase. Většinou je to výkonný počítač nebo herní konzole, jako je PlayStation. V posledních letech však některé společnosti integrují výkonné mobilní čipy přímo do VR brýlí. Tyto čipy mají dostatečný výkon pro většinu využití, eliminují tím potřebu dalšího externího hardwaru a rozšiřují bezdrátovou volnost pohybu.

1.3.1 VR pro mobilní zařízení

Jedná se o jednoduchou a cenově dostupnou variantu virtuální reality, určenou hlavně pro pasivní zážitky, jako je sledování 360° videí/fotek nebo jednoduché VR hry. Systém je založen na mobilním telefonu, který slouží jako zobrazovací i výpočetní zařízení. [7; 8; 9]

Základem tohoto řešení je kartonový či plastový headset s čočkami, do kterého se vkládá chytrý telefon. Čočky upravují zobrazení tak, aby byl obraz z blízkého displeje zaostřený a pohodlně sledovatelný. Bez nich by obraz z telefonu umístěného těsně před očima působil rozmazaně. Prostorová hloubka a 3D efekt vznikají zobrazením dvou mírně odlišných obrazů pro každé oko zvlášť. [7; 10; 8]

Pohyb hlavy je sledován senzory přímo v telefonu, jako jsou gyroskop a akcelerometr. To umožňuje uživateli rozhlížet se ve virtuálním prostředí, ale bez možnosti pohybu v prostoru (tzv. 3 degrees of freedom). Interakce s prostředím též bývá značně omezená nebo vůbec žádná, někdy je k dispozici jednoduchý Bluetooth ovladač s pár tlačítky. [8; 7; 9]

Mezi zástupce této kategorie patří například:

- Google Cardboard – jednoduchý kartonový headset s minimální pořizovací cenou
- Samsung Gear VR – sofistikovanější plastové řešení pro vybrané modely telefonů Samsung s pohodlnějším nošením, ovladač s touchpadem a tlačítky

Tento typ VR zařízení se dnes již moc nevidí kvůli omezeným možnostem a rychlému vývoji výkonnějších standalone řešení, která nabízí kvalitnější a pohlcující zážitky.



Obrázek 5 VR headset pro mobilní zařízení (Google Cardboard)

(zdroj: [10])

1.3.2 PCVR

PCVR (virtuální realita napájená počítačem) představuje pokročilejší variantu oproti mobilním headsetům. Tato zařízení jsou připojena k výkonnému počítači, který zajišťuje renderování grafiky a výpočet všech simulací. Díky tomu mohou nabídnout vyšší grafickou kvalitu, kratší odezvu a celkově plynulejší zážitek. Kromě lepšího obrazu v brýlích je zde i lepší interakce ve virtuálním světě. Pro tuto funkci slouží dva ovladače (každý do jedné ruky), které obvykle snímají polohu v prostoru, jednodušší gesta rukou a pár tlačítek. Některé systémy umožňují připojení dalších senzorů pro lepší sledování, anebo přidání trackerů pro sledování nohou či boků, čímž lze do virtuálního prostředí přenášet pohyb i zbytku těla. [7; 11; 12; 13]

Důležitou součástí je také systém pro sledování pohybu – tedy technologie, která určuje polohu headsetu i ovladačů v prostoru. Existují dva hlavní způsoby sledování:

- Outside-in tracking (např. Lighthouse) – Tento systém používá externí senzory (majáky), které jsou umístěny v místnosti a pomocí laserových paprsků nebo

infračerveného světla sledují pohyb zařízení (brýlí, ovladačů, trackerů). Je velmi přesný a spolehlivý, ale vyžaduje instalaci, určitou velikost a přípravu prostoru a jste vázáni k tomuto určitému místu.

- Inside-out tracking – Kamery a senzory jsou přímo na headsetu a sledují okolní prostředí, aby určily pozici zařízení. Nemusí se tedy instalovat žádné externí senzory, což usnadňuje nasazení a umožňuje použití i v menších nebo složitě tvarovaných místnostech. Přesnost může být ovlivněna například špatným osvětlením nebo objekty zakrývajícími kamerám výhled.

Aby vše správně fungovalo, je zapotřebí výkonný počítač s dedikovanou grafickou kartou. Headset je s tímto počítačem obvykle propojen pomocí kabelu, např. DisplayPort a USB, v některých případech je možné připojení i bezdrátově pomocí adaptéru nebo Wi-Fi. [8]

Modely a značky rozšířených PCVR zařízení:

- HTC – Produkty od této značky se řadí mezi průkopníky v oblasti PCVR (jedny z prvních široce rozšířených headsetů na trhu). Nabízí například modely jako originální HTC VIVE, VIVE Pro, VIVE Pro 2 a další, jejichž sledování pohybu funguje na principu Outside-in tracking (Lighthouse), které vyrábí i pro jiné společnosti. Firma nabízí i Model VIVE Cosmos, který využívá Inside-out tracking. Jsou také velice známí svými HTC Trackery (1.0, 2.0, 3.0 a Ultimate), které slouží pro sledování zbytku těla. [13]
- Meta (dříve Oculus) – Ačkoliv Meta vyrábí i standalone VR headsety (které lze přes kabel či bezdrátově připojit k PC), dříve začali kabelovými PC VR headsety jakožto Oculus Rift (konkurence prvotního HTC VIVE) a Oculus Rift S (využívá inside-out tracking). [12]
- Valve Index – Zařízení od společnosti Valve nabízí outside-in sledování pomocí Lighthouse stejně jako HTC a jiné společnosti. Oproti modelům od jiných značek stejné doby nabízeli brýle vyšší obnovovací frekvenci obrazu pro lepší plynulost. Nicméně je toto VR známé především pro své pokročilejší ovladače, jejichž konkurence se i dnes hledá těžko. Tyto ovladače totiž již dokážou rozlišovat sevření jednotlivých prstů. [11]
- Mezi další známé výrobce a modely patří:

- Pimax, který se specializuje na široké zorné pole a vysoké rozlišení. [14]
- Reverb G2 Omnicept od značky HP, který je vybaven senzory pro sledování pohybu očí a úst. [15]
- Bigscreen, která se se svými modely Beyond zaměřuje na co nejmenší a nejlehčí headset s pěnovou maskou, přizpůsobenou 3D skenováním vašeho obličeje. [16]
- Playstation, který si ke svým herním konzolím Playstation 4 a 5 vyrobil i vlastní VR brýle Playstation VR a Playstation VR2. Funkcemi jsou sice srovnatelné k ostatním značkám, nicméně oproti standalone a PCVR mají omezené knihovny aplikací/her. [17]
- Existují však i další značky nabízející různě specializovaná zařízení.



Obrázek 6 PCVR headset (HTC VIVE Pro 2)

(zdroj: [18])

1.3.3 Standalone VR

Standalone VR náhlavní soupravy jsou samostatné headsety, které nevyžadují připojení k počítači ani herní konzoli, aby mohly fungovat. Vše potřebné je integrováno přímo v zařízení. To znamená, že uživatelé mohou zažít VR bez jakýchkoliv kabelů nebo potřeby dalšího hardwaru, což značně zvyšuje pohodlí, mobilitu a snižuje pořizovací cenu. [7; 12]

Tyto headsety obsahují i integrované senzory a kamery pro Inside-out tracking. Někteří výrobci dnes již nabízí i jejich použití bez nutnosti ovladačů pomocí sledování gest rukou přes integrované kamery. [7; 12]

Výhody:

- Bezdrátová svoboda – není potřeba žádného připojení k PC nebo herní konzoli, což poskytuje větší svobodu pohybu (např. nejste omezeni délkou kabelu, nebo se kolem něj nezamotáte).
- Jednoduchost použití – vše je integrované do samotného headsetu, takže je používání těchto zařízení jednodušší a intuitivnější.
- Přenosnost – jelikož není nutné se připojovat k dalším zařízením, je tento typ headsetů velice přenosný a ideální pro použití na cestách nebo při častější změně prostředí.
- Pořizovací cena – není nutné dokupovat další externí zařízení, pořízení celého systému je tedy většinou několikanásobně nižší.

Nevýhody:

- Omezený výkon – ve srovnání s PCVR mají standalone brýle omezený výkon, což může znamenat nižší grafickou kvalitu nebo omezený výběr her a aplikací.
- Výdrž baterie – zařízení běží na zabudované baterii a není připojené k externímu zdroji napájení, jeho využití je tedy většinou omezeno na dobu dvou až tří hodin.

Některé soupravy však dovolují bezdrátové či drátové připojení k počítači a dají se tedy použít pro PCVR aplikace, čímž většina nevýhod zmizí a jsou tak i levnější variantou než jiné PCVR modely headsetů. [12; 7]

Mezi nejpoblárnější standalone modely a výrobce patří:

- Meta Quest (dříve Oculus Quest) – Společnost Meta nabízí více modelů (Quest 1, Quest 2, Quest Pro, Quest 3 a Quest 2S). Tyto headsety jsou jedny z nejprodávánější na trhu. Nabízí kvalitní výkon a podporují širokou škálu her a aplikací. Umožňují také připojení k PC pro náročnější VR zážitky. Jednotlivé modely se liší jak výkonem, rozlišením displejů, tak i funkcemi jako barevný passthrough (technologie, která pomocí kamer na VR headsetu zobrazuje reálný svět uživateli přímo ve virtuálním prostředí), sledování očí a úst a dalšími funkcemi. [7; 12]

- Pico – Společnost Pico rovněž nabízí více modelů (např. Pico4, Pico 4 Ultra, Pico Neo 3), které výkonem a funkcemi přímo konkurují modelům od značky Meta. Značka Pico je více rozšířená na asijském trhu, nicméně je její nabídka dostupná i v Evropě a dalších regionech. [19]
- HTC Vive – HTC nabízí různé modely jako Vive Vision, Vive Focus 3 a Vive XR Elite. Tyto standalone headsety jsou primárně zaměřeny na firemní použití. Mají tedy menší knihovnu her a aplikací a často vyšší pořizovací cenu. [13]



Obrázek 7 Standalone headset (Meta Quest 3)

(zdroj: [20])

1.4 Využití VR

Virtuální realita si v posledních letech našla uplatnění v celé řadě odvětví. Díky technologickému pokroku a stále dostupnějším zařízením je dnes VR využívána nejen v oblasti zábavy, ale i v profesních, výukových a lékařských aplikacích.

Následující podkapitoly stručně popisují klíčové oblasti, kde VR nachází praktické využití.

1.4.1 Vzdělání

Umožňuje studentům všech věkových kategorií vstupovat do simulovaných prostředí, která by jinak byla nedostupná. Žáci se tak mohou například zúčastnit virtuálních exkurzí, prozkoumat historické události, absolvovat chemické pokusy v bezpečném prostředí, nebo se připravovat na práci ve zdravotnictví a výrobě pomocí realistických simulací. [21]

Jednou z hlavních výhod VR ve vzdělávání je schopnost vtáhnout studenty do výuky, zvýšit jejich motivaci a umožnit jim efektivnější zapamatování učiva. [21]

Mezi konkrétní příklady využití patří virtuální laboratoře (např. Labster), sociální VR třídy (např. rumii od Doghead Simulations) nebo umělecké galerie v prostředí VR (např. Boulevard nebo Kremer Museum). Kromě toho VR pomáhá snižovat pocity izolace při distanční výuce a nabízí i semi-anonymitu skrze avatary. [21]

Přestože VR ve školství čelí výzvám – zejména kvůli počátečním nákladům a nutnosti kvalitního výukového obsahu – její potenciál pro zvyšování dostupnosti, kvality a efektivity vzdělávání je značný. S rostoucí dostupností technologií a rozvojem obsahu je možné, že VR se stane běžnou součástí moderní výuky.



Obrázek 8 Prostředí aplikace rumii

(zdroj: [22])

1.4.2 Vojenský výcvik a simulace

Virtuální realita je klíčovým nástrojem moderního vojenského výcviku, který umožňuje simulovat realistické bojové a technické situace v bezpečném a nákladově efektivním prostředí. Americké ozbrojené síly využívají VR ke zkrácení doby výcviku, zvýšení efektivity a snížení nákladů. [23; 24]

Příklad programu Pilot Training Next ukazuje, že díky VR se výcvik pilotů zkrátí z původního jednoho roku na pouhé čtyři měsíce. Používání headsetů nahradilo multimilionové simulátory a umožnilo sběr detailních výkonnostních a biometrických dat pro lepší individualizaci tréninku.[23; 24]

Americká armáda také vyvinula systém Synthetic Training Environment (STE), který kombinuje virtuální a živý výcvik. Tento systém umožňuje opakovat simulace bojových vozidel a scénářů v různých podmínkách bez nutnosti nasazení fyzické techniky, což zvyšuje flexibilitu a bezpečnost.[23; 24]

VR se také používá při výcviku parašutistů – například systém PARASIM, který simuluje seskok pomocí virtuální reality a fyzického zavěšení – a bezpečnostních složek (program Street Smarts VR). Díky možnosti rychlé změny scénářů, sledování výkonu a opakovanému tréninku VR výrazně zlepšuje „svalovou paměť“ a přenositelnost naučených dovedností do praxe.[23; 24]

Celkově VR ve vojenském výcviku přináší vyšší efektivitu, snížení nákladů a lepší bezpečnost bez velkých kompromisů na kvalitě výuky.



Obrázek 9 Simulace pilotování letadla

(zdroj: [25])

1.4.3 Medicína

Virtuální realita si postupně nachází pevné místo i ve zdravotnictví, kde zvyšuje efektivitu výuky a kvalitu péče o pacienty.

VR umožňuje trénink lékařských postupů a operací na virtuálních pacientech. Simulace chirurgických zákroků založené na reálných datech zvyšují technickou připravenost lékařů. VR také slouží k rozvoji empatie – budoucí lékaři si mohou díky simulacím vyzkoušet, jaké to je žít s některými zdravotními omezeními. [26]

VR podporuje rehabilitaci i domácí péči – pacienti mohou cvičit motoriku v interaktivním prostředí, zatímco jejich pokrok sleduje lékař na dálku. Terapie se přizpůsobuje v reálném čase a herní prvky zvyšují motivaci. VR se osvědčuje také při zvládání bolesti během zákroků, kdy odvádí pozornost. [26]

VR může snížit náklady na výuku zdravotníku tím, že částečně nahrazuje drahý trénink v reálném prostředí. Zároveň zvyšuje dostupnost vzdělávání a pomáhá zkrátit dobu potřebnou k osvojení klíčových dovedností. [26]



Obrázek 10 Simulace zákroku ve VR prostředí (ORamaVR)

(zdroj: [26])

1.4.4 Zábavní a herní průmysl

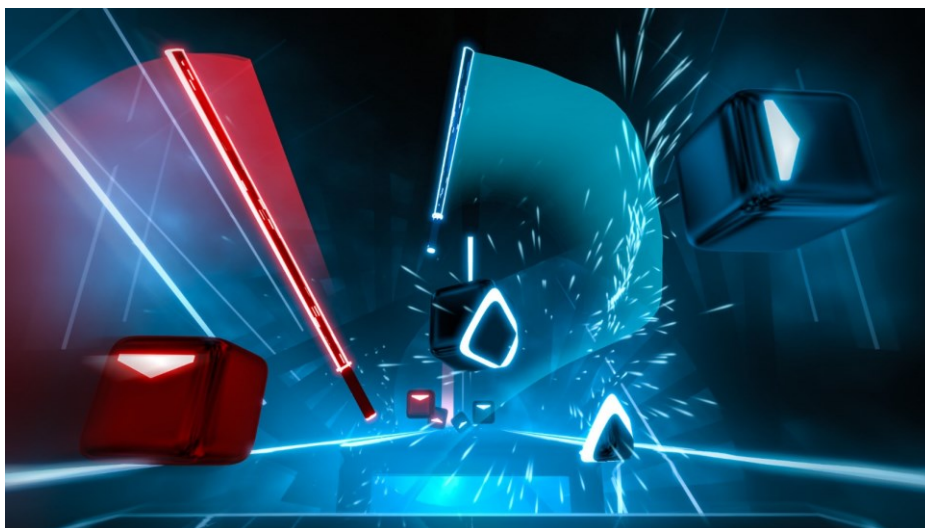
Virtuální realita má své nejviditelnější uplatnění právě v oblasti zábavy a videoher. Přestože její podíl na platformě Steam byl v dubnu 2025 relativně malý (1,74 %), jde o nezanedbatelný nárůst například oproti listopadu 2019, kdy VR zařízení vlastnilo pouze 0,36 % uživatelů. S ohledem na růst počtu uživatelů na Steamu z 17,6 milionu na 40 milionu během stejného období se dá odhadnout, že počet VR uživatelů se zvedl z přibližně 6,5 milionu na téměř 70 milionů. To znamená, že se jejich počet během posledních šesti let více než zdesetinásobil. [27; 28; 29]

K nejrozšířenějším headsetům v této oblasti patří cenově dostupná zařízení řady Meta Quest – konkrétně Quest 2 (29,84 %), Quest 3 (23,20 %) a nově i Quest 3S (5,5 %). I když jde o tzv. standalone headsety, podporují také tzv. PCVR režim, což přispívá k jejich popularitě mezi uživateli platformy Steam vzhledem k jejich nižší pořizovací ceně. K dalším rozšířeným zařízením zde patří Valve Index (14,10 %), Rift S, Pico 4 nebo HTC Vive. [27]

Nejznámějším VR titulem je bezesporu Beat Saber, hudební hra od českého studia Beat Games, kde hráč pomocí pohybů rukou do rytmu hudby rozsekává barevné kostky. Studio bylo v listopadu 2019 odkoupeno společností Meta (dříve Facebook), což dále podpořilo rozšíření tohoto titulu. [30; 31; 32]

Další populární VR hry zahrnují Half-Life: Alyx od společnosti Valve – příběhově laděnou střílečku zasazenou do známého světa Half-Life. Titul Population One přináší battle royale zážitek ve VR prostředí. Hra VRChat funguje jako sociální platforma, kde si uživatelé mohou vytvářet své vlastní avatary, světy i interaktivní hry (včetně deskových a stolních her, příběhovek i akčních scénářů). Mezi komunitou je rovněž velmi oblíbená i pohybově náročnější hra Gorilla Tag. [30; 31]

Růst počtu uživatelů, dostupnost cenově přijatelných zařízení a existence úspěšných herních titulů ukazují, že VR si v herním průmyslu nadále upevňuje své místo.



Obrázek 11 Snímek ze hry Beat Saber

(zdroj: [33])

2 ZPŮSOBY INTERAKCE VE VIRTUÁLNÍ REALITĚ

Způsob interakce uživatele s virtuální realitou má klíčový vliv na celkový zážitek. Různé metody interakce, jako ovladače, pohybové senzory nebo VR rukavice, umožňují uživatelům ovládat a komunikovat s digitálním prostředím, což je zásadní pro efektivitu a přirozenost interakce ve virtuálním světě.

V této kapitole se budu věnovat aktuálně dostupným možnostem v oblasti interakce s virtuálním prostředím pomocí rukou.

2.1 Současný stav VR ovladačů

Moderní VR ovladače jsou často ergonomicky podobné herním ovladačům od herních konzolí, na které jsou uživatelé zvyklí. Obsahují joystick pro analogový pohyb v prostoru nebo otočení obrazu, několik tlačítek pro akce či otevření menu a spoušť pro ukazováček (tzv. trigger). Oproti klasickým herním ovladačům mají navíc často druhou spoušť pro uchopení předmětů ve virtuálním prostoru (tzv. grip). [12; 13; 11]

Starší VR ovladače bývají vybaveny kruhovými či obloukovými částmi se senzory pro sledování v prostoru. Novější modely mají již tyto senzory zabudované přímo v těle ovladače.[13; 11; 12]

Některé ovladače nabízejí pokročilejší funkce, jako je sledování sevření prstů nebo vlastní kamery, které umožňují přesné sledování bez potřeby externího sledovacího zařízení. Některé modely mají lepší uchycení k ruce, anebo další jiné pokročilé funkce. [11; 12]

Některé společnosti nabízí u svých headsetů i tzv. hand tracking, kde s pomocí kamer zaznamenávají pohyb rukou a prstů. [34]

Nejlepší kompromis mezi klasickými VR ovladači a hand trackingem jsou VR rukavice. Ty nabízejí přesné sledování prstů (stejně jako hand tracking) a zároveň mají kvalitu sledování pohybu v prostoru a další funkce, jako klasické VR ovladače.

2.2 Standardní VR ovladače

Standardní ovladače jsou sledovány buď stanicemi (př. Lighthouse) anebo v případě inside-out trackingu jsou sledovány samotným headsetem.

- VIVE Controller– jsou ovladače od společnosti HTC, které používají již od svých prvních VR brýlí HTC Vive. Tyto ovladače mají analogový trigger pro ukazováček,

2 boční tlačítka pro grip, 2 tlačítka pro přídavné funkce nebo otevření menu a trackpad s tlačítkem, který slouží k pohybu místo joysticku. Mají umístěné sledovací senzory směrem ven od ruky a kvůli tomu jsou oproti konkurenci rozměrnější. [35; 13]



Obrázek 12 VIVE Controller

(zdroj: [35])

- Další ovladače (Meta Rift, Rift S, Quest 2, Quest 3, VIVE Focus 3, HP Reverb G2, Pimax Crystal, Pico a další) – většina těchto VR ovladačů má podobné funkce a to 1 joystick pro pohyb, 1 analogový trigger a 1 grip (grip je zde oproti Vive Controlleru analogový), 1 tlačítko pro menu a 2 tlačítka pro další akce. [11; 12; 14; 15; 19]



Obrázek 13 Meta Quest 2 Controllers

(zdroj: [36])

2.3 Pokročilejší VR ovladače

Tyto ovladače mají oproti většině standardních ovladačů nějaké pokročilé funkce.

- Meta Quest Touch Pro Controllers – tyto ovladače mají v sobě zabudovaný mobilní čip a kamery, pomocí kterých dokážou ovladače sledovat svůj pohyb v prostoru bez dalších sledovacích zařízení. Ostatní funkce a tlačítka má jako většina standardních ovladačů. Kromě headsetu Meta Quest Pro je lze použít i pro další jejich headsety jako Quest 2 a Quest 3 (tím headsety získají možnost sledovat ovladače např. za zády nebo za jinými objekty). [37]



Obrázek 14 Meta Quest Touch Pro Controllers

(zdroj: [37])

- Valve Index Controller. – tyto ovladače jsou kompatibilní pouze se sledovacím systémem Lighthouse. Využití s jinými headsety jako např. z řady Meta Quest je také možné, ale poněkud složitější a pouze oblasti PCVR. Tyto ovladače však oproti ostatním mají uchycení konstruované tak, že uživatel nemusí ovladač pevně držet, jsou totiž přichycené páskem na dlaních. Díky tomuto uchycení, a hlavně přidaných speciálních senzorů, umí ovladače sledovat sevření prstů. Oproti VR rukavicím je toto měření však méně přesné a není možné držet v ruce jiný předmět než samotný ovladač. [11; 38]



Obrázek 15 Valve Index Controllers

(zdroj: [38])

2.4 VR rukavice – existující řešení

VR rukavice představují pokročilý způsob interakce s virtuálním prostředím, který umožňuje přesné snímání pohybu prstů a gest. Existuje mnoho různých modelů lišících se technologií, cenou, dostupností i mírou integrace s běžnými VR systémy. Některé rukavice jsou určeny výhradně vývojářům nebo pro profesionální použití, jiné se zaměřují na širší veřejnost.

V následujících podkapitolách budou představeny vybrané komerčně dostupné i komunitní projekty, které ilustrují rozmanitost přístupů v této oblasti.

2.4.1 Teslasuit TeslaGlove

TeslaGlove je pokročilá VR rukavice vyvinutá firmou Teslasuit, která je známá především svým celotělovým oblekem pro simulaci haptiky a pohybu.

Rukavice TeslaGlove nabízí kombinaci haptické zpětné vazby a force feedbacku, která umožňuje realistické vnímání dotyků a odporu při manipulaci s virtuálními objekty.

Rukavice sleduje pohyb prstů, a navíc měří biometrické údaje (například srdeční tep uživatele). [39]

Pro prostorové sledování je potřeba připojit externí zařízení, jako jsou HTC Vive Trackery nebo Meta Quest ovladače. TeslaGlove podporuje integraci s vývojářskými nástroji jako Unreal Engine a nabízí API pro programování, avšak není uvedena přímá podpora velmi rozšířeného VR prostředí SteamVR. [39]

Cena tohoto zařízení je vysoká, pohybuje se kolem 15 000 \$, a je určeno především pro firemní zákazníky a profesionální využití. [39]



Obrázek 16 TeslaGlove

(zdroj: [39])

2.4.2 Manus Quantum Metagloves

Rukavice nabízejí přesné sledování pohybu prstů a rukou pomocí integrovaných senzorů, které nevyžadují externí zařízení jako HTC trackery. To je výrazná výhoda oproti některým jiným rukavicím, které spoléhají právě na externí sledovací jednotky. Rukavice mají vyměnitelné baterie, což umožňuje nepřetržitý provoz. [40]

Cena rukavic Manus je kolem 2900 \$, což je sice stále vysoká částka, ale výrazně nižší než například u TeslaSuit TeslaGlove. [41]

Další výhodou Manus rukavic je, že kromě profesionálního využití pro motion capture je možné je také přímo používat ve SteamVR, což zajišťuje kompatibilitu s mnoha populárními VR aplikacemi a hrami. Rukavice jsou navíc vcelku kompaktní. [40]

Celkově tak Manus Quantum Metagloves představují vyváženější řešení mezi cenou, funkcemi a kompatibilitou.



Obrázek 17 Manus Quantum Metagloves

(zdroj: [41])

2.4.3 bHaptics TactGloves

TactGloves jsou haptické rukavice, které zvyšují zážitek z virtuální reality přidáním vibrační zpětné vazby na dvanácti místech na prstech a zápěstí. Na rozdíl od pokročilejších VR

rukavic nesledují pohyb prstů ani neposkytují force feedback, ale soustředí se čistě na vibrační efekty.[42]

Rukavice komunikují bezdrátově přes Bluetooth a jsou kompatibilní s kamerovým sledováním rukou v populárních VR zařízení, jako jsou Meta Quest nebo Varjo XR. Jsou lehké a navrženy tak, aby se daly používat s dotykovými displeji. [42]

Cena je výrazně nižší než u náročnějších řešení – stojí přibližně 249 \$. [42]



Obrázek 18 bHaptics TactGloves DK2

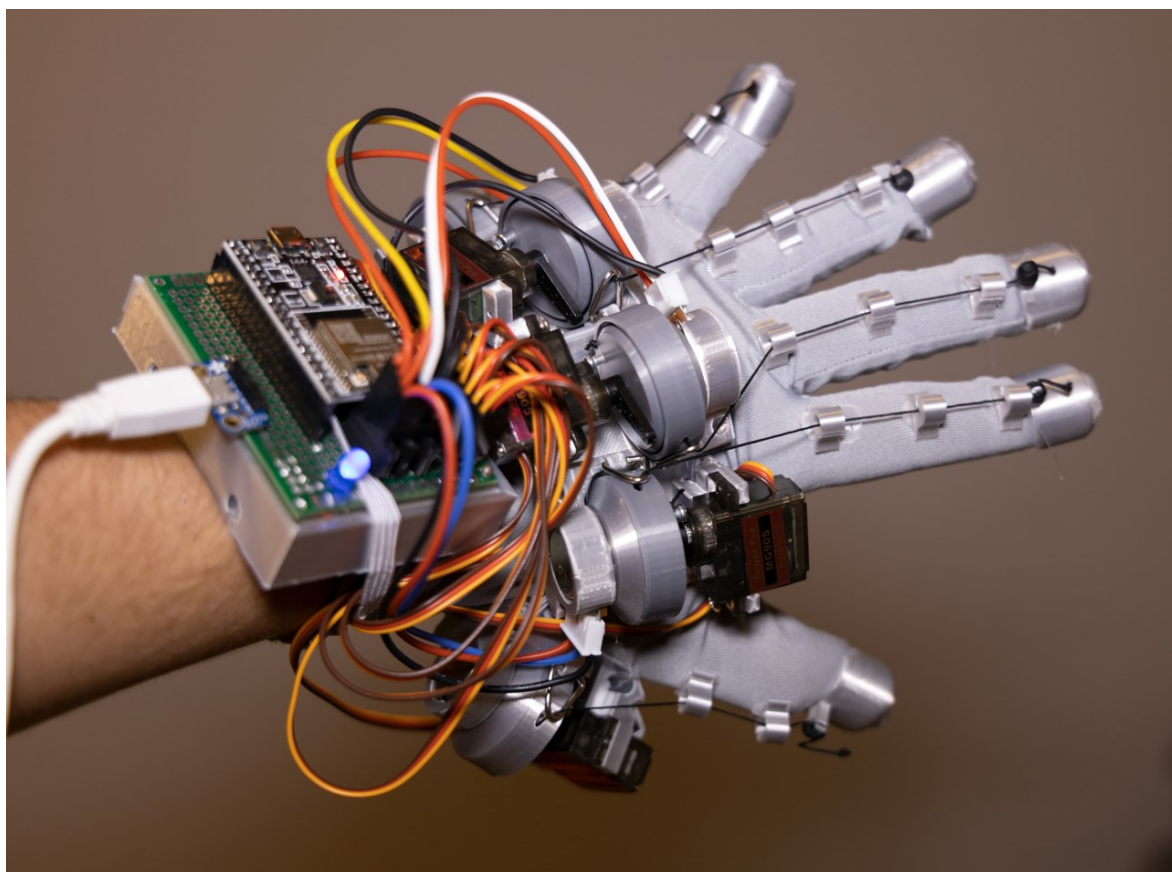
(zdroj: [42])

2.4.4 LucidGloves

LucidGloves představují populární DIY (Do It Yourself) projekt v komunitě virtuální reality, který nabízí haptické rukavice s force feedbackem a sledováním prstů.

Největší výhodou těchto rukavic je jejich velmi nízká cena, pohybující se v řádu desítek dolarů, což je výrazně dostupnější oproti komerčním produktům na trhu. Na druhou stranu je však nutné počítat s tím, že jejich vlastní sestavení vyžaduje určité technické znalosti a čas. Výsledné rukavice bývají o něco objemnější než profesionální modely. Projekt je otevřeně dostupný na platformě GitHub, kde komunita sdílí veškeré informace a návody pro vlastní výrobu. [43; 44]

Tyto rukavice povolují integraci do platformy SteamVR co se týče sledování prstů a existují už i pluginy do jednotlivých her či aplikací pro funkčnost funkce hapticfeedback. [43; 44]



Obrázek 19 LucidGloves

(zdroj: [43])

2.5 Meta hand tracking

Za zmínku v oblasti ovládaní rukou stojí také technologie hand tracking od společnosti Meta, která je zabudovaná přímo v jejich standalone VR headsetech, jako jsou Quest 2, Quest 3, Pro a 3S. Sledování jednotlivých prstů je přesnější než u ovladačů Valve Index, avšak chybí zde fyzická tlačítka a joystick pro další interakci, které Meta nahrazuje gesty. Tato gesta však mohou být méně intuitivní. Přesnost snímání také klesá v situacích, kdy kamery nemají ideální výhled na ruku, například je ruka otočená nebo zakrytá objektem (například nápojem), anebo z důvodu špatného osvětlení. [34; 12]



Obrázek 20 Meta Quest hand tracking

(zdroj: [45])

3 KOMUNIKAČNÍ PLATFORMA PRO VR

Vývoj zařízení pro VR vyžaduje efektivní a spolehlivou komunikaci mezi jednotlivými součástmi systému – zejména mezi senzory na vstupním zařízení a hlavní výpočetní jednotkou (např. počítačem s nainstalovanou VR platformou).

Tato kapitola shrnuje běžně využívané softwarové a hardwarové prostředky sloužící pro přenos dat, jejich zpracování a následné propojení se samotným VR prostředím.

3.1 Mikrokontroler

Mikrokontroler je malý integrovaný obvod obsahující procesor, paměť a vstupně-výstupní rozhraní. Mikrokontroler umožňuje řídit jednoduchá elektronická zařízení a je schopen zpracovávat analogová i digitální data ze senzorů, provádět základní výpočty a komunikovat s dalšími zařízeními. [46][47][48]

3.2 Bezdrátová komunikace pomocí BTSerial

Bluetooth je bezdrátový komunikační standard určený pro krátké vzdálenosti s nízkou spotřebou energie. Pro účely přenosu dat mezi mikrokontrolery a počítačem se často používá Bluetooth SPP (Serial Port Profile). Tento profil simuluje sériové spojení UART (Universal asynchronous receiver-transmitter) a umožňuje jednoduchý přenos binárních nebo textových dat mezi zařízeními. [49; 47]

Výhodou Bluetooth SPP je jeho široká podpora napříč operačními systémy a platformami a snadná implementace. Je vhodný především pro aplikace, kde není klíčová velká propustnost, ale spíše jednoduchost, nízká spotřeba a stabilita. [49]

3.3 Python jako middleware nástroj

Python je univerzální programovací jazyk, který se vyznačuje jednoduchou syntaxí a rozsáhlým ekosystémem knihoven. Je často využíván v prototypování, vědeckých výpočtech a dalších oblastech. [50]

Díky jeho rozsáhlým knihovnám je Python vhodný i pro tvorbu tzv. middleware aplikací, které zajišťují zpracování příchozích dat, jejich úpravu, transformaci a předávání do jiných softwarových částí systémů – například do aplikací zajišťujících VR rozhraní. [51]

3.4 SteamVR

SteamVR je open-platforma vyvinutá společností Valve Corporation, která slouží jako prostředník mezi hardwarem pro virtuální realitu a VR aplikacemi. Umožňuje jednotné rozhraní pro komunikaci s různými zařízeními napříč výrobci. [52]

Platforma podporuje rozšíření pomocí tzv. SteamVR Input System, který umožňuje přemapování vstupů z různých zařízení a přidávání nových zařízení pomocí tzv. SteamVR driverů. [52]

3.5 Windows Named Pipes

Named Pipes jsou jedním z mechanismů meziprocesové komunikace v operačním systému Windows. Umožňují výměnu dat mezi dvěma běžícími procesy – buď na stejném počítači, nebo i přes síť. [53]

Pro přenos binárních dat mezi middleware aplikací a externím programem jsou named pipes výhodné díky své rychlosti a jednoduchému programovému rozhraní. Jsou běžně využívány v případech, kdy aplikace běží paralelně a potřebují mezi sebou rychle sdílet data. [53]

3.6 OpenGloves

OpenGloves je open-source projekt navržený pro snadnou integraci vlastních VR rukavic do prostředí SteamVR, bez nutnosti vývoje vlastního SteamVR ovladače (driveru). Využívá k tomu oficiální OpenVR API od společnosti Valve.

Systém umožňuje přijímat data z rukavic prostřednictvím několika typů rozhraní – jako je sériová komunikace, HID (Human Interface Device) nebo Windows Named Pipes – a dále tato data zpracovává, kalibruje a mapuje na pohyby jednotlivých prstů ve virtuálním prostředí. Zároveň přiřazuje rukavici pozici v prostoru pomocí již existujících VR zařízení, jako jsou trackery nebo ovladače. [54; 55]

OpenGloves tak poskytuje vývojářům nástroje pro konfiguraci, ladění a vizualizaci vstupů z různých typů vlastních rukavic v prostředí SteamVR. [54; 55]

4 3D TISK

Součástí mé praktické části práce bylo navrhnout a vyrobit konkrétní díly pro VR rukavici, k čemuž jsem využil 3D tisk.

3D tisk je proces, při kterém se z digitálního modelu vytváří fyzický objekt, a to pomocí automatického nanášení materiálu po vrstvách, což umožňuje vytváření složitých tvarů a struktur. 3D tisk se stává čím dál běžnějším nástrojem v průmyslu, designu a prototypování, přičemž je ideální pro výrobu prototypů, menší série produktů nebo pro testování rozměrů před investováním do drahých výrobních forem. [56]

4.1 Software pro tvorbu 3D modelů

Software pro tvorbu 3D modelů slouží k navrhování digitálních trojrozměrných objektů, které následně mohou být vytištěny pomocí 3D tiskárny. K dispozici je široká škála programů od jednoduchých až po profesionální CAD (computer-aided design) aplikace. Pro začátečníky je oblíbený například Tinkercad, webový nástroj s intuitivním ovládáním. Mezi pokročilejší software patří například Autodesk Fusion 360, který nabízí rozšířené nástroje pro parametrické modelování, simulace i export do formátů kompatibilních se slicery. [56]

4.2 Software pro řezání 3D modelů

Slicer je typ softwaru, který převádí 3D modely do instrukcí pro 3D tiskárnu, tzv. G-code. Tento proces zahrnuje rozdělení modelu na jednotlivé tiskové vrstvy, generování podpěr, výplní a dalších parametrů ovlivňujících výslednou kvalitu tisku. Mezi nejznámější patří PrusaSlicer, Ultimaker Cura, Bambu Studio nebo Creality Print. Výběr konkrétního softwaru závisí zpravidla na značce a typu tiskárny a preferencích uživatele. [56]

4.3 Technologie tisku

Pro domácí použití a rychlou výrobu prototypů se nejčastěji využívají technologie 3D tisku pracující s plastovými materiály. Mezi nejrozšířenější metody patří FDM (Fused Deposition Modeling) a SLA (Stereolitografie). Každá z těchto technologií využívá odlišný princip tisku i materiály a liší se v přesnosti, rychlosti, náročnosti post-processingu i cenové dostupnosti. [56]

4.3.1 FDM

FDM tisk využívá termoplastické filamenty (struny) o průměru obvykle 1,75 mm. Mezi nejčastěji používané materiály patří PLA (polyaktid), ABS (akrylonitrilbutadienstyren), TPU (termoplastický polyuretan) a další. Filament je v tiskové hlavě nahříván nad bod tavení a vytlačován přes trysku, čímž se po vrstvách vytváří požadovaný tvar. [56]

- Přesnost: běžně $\pm 0,1$ mm (v praxi může odchylka dosahovat až $\pm 0,5$ mm v závislosti na geometrii modelu a kvalitě tiskárny)
- Materiálové náklady: od cca 250 Kč/kg
- Výhody: nízké náklady, jednoduché ovládání, minimální post-processing
- Použití: ideální pro rychlé a levné prototypování tvarů a rozměrů



Obrázek 21 Creality K1 Max (FDM 3D tiskárna)

(zdroj: [57])

4.3.2 SLA

SLA tisk využívá tekutou fotocitlivou pryskyřici, která se vrstvou po vrstvě vytvrzuje UV světlem. Každá vrstva je exponována UV světlu přes displej, který vytvoří světelnou masku určující, kde pryskyřice ztuhne. Objekt se při tisku pohybuje směrem vzhůru, zatímco dno nádrže s pryskyřicí zůstává statické. [13]

- Přesnost: až 0,01 mm, velmi hladké povrchy s minimální viditelností vrstev
- Materiálové náklady: od cca 550 Kč/kg
- Nevýhody: toxicita nezpracované pryskyřice, nutnost oplachu a sekundárního UV vytvrzení, vyšší cena a delší doba post-processingu
- Použití: vhodné pro finální prototypy a díly vyžadující vysoký detail a estetickou kvalitu



Obrázek 22 Elegoo Mars 3 PRO (SLA 3D tiskárna)

(zdroj: [58])

II PRAKTICKÁ ČÁST

5 VÝBĚR KOMPONENT PRO VLASTNÍ VR RUKAVICI

Při návrhu a vývoji VR rukavice bylo nezbytné zvolit vhodné komponenty, které by umožnily zachytit pohyby prstů, poskytly dodatečné ovládací prvky a zajistily spolehlivý přenos dat do počítače. Výběr jednotlivých prvků byl ovlivněn dostupností na trhu, kompatibilitou s použitým mikrokontrolerem a možností snadné integrace do fyzické konstrukce rukavice.

Mým záměrem bylo navrhnout řešení, které bude bezdrátové s možností základní interakce ve virtuálním prostředí pomocí joysticku a několika tlačítek. Dalším požadavkem bylo využití levnějších a prostorově nenáročných senzorů pro sledování ohybu prstů, které by neomezovaly uživatele při pohybu. Sledování pozice celé ruky v prostoru je náročnější úkol, proto jsem se rozhodl využít již existující komerčně dostupné zařízení – HTC Vive Tracker 3.0 ve spojení s HTC Base Station 2.0

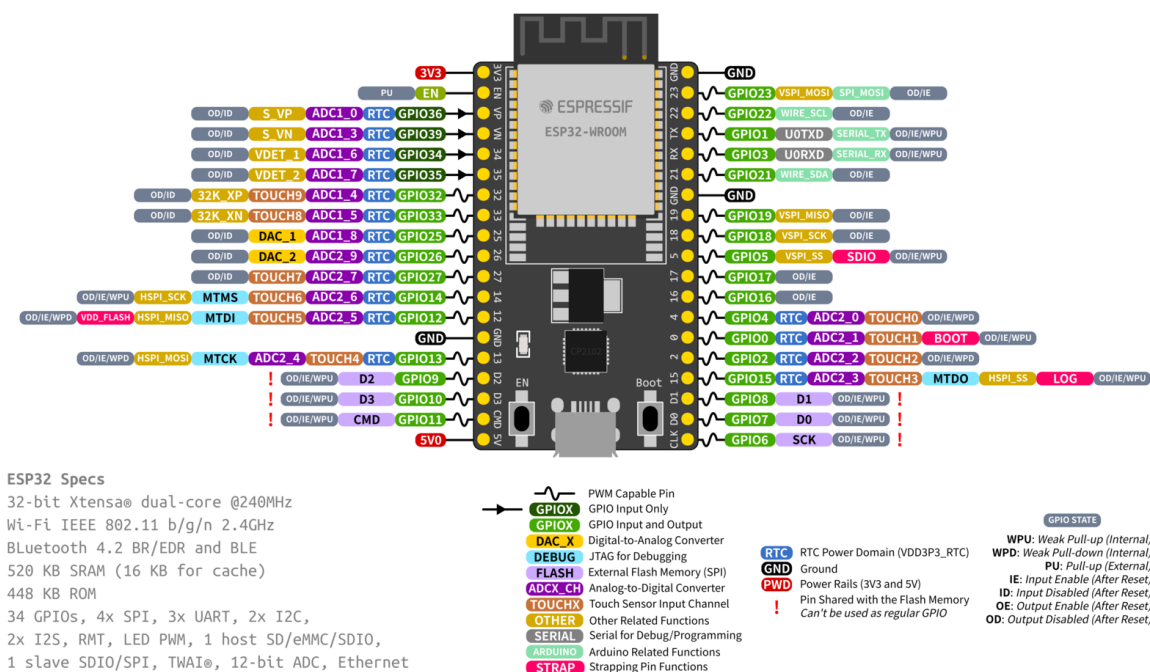
Tato kapitola popisuje jednotlivé zvolené komponenty, jejich hlavní funkci v systému a důvody, proč byly pro daný účel vybrány. Cílem bylo navrhnout takové řešení, které bude funkční, flexibilní a zároveň cenově dostupné, s možností pozdější úpravy nebo rozšíření.

5.1 Mikrokontroler

Pro řízení celé VR rukavice jsem zvolil mikrokontroler ESP32-DevkitC v4 osazený modulem ESP32-WROOM-32U, který byl ve fázi výběru dostupný a již jsem s ním měl předchozí zkušenosti. Tento konkrétní typ ESP32 nabízí dostatečný počet analogových vstupů, potřebných pro snímání jednotlivých prstů i polohy joysticku. Zároveň umožňuje bezdrátovou komunikaci přes Bluetooth, která je klíčová pro propojení s doprovodnou aplikací na počítači bez nutnosti kabelového spojení. Jeho pořizovací cena byla 120 Kč.

Při výběru jsem zvažoval i další mikrokontrolery, jako například Arduino Nano nebo Raspberry Pi Pico, které by jinak byly vhodné svou velikostí i dostupností. Tyto platformy však neobsahují vestavěnou bezdrátovou konektivitu nebo dostatek analogových pinů. Bylo by potřeba tedy využít další externí moduly, čímž by se celý návrh zbytečně komplikoval. Ze stejného důvodu jsem vyřadil i další mikrokontrolery, které jsem měl k dispozici – například WeMos D1 Mini (ESP8266), ESP32-CAM nebo ESP-01S. Některé z nich opět nedisponují dostatečným počtem analogových vstupů, nebo nejsou vhodné pro bezdrátové Bluetooth spojení.

ESP32-DevKitC



Obrázek 23 ESP-32DevkitC v4

(zdroj: [59])

5.2 Joystick

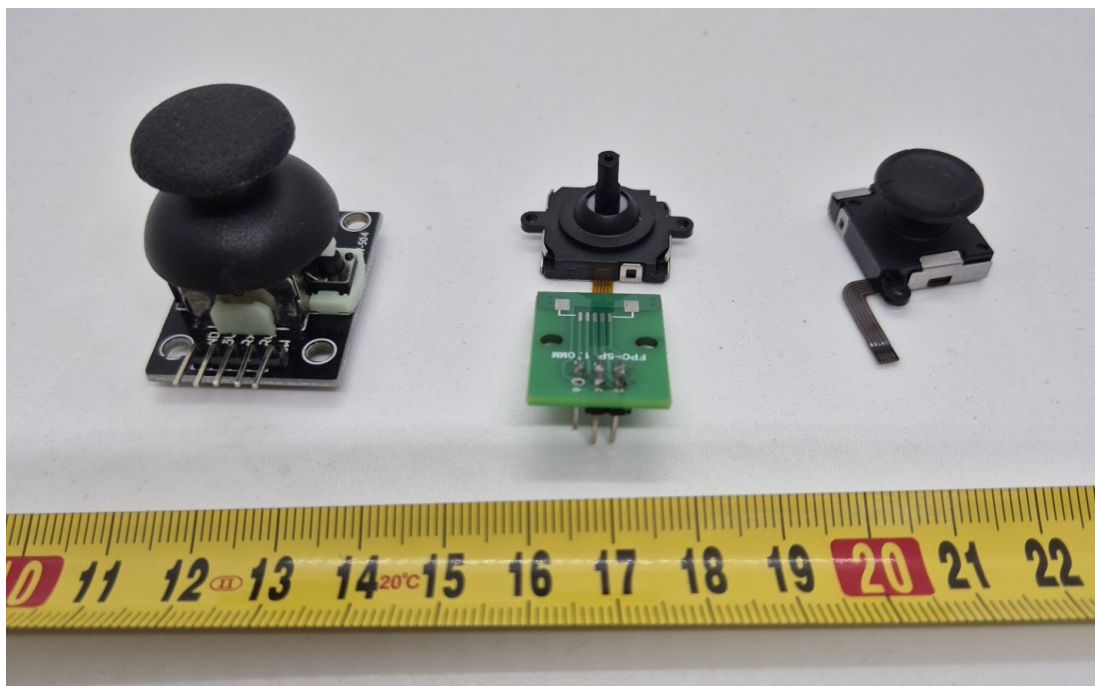
Pro ovládání pohybu ve virtuálním prostředí jsem zvolil joystick jako hlavní vstupní prvek, protože interakce pomocí gest zatím není dostatečně intuitivní pro simulaci chůze či přesnou navigaci. Při výběru vhodného typu joysticku jsem si zakoupil a prakticky otestoval několik běžně dostupných variant. Porovnával jsem je zejména z hlediska rozměrů, kompatibility s ESP32, přítomnosti tlačítka a vhodnosti pro integraci do rukavice.

Všechny zmíněné moduly jsem si zakoupil, zapojil a otestoval, abych mohl výběr podložit nejen teoretickými parametry, ale i praktickými zkušenostmi.

- Arduino joystick modul obsahuje i stiskací tlačítko pod osou, nicméně pracuje s napájením 5 V, což není plně kompatibilní s logikou ESP32 (3,3 V). Při testování tedy docházelo k nesprávnému čtení dat. Navíc je tento modul velmi rozměrný, a tedy nevhodný pro integraci do rukavice.
- PSP joystick je výrazně menší a kompatibilní s ESP32, ale neobsahuje stiskací tlačítko a umožňuje pouze posunutí joysticku, místo naklánění, jak jsou lidé zvyklí.

- Joystick z Oculus Quest 2 ovladače je navržen pro VR použití, a tedy ideálně padne do tohoto prostředí. Je fyzicky malý a výstupně kompatibilní s ESP32. Jeho hlavní nevýhodou je, že se běžně prodává bez čepičky, má tedy vyšší kompletní pořizovací cenu a vysokou ovládací osu, což je nevhodné pro integraci do rukavice.
- Joystick z ovladače Nintendo Switch nakonec vyšel jako nejvhodnější varianta. Je kompaktní, ergonomický, prodává se vcelku (včetně krytky a nízké páky), a navíc je plně kompatibilní s ESP32. Svými rozměry a chováním je velmi podobný joysticku z Oculus Quest 2, ale s výhodou jednoduššího osazení.

Pro účely testování jsem zakoupil dvě verze Nintendo Switch joysticku – klasickou a údajně lepší verzi s hall effect senzory. Varianta s hall effect senzory však při testování projevovala nižší přesnost a menší rozsah hodnot, proto jsem se v konečné verzi rozhodl pro použití klasické analogové varianty. Pořizovací cena tohoto joysticku byla 40 Kč.



Obrázek 24 Příklady joysticků (vlevo Arduino joystick modul, uprostřed joystick pro Meta Quest 2 ovladač s redukcí na větší vodiče, vpravo joystick pro Nintendo Switch)

(zdroj: vlastní)

5.3 Senzory pro ohyb prstů

Pro snímání ohybu jednotlivých prstů rukavice jsem využil flex (ohybové) senzory značky Spectrasymbol. Výběr vhodné technologie pro sledování pohybu prstů byl jedním

z klíčových rozhodnutí při návrhu rukavice. Níže uvádím přehled několika možných přístupů a důvody, proč jsem zvolil právě flex senzory:

- Potenciometr – Tento způsob využívá například model LucidGlove, kde je ohyb snímán pomocí potenciometru s provázkem a pružinou pro vrácení do výchozí polohy. Tento mechanismus je vcelku levný, nicméně je dle mého názoru relativně objemný a složitý, což by komplikovalo umístění dalších komponent na ruku.
- IMU (Inertial Measurement Unit) senzor – IMU senzory se používají například ve SlimeVR Trackeru pro sledování pohybu těla. Nicméně z dostupných recenzí a mých zkušeností vyplývá, že tyto senzory časem ztrácí kalibraci, což by negativně ovlivnilo přesnost sledování prstů. Z tohoto důvodu jsem tuto technologii více nezkoumal.
- Elastic senzor – Tento typ senzoru měří roztažení elastického materiálu. Elastic senzory se jeví jako velmi ideální řešení díky své flexibilitě a citlivosti. Nicméně jsem je nedokázal najít volně dostupné ke koupi, proto jsem tuto možnost nemohl otestovat.
- Flex senzor – Flex senzory fungují na principu změny elektrického odporu v závislosti na ohnutí senzoru. Tento typ senzoru jsem zvolil jako kompromis mezi cenou, dostupností a funkcionalitou. I když jsou cenově náročnější než například potenciometry a nemají tak široký rozsah pohybu jako elastické senzory, jsou pro mou aplikaci dostatečné, a hlavně dobře dostupné na trhu.

Pro ohyb palce, ukazováčku, prostředníčku a prsteníčku jsem zvolil větší 112 mm senzory, jejichž odpor se při ohybu pohybuje v rozmezí 10 až 60 k Ω s vysokou tolerancí +/- 30 %. Cena tohoto jednoho senzoru byla 429 Kč.

Pro ohyb malíčku jsem vzhledem k velikosti prstu zvolil menší senzor s délkou 74 mm, jehož odpor se při ohybu mění v rozmezí 25 až 125 k Ω s velkou tolerancí +/- 30 %. Cena tohoto senzoru byla 329 Kč.



Obrázek 25 Flex senzor (112 mm)

(zdroj: vlastní)

5.4 Tlačítka

Součástí návrhu rukavice jsou také mechanická tlačítka, které slouží jako dodatečný ovládací prvek – například zobrazení menu či jiné systémové funkce.

Pro účely výběru jsem si pořídil sadu různých typů tlačítek, která zahrnovala různé velikosti a tvary provedení. Na základě praktického testování jsem zvolil největší variantu tlačítka ze sady, a to především z důvodu snadné manipulace během prototypování a zapojování do systému. V této fázi vývoje je robustnější provedení výhodou.



Obrázek 26 Sada tlačítek

(zdroj: vlastní)

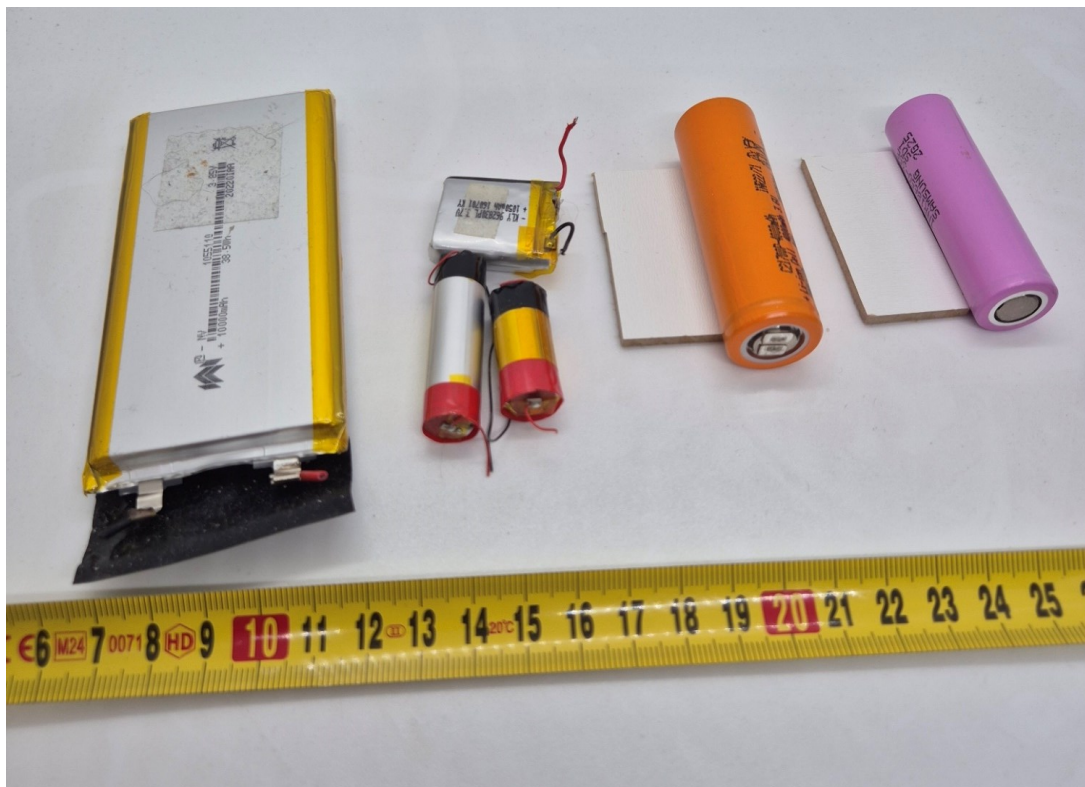
5.5 Napájení

Napájení celé rukavice je zajištěno dobíjecí baterií, která musí splňovat několik praktických požadavků. Měla by mít dostatečnou kapacitu pro reálné používání alespoň po dobu jedné herní nebo testovací relace, zároveň ale kompaktní rozměry, aby nebyla příliš těžká nebo překážející při manipulaci s rukou.

Pro účely testování a výběru jsem měl k dispozici více typů baterií:

- Li-ion 18650, 2–3 Ah – klasický válcovitý formát, velká kapacita, ale i objem.
- Li-ion 21700, 4–5 Ah – ještě větší formát s vyšší kapacitou, vhodný spíše pro větší zařízení.
- Obdélníkové články používané v powerbance – např. 5–20 Ah, výborná výdrž, ale nevhodné rozměry pro integraci do rukavice.
- 1,2 – 1,9 Wh články (používané například v jednorázových elektronických cigaretách) – velmi dobrý poměr mezi rozměry a výdrží.

Na základě fyzických rozměrů, hmotnosti a reálného testování jsem se nakonec rozhodl pro článek o kapacitě 1,91 Wh, u kterého byla zjištěna doba provozu přibližně 2,5 hodiny na jedno nabití. Tento čas je dostačující pro většinu testovacích relací, navíc lze baterii snadno dobíjet pomocí běžného nabíjecího modulu pro Li-ion články (TP4056), který jsem také integroval do systému. Cena nabíjecího modulu byla 9 Kč a cena nového bateriového článku se pohybuje okolo 120 Kč.



Obrázek 27 Příklady velikostí baterií

(zdroj: vlastní)

5.6 Rukavice

Pro funkčnost celého zařízení je výběr vhodné základní rukavice klíčový. Rukavice musí dobře sedět na ruce, být dostatečně přiléhavé pro přesné uchycení senzorů, ale zároveň pohodlné i při delším nošení. Příliš volné rukavice (např. běžné textilní) způsobují nežádoucí pohyby senzorů, naopak příliš těsné či neprodyšné varianty (např. kožené nebo gumové) vedou k nadměrnému pocení a sníženému komfortu.

Pro volbu ideálního materiálu jsem zakoupil a prakticky otestoval několik typů běžně dostupných rukavic:

- Běžné textilní rukavice,
- Zimní rukavice,
- Kožené pracovní rukavice,
- Gumové chemické a pracovní rukavice,
- Zahradnické rukavice,
- Cyklistické rukavice.

Po porovnání různých variant jsem jako nejvhodnější zvolil prodyšné pracovní rukavice s částečně pogumovanou dlaní. Tyto rukavice mi nejlépe seděly rozměrově, zachovávají dobrou flexibilitu při ohýbání prstů a zároveň jsou dostatečně prodyšné, takže nedochází k přehřívání ruky ani po delším nošení. Díky pokrytí i na jednotlivých prstech navíc umožňují snadné a stabilní uchycení ohybových senzorů. Cena těchto rukavic byla 129 Kč.



Obrázek 28 Zvolená rukavice

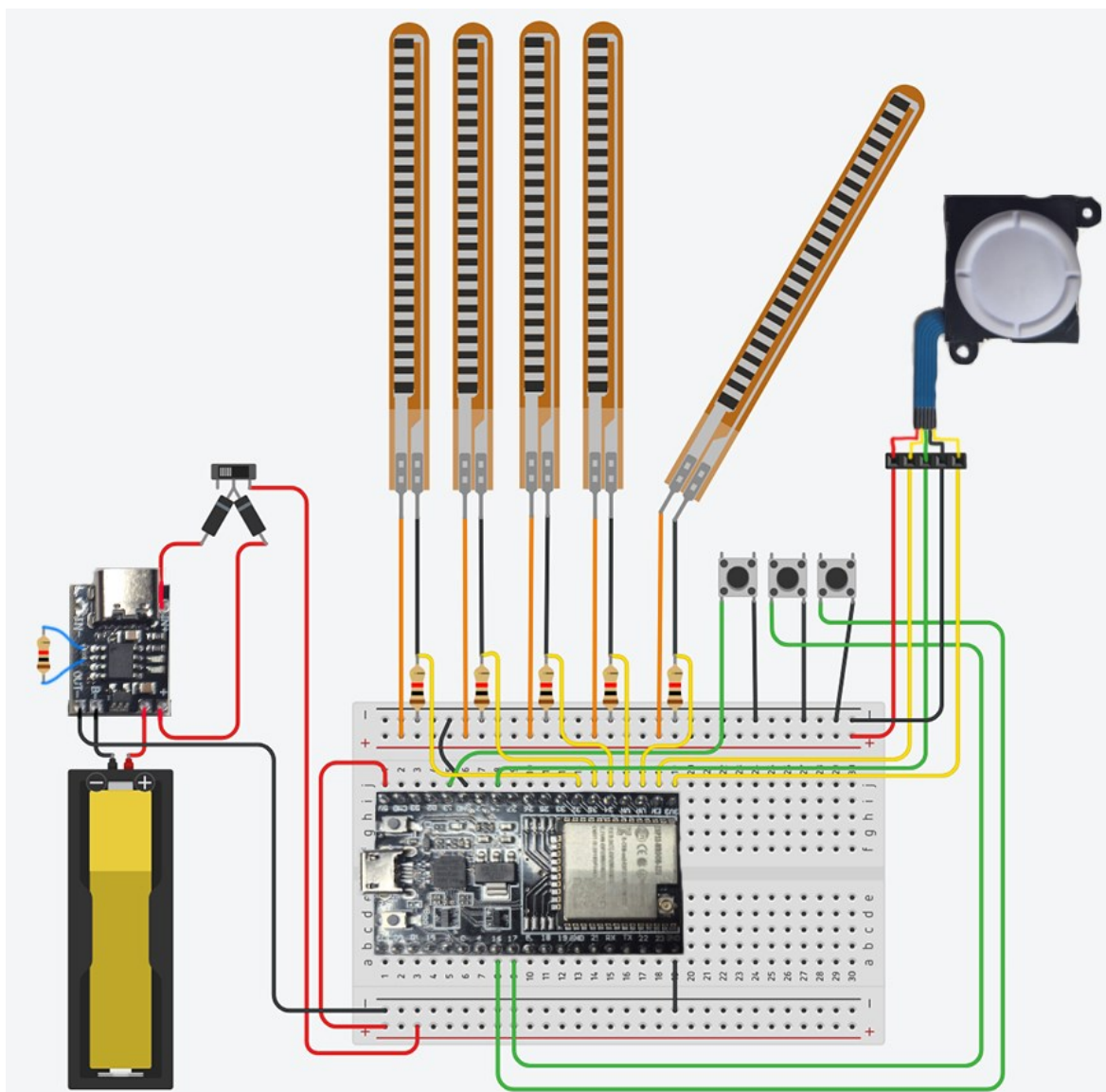
(zdroj: vlastní)

6 FYZICKÉ ZAŘÍZENÍ – NÁVRH A REALIZACE

Po výběru jednotlivých komponent bylo cílem navrhnout a sestavit kompletní fyzickou rukavici. Nejprve byla většina elektronických součástí samostatně zapojena a otestována, aby byla ověřena správnost zapojení, funkčnost, a kompatibilita. Následně byl navržen celkový koncept rozmístění komponent a vytvořeny 3D modely pro uchycení jednotlivých prvků. Tyto modely byly vytištěny pomocí 3D tisku a posloužily pro pevné přichycení částí k rukavici. V závěrečné fázi došlo k propojení všech komponent podle vytvořeného schématu a sestavení finálního funkčního prototypu.

6.1 Návrh schématu zapojení

Pro návrh zapojení jednotlivých komponent jsem vycházel z oficiálního pinoutu vývojové desky ESP32 DevKitC v4, dostupného na stránkách výrobce a zmíněného v předchozí kapitole 5.1. Na základě tohoto pinoutu byly zvoleny konkrétní piny pro připojení napájení, senzorů a ovládacích prvků. Celkové schéma zapojení bylo navrženo v prostředí Tinkercad a následně vizuálně upraveno pro větší přehlednost.



Obrázek 29 Schéma zapojení

(zdroj: vlastní)

6.1.1 Napájení

Napájení zařízení je realizováno pomocí Li-ion baterie, která je připojena na vstupní piny nabíjecího modulu „BAT+“ a „BAT-“. Pro omezení nabíjecího proudu byl na modulu vyměněn rezistor – původní nastavení 1 A bylo změněno na přibližně 250 mA, aby bylo dosaženo bezpečnějšího nabíjení baterie s malou kapacitou.

Výstupní pin „OUT-“ na nabíjecím modulu byl následně napojen přímo na „GND“ pin mikrokontroleru. Poté byli napojeny diody 1N5817 od pinů „IN+“ a „OUT+“ směrem na posuvné tlačítko pro zapnutí napájení. Celé zapojení vychází ze schématu použitých v jiných komunitních projektech (například u projektu SlimeVR Tracker).

6.1.1 Tlačítka

Tři digitální tlačítka byla zapojena na digitální vstupy mikrokontroleru – konkrétně na piny GPIO (General-purpose input/output) 17, GPIO 13 a GPIO 16. Druhá strana každého tlačítka je propojena s pinem „GND“. Pro snadnější údržbu během vývoje byly mezi tlačítka a mikrokontroler přidány standardní XH2.54 konektory.

6.1.2 Flex senzory

Flex senzory sloužící ke snímání ohybu prstů byly dle doporučení výrobce zapojeny jako napěťový dělič. Jedna strana každého senzoru je připojena na 3,3 V pin mikrokontroleru, druhá strana vede na analogové vstupní piny (GPIO 36, 39, 34, 35 a 32). Mezi analogový pin a pin „GND“ je zapojen pevný rezistor, který spolu se senzorem tvoří proměnný odporový dělič. Pro jednotlivé senzory byli přidány XH2.54 konektory pro možnost jejich odpojení či výměny.

Pro delší flex senzory jsem zvolil rezistor o hodnotě 6800 Ω , u kratšího senzoru jsem použil 20 k Ω odpor. Obojí se pohybuje v doporučeném rozsahu a poskytuje dostatečný rozdíl napětí pro spolehlivé čtení hodnot na analogových pinech mikrokontroleru.

6.1.3 Joystick

Pro ovládání pohybu ve virtuálním prostředí byl použit joystick původně určený pro handheld herní konzoli Nintendo Switch. Tento joystick používá FFC konektor s roztečí 0,5 mm. Volně prodejné redukce na tento konektor jsou vcelku objemné pro umístění přímo na prstu rukavice, proto bylo nutné vyrobit vlastní redukci na standardní vodiče.

Zapojení pinů:

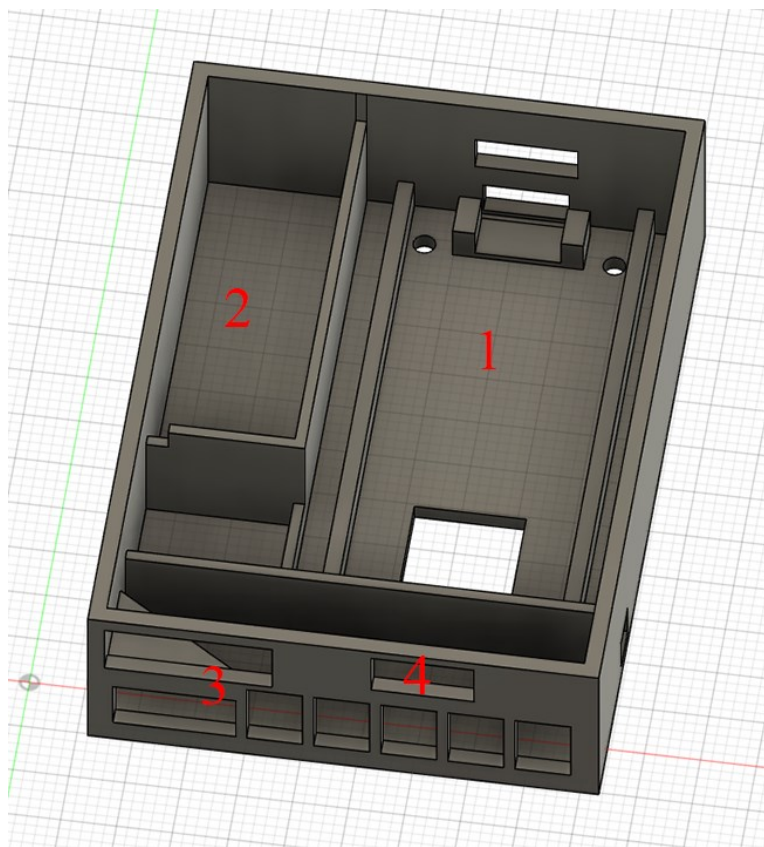
- GND a VCC – jsou zapojeny na příslušné GND a 3,3 V piny mikrokontroleru
- Tlačítko – je zapojeno na digitální pin GPIO 14
- Osy X a Y – jsou zapojeny na analogové vstupy GPIO 33 a GPIO 25

Pinout joysticku byl ověřen pomocí komunitního reverse engineeringu a následně otestován, jelikož oficiální dokumentace s těmito informacemi není běžně dostupná z důvodu, že se jedná o náhradní díl. Stejně jako u ostatních komponent bylo zajištěno modulární připojení pro případ výměny.

6.2 3D modely pro tisk

Pro tvorbu 3D modelů jsem použil modelovací program Autodesk Fusion. Finální rozměry jsou výsledkem mého měření s následnými změnami po testování jednotlivých výtisků.

6.2.1 Hlavní model

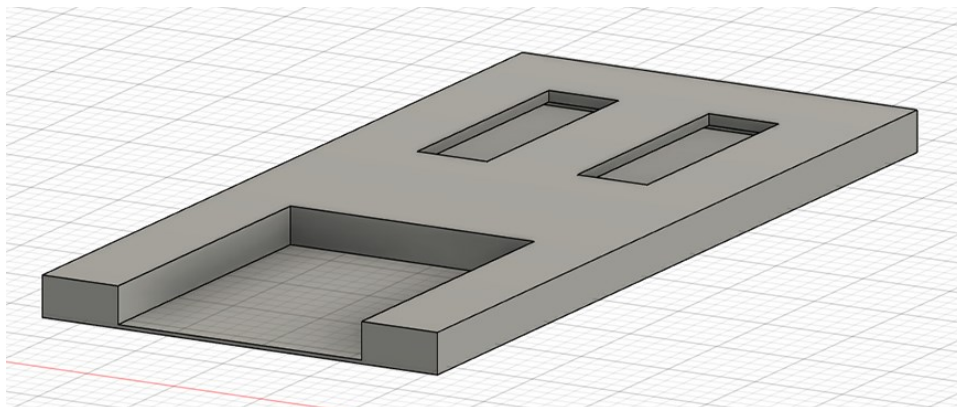


Obrázek 30 3D model hlavního modulu

(zdroj: vlastní)

Tato část rukavice obsahuje většinu komponent pro funkčnost rukavice, zde je popis jednotlivých částí očíslovaných v obr. 30:

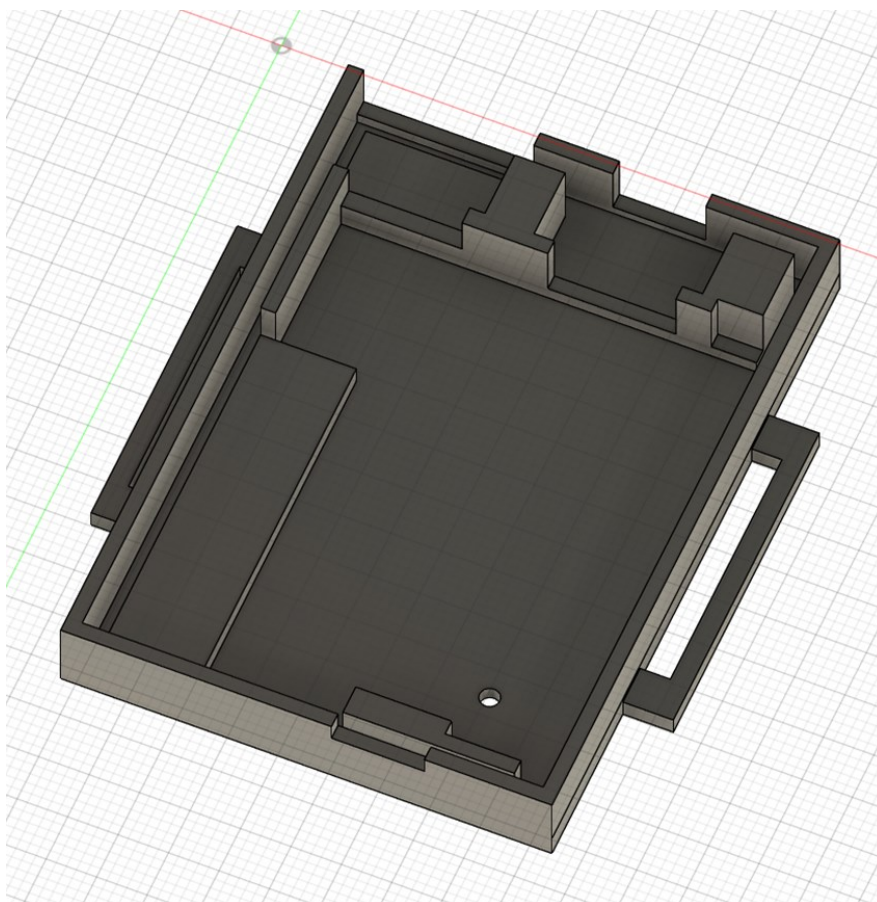
1. Prostor pro mikrokontroler – s otvorem pro konektor microUSB a otvory pro ovládací tlačítka mikrokontroleru
2. Prostor pro baterii
3. Prostor s otvory pro jednotlivé konektory senzorů
4. Otvor pro přepínací tlačítko pro zapnutí napájení



Obrázek 31 3D model pro napájecí modul

(zdroj: vlastní)

Kromě hlavní části jsem vymodeloval ještě jednu menší část, která se vkládá až po vložení mikrokontroleru. Tato část slouží k uložení nabíjecího modulu a izolace od jiných součástek. Uprostřed modelu jsem 3D tisk pozastavil a vložil vodící pásky pro jednodušší propojení všech GND a 3,3V připojení.

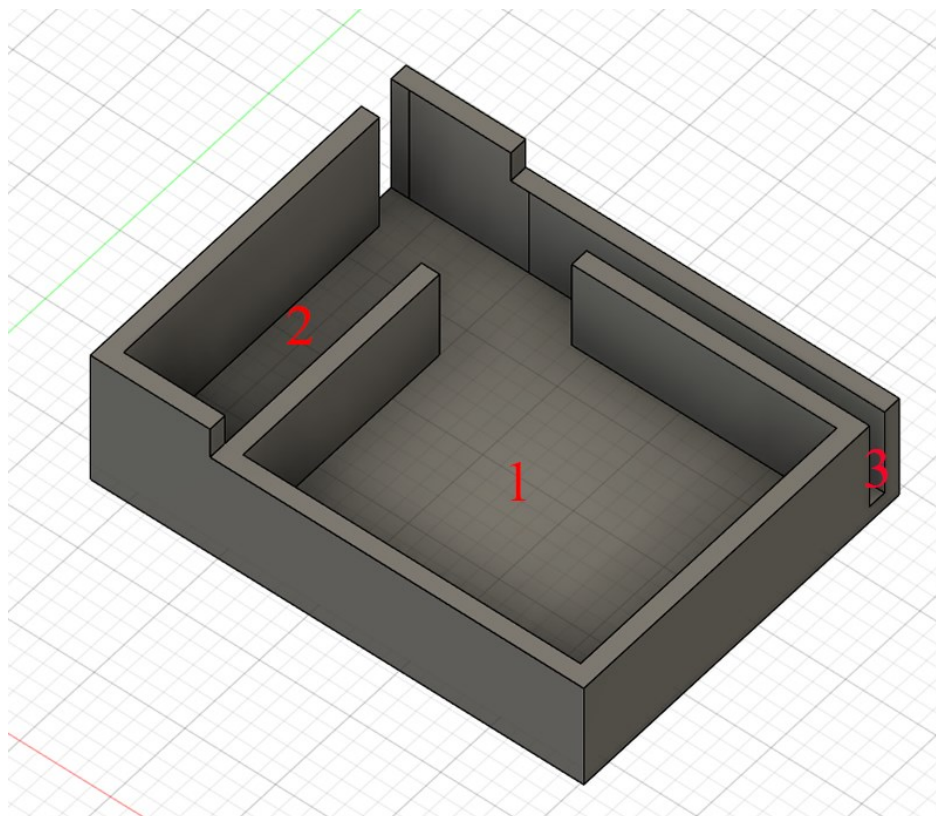


Obrázek 32 3D model víka pro hlavní modul

(zdroj: vlastní)

Nakonec je celý model zaklopený víkem, které má díru pro sledování nabíjecí stavové LED diody. Víko také přidržuje posuvné tlačítko napájení a disponuje úchyty po stranách pro pásek k připevnění modulu k ruce.

6.2.2 Uchycení joysticku



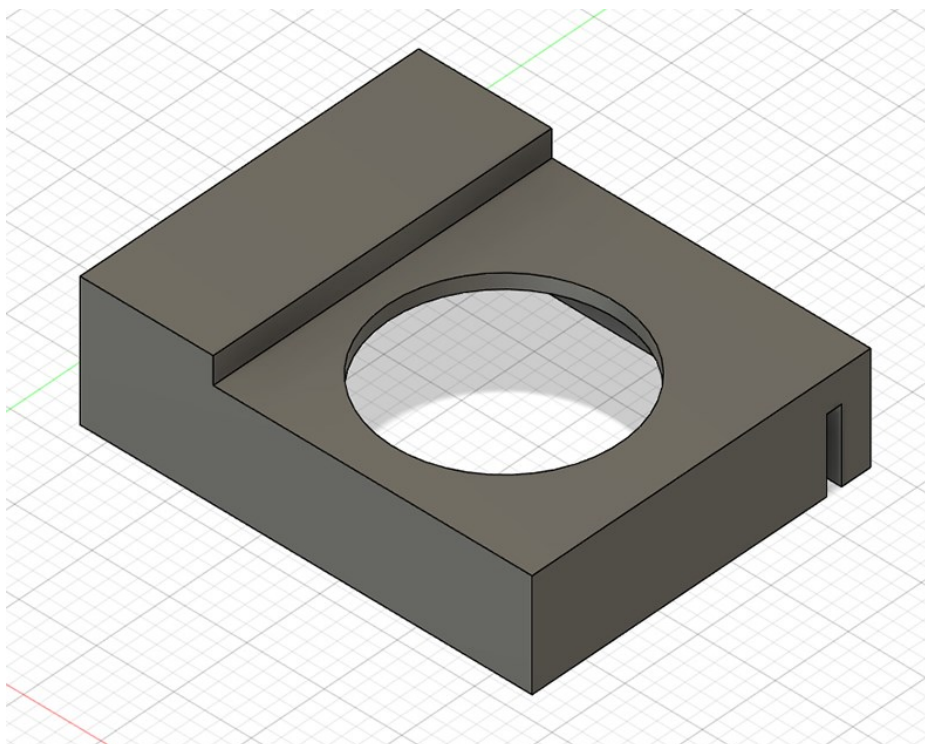
Obrázek 33 3D model držáku joysticku

(zdroj: vlastní)

Tato část slouží pro uchycení joysticku na boční stranu ukazováčku a skládá se z následujících částí:

1. Prostor pro joystick
2. Prostor pro redukci připojení joysticku na větší kabely
3. Prostor pro protažení kabelů od modulu s tlačítky

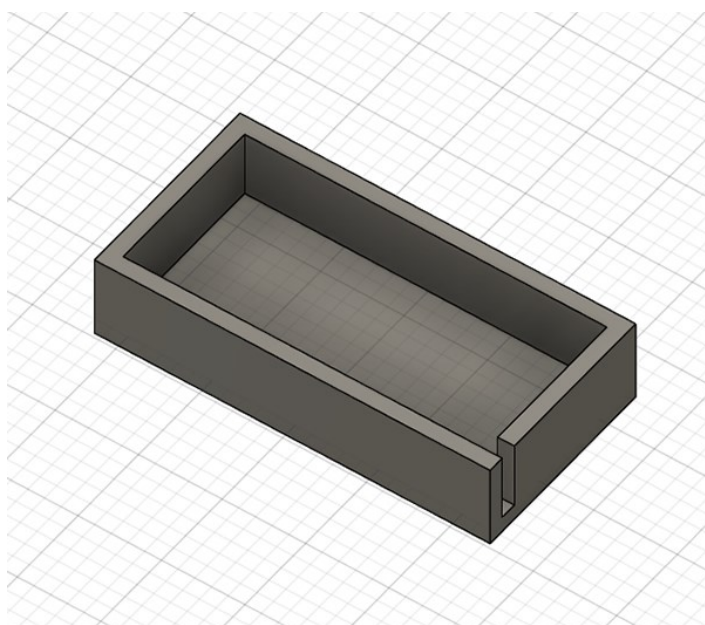
Kromě spodní části jsem vytvořil i víko pro zakrytí joysticku a kabelů (viz. Obrázek 34).



Obrázek 34 3D model víka joysticku

(zdroj: vlastní)

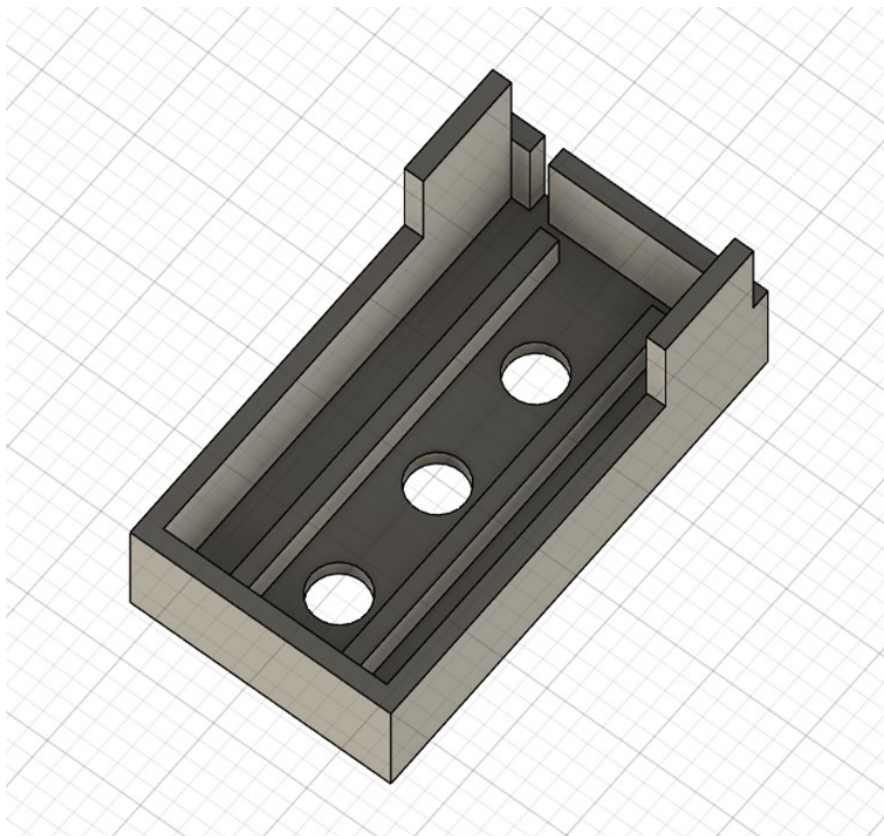
6.2.3 Uchycení tlačítek



Obrázek 35 3D model spodní části držáku tlačítek

(zdroj: vlastní)

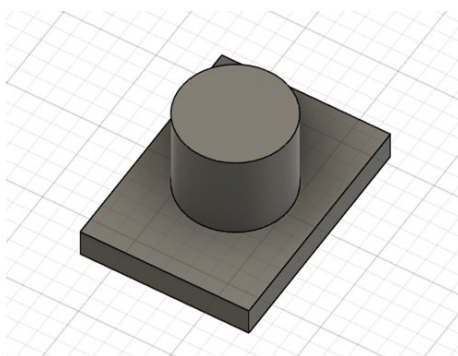
Tento modul disponuje prostorem pro umístění A, B a Menu tlačítek.



Obrázek 36 3D model horní části držáku tlačítek

(zdroj: vlastní)

Bylo vymodelováno a vytisknuto i víko, které slouží zároveň pro lepší uchycení na prstu.



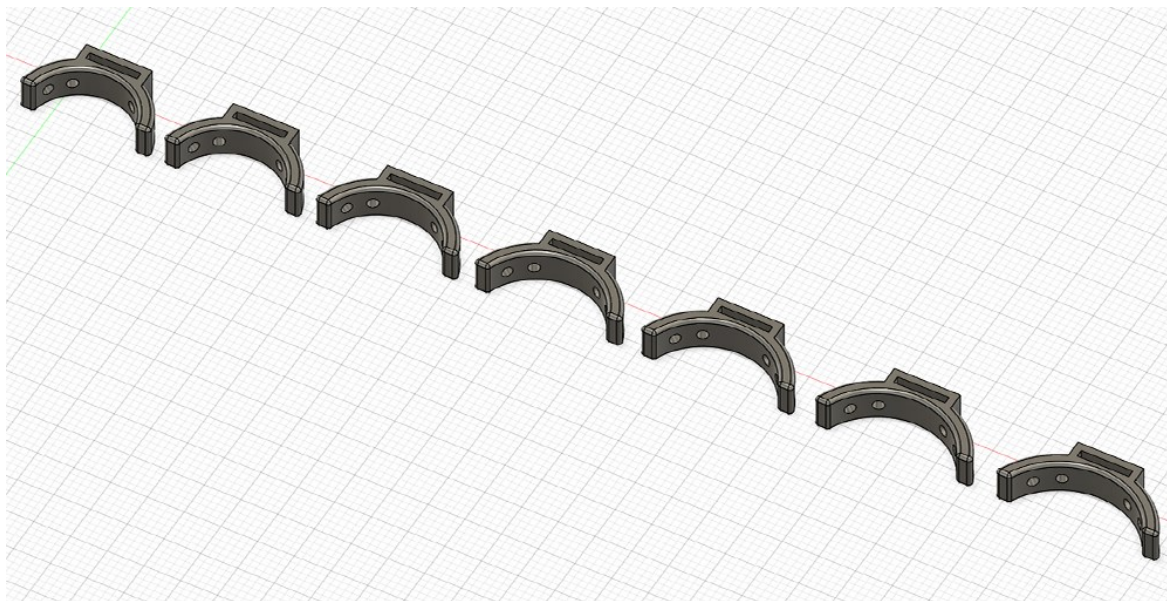
Obrázek 37 3D model výstupku pro tlačítka

(zdroj: vlastní)

Nakonec jsem vymodeloval, vytiskl a vložil malé plastové výstupky, které slouží pro jednodušší zmáčknutí tlačítek kvůli tloušťce víka.

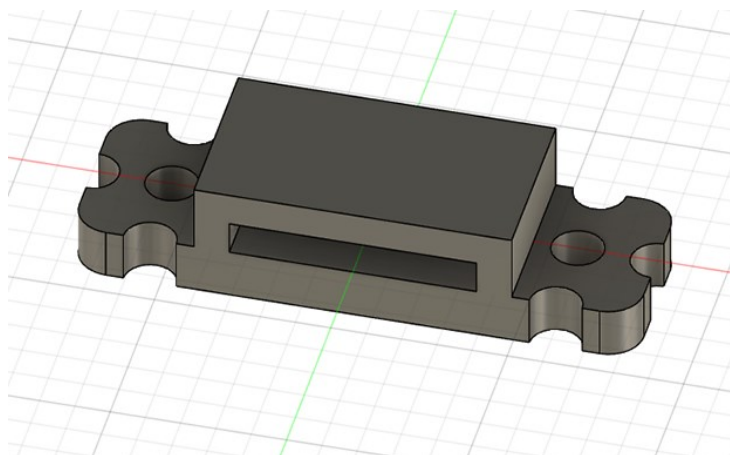
6.2.4 Uchycení senzorů

Pro uchycení senzorů jsem vymodeloval dva různé držáky. Jeden je rovný (viz. Obrázek 39), který slouží pro uchycení senzoru na hřbetu dlaně. Druhý typ držáku už je zaoblený (viz. Obrázek 38) s různými rozměry a slouží pro uchycení senzorů na jednotlivých prstech. Obě verze mají otvor pro protáhnutí senzoru a části pro přilepení nebo přišití držáku k rukavici.



Obrázek 38 3D modely zaoblených držáků senzoru

(zdroj: vlastní)

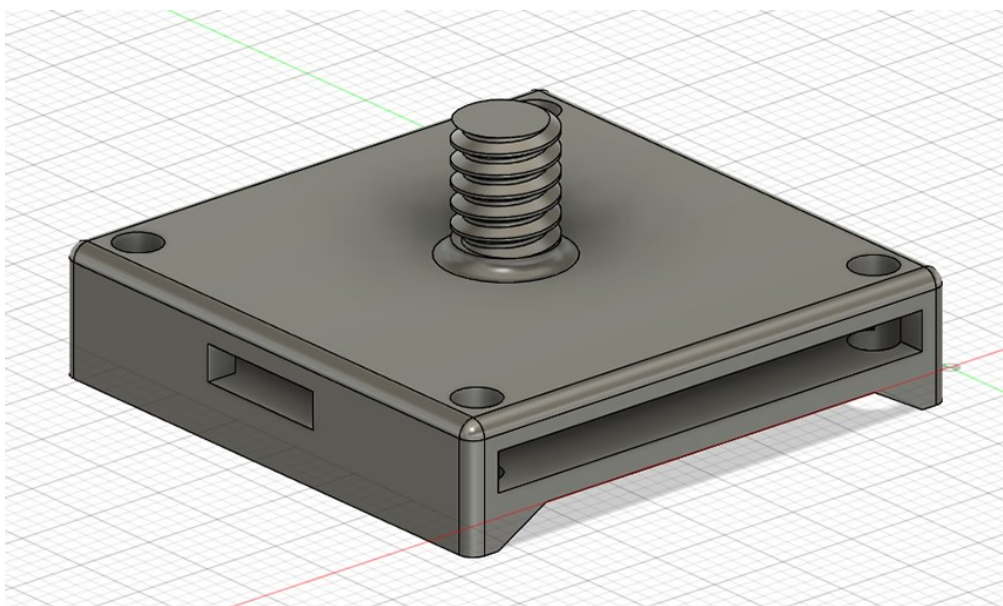


Obrázek 39 3D model rovného držáku senzoru

(zdroj: vlastní)

6.2.5 Uchycení Trackeru

Pro uchycení HTC Tracker 3.0 jsem opět vymodeloval vlastní držák. V jednotlivých rozích má otvory pro možnost přišití držáku k rukavici. Strany jsou zkosené z důvodu zaoblení ruky. Po stranách model disponuje otvory pro prostrčení jednotlivých kabelů, a nakonec v horní části má vymodelovaný čtvrt palcový závit pro našroubování samotného trackeru.



Obrázek 40 3D model držáku trackeru

(zdroj: vlastní)

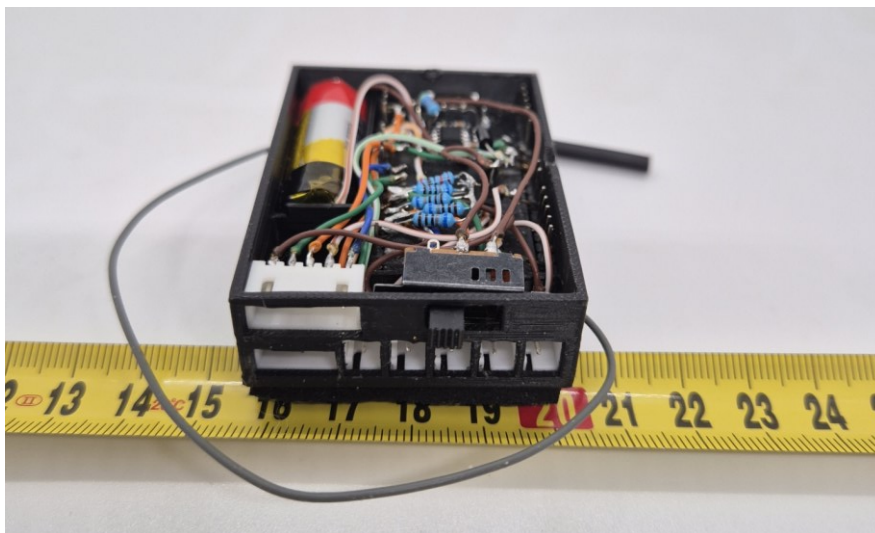
6.3 Sestavení prototypu

Sestavení celého prototypu probíhalo v několika krocích v následujícím pořadí:

- Osazení hlavní krabičky – Nejprve byla do 3D tištěného držáku osazena veškerá základní elektronika (mikrokontroler s anténou, nabíjecí modul, ochranné diody a posuvné tlačítko pro zapínání napájení). Součástí byly také konektory pro jednotlivé senzory a rezistory pro vytvoření napěťových děličů.
- Instalace držáku HTC Trackeru – Držák určený pro umístění HTC trackeru byl ručně přišit k textilní části rukavice na hřbetu ruky, aby zajistil pevnou pozici během pohybu.
- Přilepení držáků senzorů – Na každý prst byly přilepeny příslušné držáky pro flex senzory. Umístění bylo voleno tak, aby senzory správně kopírovaly ohyb prstů.

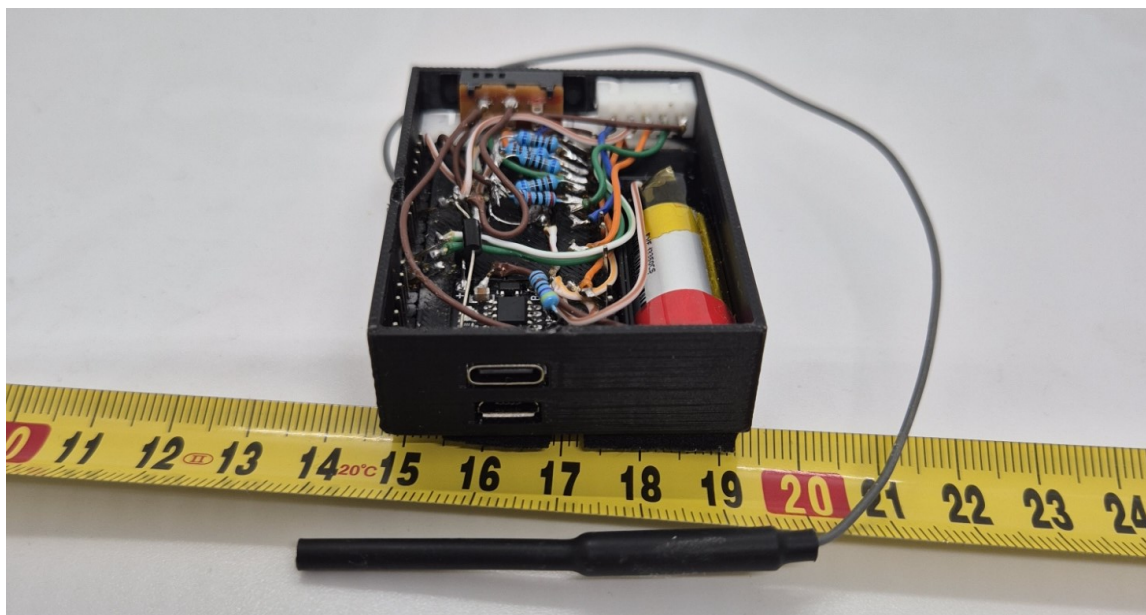
- Připojení senzorů – Ke každému senzoru byly přidány kabely s konektory a následně byli protaženy příslušnými držáky senzorů. Tyto kabely byly protaženy držákem trackeru a zapojeny do připravených konektorů v hlavní krabici.
- Osazení joysticku a tlačítek – Joystick s redukcí a tlačítka jsem též osadil kabely s konektory a vložil je do 3D tištěných držáků. Následně jsem držáky přilepil zboku na ukazováček rukavice, kabely protáhl a zapojil do hlavní krabičky.
- Zapojení baterie – Po kontrole zapojení a ověření, že nedochází ke zkratu (měřeno multimetrem), byla připojena baterie do nabíjecího modulu a umístěna do hlavní krabičky.
- Dokončení– Pro úplné dokončení prototypu jsem ještě přidal víčko hlavní krabičky osazené stahovacím páskem a zespodu hlavní krabičky jsem přilepil kousek látky pro větší pohodlí. Následně jsem ještě na konce senzorů přidal smršťovací bužírku, aby senzory při pohybu ruky nevyjížděli ze svých držáků.

Po provedení výše uvedených kroků vznikl finální fyzický prototyp rukavice, který je připraven k otestování funkčnosti. Výsledné provedení je možné vidět na následující fotografii.



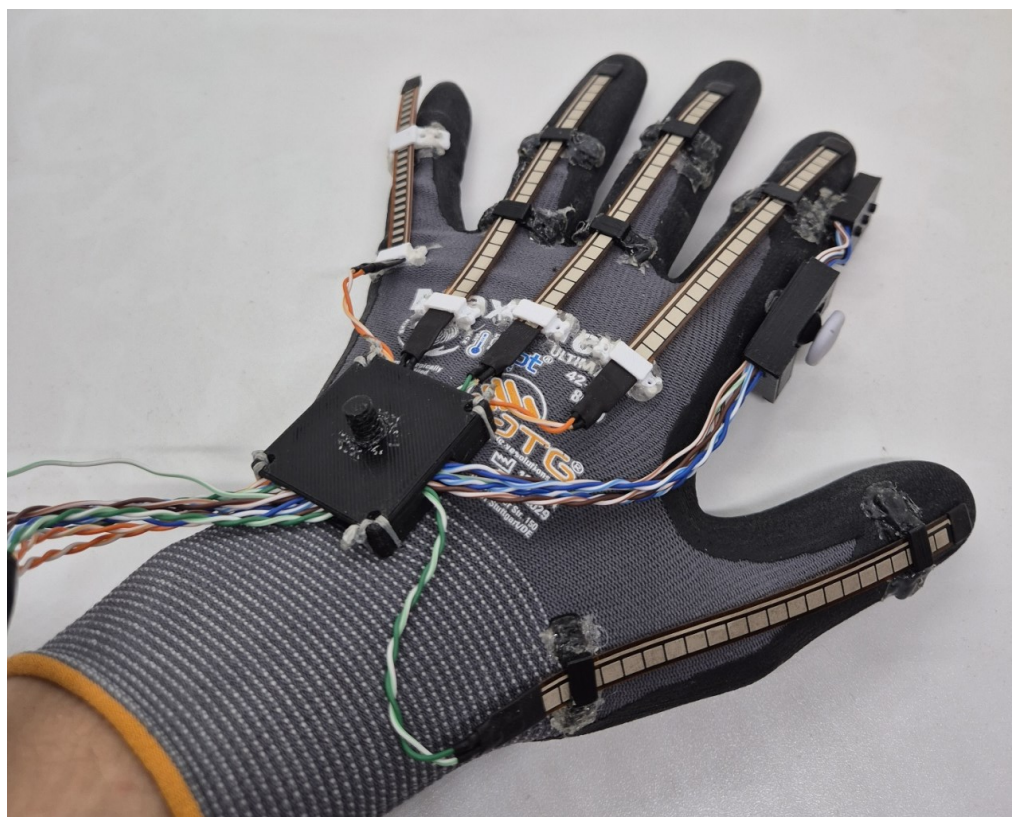
Obrázek 41 Finální zapojení v hlavním modulu 1

(zdroj: vlastní)



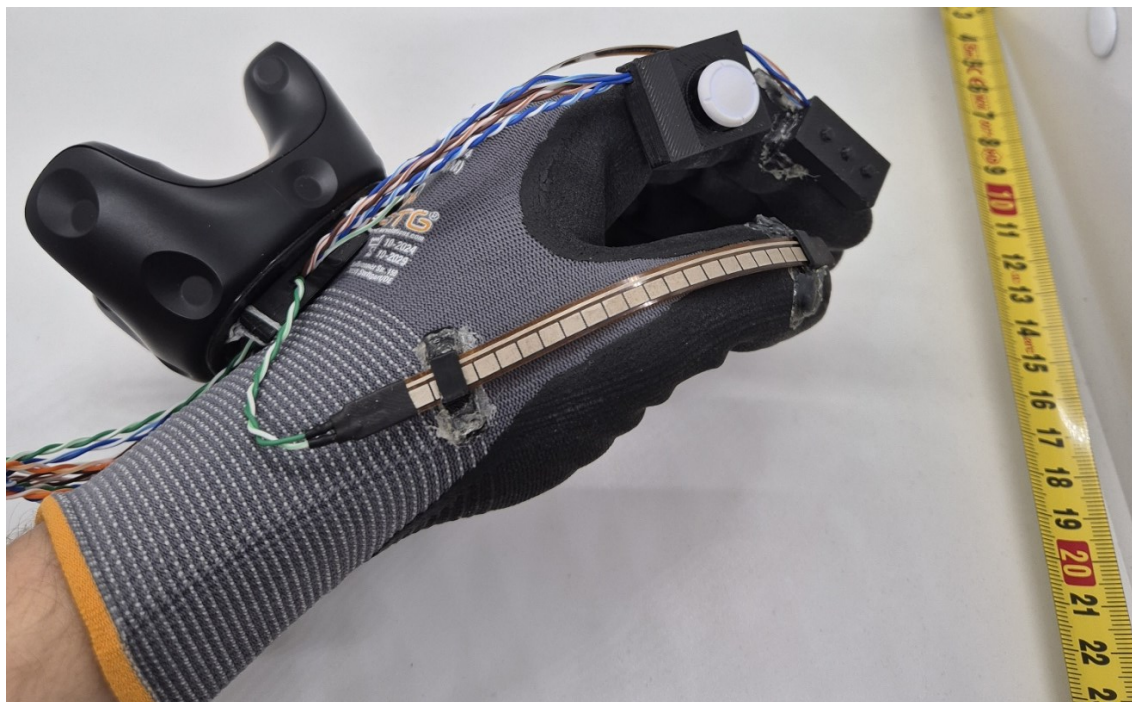
Obrázek 42 Finální zapojení v hlavním modulu 2

(zdroj: vlastní)



Obrázek 43 Finální prototyp rukavice 1

(zdroj: vlastní)



Obrázek 44 Finální prototyp rukavice 2

(zdroj: vlastní)



Obrázek 45 Finální prototyp rukavice 3

(zdroj: vlastní)

7 VÝVOJ SOFTWAREVÉHO ROZHRANÍ PRO RUKAVICI

Pro plnou funkčnost prototypu je potřeba vícero softwarových částí rozdělených dle účelu na sběr, úpravu a zobrazení dat.

7.1 Kód pro mikrokontroler

Firmware rukavice slouží pro sběr dat ze senzorů a odeslání těchto dat do počítače. Pro tvorbu byl použit programovací jazyk C++ v prostředí Arduino IDE. Komunikace s hlavní middleware aplikací probíhá bezdrátově pomocí Bluetooth SPP, a to prostřednictvím knihovny BTSerial.

V úvodní části kódu jsou definovány všechny použité piny mikrokontroleru – analogové pro flex senzory a joystick, digitální pro tlačítka. Po spuštění zařízení dojde k inicializaci Bluetooth, kde se čeká na zahájení spojení ze strany počítače.

Jakmile dojde k úspěšnému připojení s middleware aplikací, tak hlavní programová smyčka neustále provádí následující operace:

- Čte analogové hodnoty z joysticku a flex senzorů v rozsahu 0-4095 s následným průměrováním kvůli nepřesnosti čtení,
- Čte stavy digitálních tlačítek (0 nebo 1),
- Tyto hodnoty zformátuje do jednoho řetězce, kde jsou jednotlivé údaje odděleny čárkou,
- Výsledný řetězec se odešle přes Bluetooth do middleware aplikace.

Při prvotních testech se ukázalo, že čtení analogových hodnot může být značně kolísavé, což je způsobeno vnitřními tolerancemi čipu a rušením z okolních komponent. Proto bylo zavedeno částečné softwarové řešení, kdy každá hodnota z analogových senzorů se přečte 10krát s krátkou časovou mezerou, a teprve zprůměrovaný výsledek je použit jako finální údaj. Tímto způsobem se výrazně zlepšila stabilita výstupních dat bez výrazného vlivu na výkon.

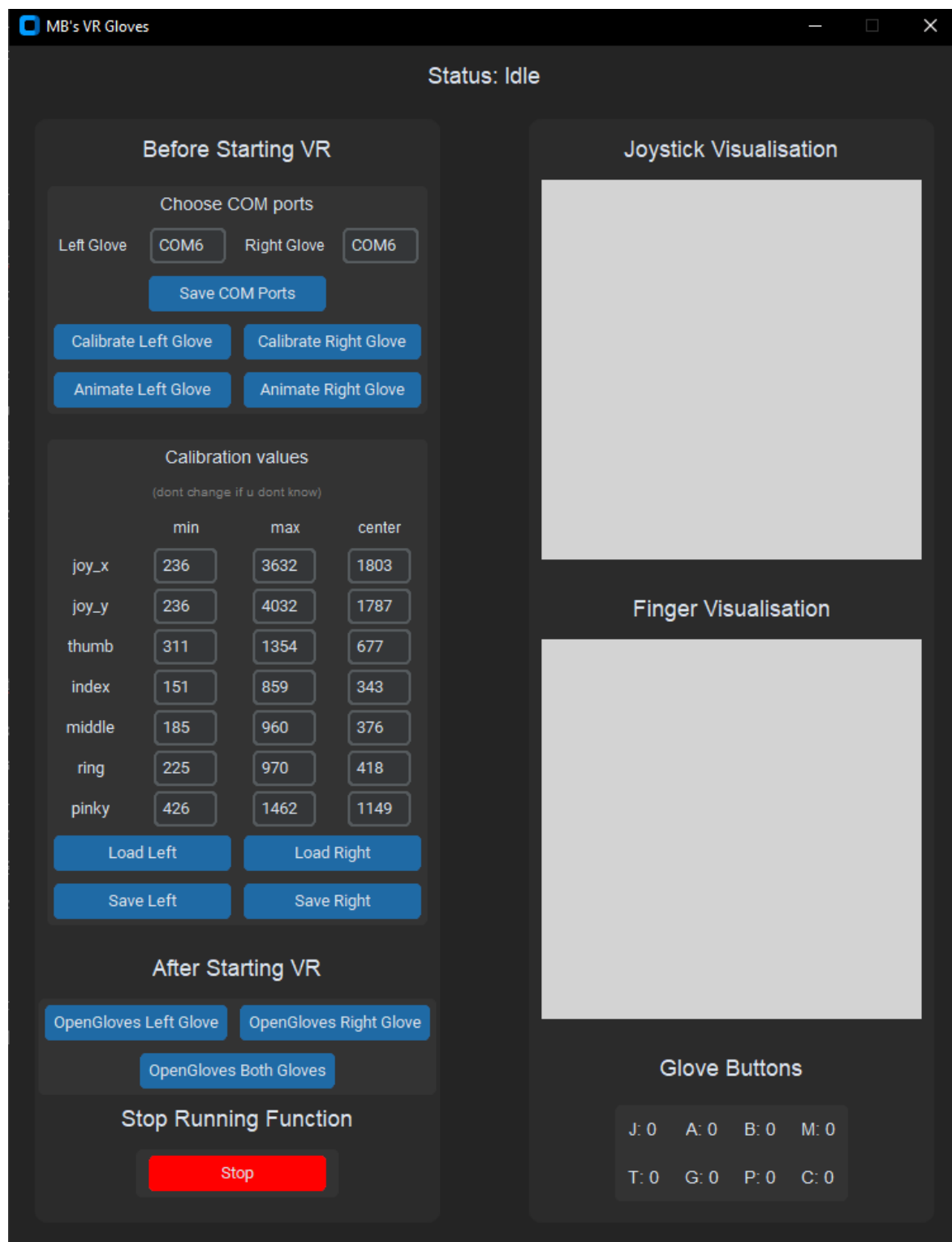
Příklad výstupu odesílaného přes Bluetooth (osy joysticku, analogové hodnoty senzorů, stavy tlačítek):

```
2048, 2048, 1250, 1360, 800, 760, 1230, 1560, 0, 0, 1, 0
```

7.2 Doprovodná middleware aplikace

Součástí navrženého systému je i doprovodná middleware aplikace, která zajišťuje komunikaci mezi hardwarem rukavice a cílovým VR prostředím prostřednictvím softwaru OpenGloves. Aplikace je naprogramována v jazyce python a jejím hlavním úkolem je přijímat nezpracovaná data od mikrokontroleru rukavice přes sériovou linku (s pomocí knihovny serial). Aplikace umí tato data vizuálně zobrazovat, umožnit jejich kalibraci a následně je převádět do formátu vhodného pro další zpracování. Takto zpracovaná a znormalizovaná data jsou odesílána do aplikace OpenGloves pomocí systému Windows Named Pipes.

Tato middleware aplikace obsahuje grafické rozhraní, jehož cílem je zpřístupnit funkce aplikace i uživatelům bez nutnosti interakce s příkazovou řádkou. V levé části se nachází ovládací panel, který je rozdělen do několika sekcí odpovídajících jednotlivým fázím práce se systémem – od volby komunikačních portů přes kalibraci až po odesílání dat do systému OpenGloves. Pravá část rozhraní je určena pro vizualizaci senzorových dat v reálném čase.



Obrázek 46 Snímek uživatelského rozhraní aplikace

(zdroj: vlastní)

7.2.1 Výběr COM portů

Prvním krokem před jakoukoliv prací s aplikací je výběr správných COM portů (Communication port), ke kterým jsou rukavice připojeny. Uživatel má možnost manuálně

zadat porty pro levou a pravou rukavici (například COM6, COM10) do příslušných textových polí. Po zadání údajů ve správném formátu je možné je uložit pomocí tlačítka „Save COM Ports“, čímž dojde k jejich zápisu do konfiguračního souboru. Aplikace tyto informace následně využívá pro navazování spojení při dalších operacích.

7.2.2 Kalibrace

Kalibrace slouží ke stanovení mezních hodnot jednotlivých senzorů, které se dále využívají při převodu dat do normalizovaného rozsahu. V rozhraní jsou k dispozici dvě samostatná tlačítka („Calibrate Left Glove“ a „Calibrate Right Glove“), které určují, ke které rukavici se má program připojit.

Po spuštění kalibrace dojde k navázání Bluetooth spojení s vybranou rukavicí. Nejprve se načtou aktuální hodnoty senzorů, které slouží jako výchozí (středové) hodnoty. Následuje měření v délce 30 sekund, během něhož uživatel provádí různé pohyby prstů a joysticku. V tomto období se zaznamenávají minimální a maximální hodnoty jednotlivých senzorů. Po ukončení kalibrace jsou získané hodnoty uloženy do konfiguračního souboru. V průběhu měření jsou zároveň zobrazována surová data z jednotlivých senzorů v pravé části aplikace.

7.2.3 Animace

Pro ověření správnosti kalibrace a kontrolu funkčnosti jednotlivých komponent rukavic lze využít funkci animace. Stejně jako u kalibrace jsou i zde dvě samostatná tlačítka („Animate Left Glove“ a „Animate Right Glove“).

Po spuštění funkce dojde k načtení kalibračních hodnot z konfiguračního souboru a navázání spojení s rukavicí. Následuje čtení dat z rukavice po dobu 60 sekund. Na základě kalibračních mezí jsou hodnoty převedeny do rozsahu 0 až 1 a zobrazeny v pravé části rozhraní. Kromě normalizovaných dat analogových senzorů a fyzických tlačítek jsou vizualizovány i logické stavy virtuálních tlačítek (např. „grip“, „trigger“ nebo jiná gesta). Tyto stavy jsou generovány dle stavů ohnutí jednotlivých senzorů (prstů).

7.2.4 Ruční úprava kalibračních hodnot

V případě potřeby manuálních zásahů do kalibračních dat umožňuje aplikace ruční úpravu jednotlivých mezních hodnot. Tyto hodnoty lze editovat v přehledné tabulce, kde jsou pro každý senzor uvedeny minimální, maximální a středové hodnoty. Pomocí tlačítek („Load“

nebo „Save“) pro jednotlivé rukavice je možné dané hodnoty načítat z nebo ukládat do konfiguračního souboru.

7.2.5 Přenos dat do OpenGloves

Další funkcionalitou middleware aplikace je přenos normalizovaných dat do systému OpenGloves. Uživatel si může zvolit, zda přenášet data z jedné nebo obou rukavic současně, pomocí tlačítek s nápisem „OpenGloves“.

Po spuštění dojde k načtení kalibračních dat, navázání spojení s rukavicemi a spuštění hlavní smyčky. Data jsou uvnitř smyčky načtena a následně převedena do normalizovaného formátu. Znormalizovaná data jsou odesílána do OpenGloves systému pomocí Windows Named Pipes. Na rozdíl od předchozích funkcí se zde sensorová data nezobrazují v rozhraní (výstup je směřován výhradně na VR systém).

7.2.6 Ukončení běžící funkce

Pro ukončení kterékoliv výše uvedené funkce (kalibrace, animace, přenos dat) slouží tlačítko „Stop“. Po jeho stisknutí dojde k přerušení aktuálního běhu a uvolnění všech využívaných prostředků. Toto tlačítko je důležité pro ukončení jinak nekonečné smyčky odesílání dat do OpenGloves nebo mylnému stisknutí tlačítek pro spuštění kalibrační či animační funkce.

7.2.7 Stavový řádek

Nad hlavními panely se nachází textový prvek zobrazující aktuální stav aplikace. Tento stavový řádek poskytuje zpětnou vazbu o úspěchu či chybách jednotlivých operací. Umožňuje tedy uživateli snadněji se orientovat během práce s aplikací.

7.3 Integrace do SteamVR

Po vytvoření fyzického prototypu a návrhu vlastního softwarového řešení následovala integrace výsledných dat do prostředí SteamVR. K tomuto účelu byl využit projekt OpenGloves, který umožňuje snadné propojení vlastních VR rukavic se SteamVR.

Pro přenos dat mezi middleware aplikací a Opengloves využívám tzv. Windows Named Pipe, do které moje doprovodná aplikace v reálném čase zapisuje binární data ve formátu očekávaném OpenGloves driverem. Pipe se otevře pouze v případě, že je zapnutý SteamVR a zároveň je aktivní aplikace OpenGloves.

Samotná OpenGloves aplikace následně načítá tato data a vytváří virtuální ruku v prostředí SteamVR. Kromě dat z rukavice využívá také polohu z mého externího trackeru (HTC Vive Tracker 3.0), čímž zajišťuje správnou pozici celé ruky v prostoru.

Zde je ukázka očekávané struktury vstupu aplikace OpenGloves pomocí Named Pipe:

```
// "\\.\pipe\vrapplication\input\glove\v1\<left/right>"
struct InputData {
    const std::array<std::array<float, 4>, 5> flexion;
    const std::array<float, 5> splay;
    const float joyX;
    const float joyY;
    const bool joyButton;
    const bool trgButton;
    const bool aButton;
    const bool bButton;
    const bool grab;
    const bool pinch;
    const bool menu;
    const bool calibrate;
};

// "\\.\pipe\vrapplication\input\glove\v2\<left/right>"
struct InputData {
    const std::array<std::array<float, 4>, 5> flexion;
    const std::array<float, 5> splay;
    const float joyX;
    const float joyY;
    const bool joyButton;
    const bool trgButton;
    const bool aButton;
    const bool bButton;
    const bool grab;
    const bool pinch;
    const bool menu;
    const bool calibrate;

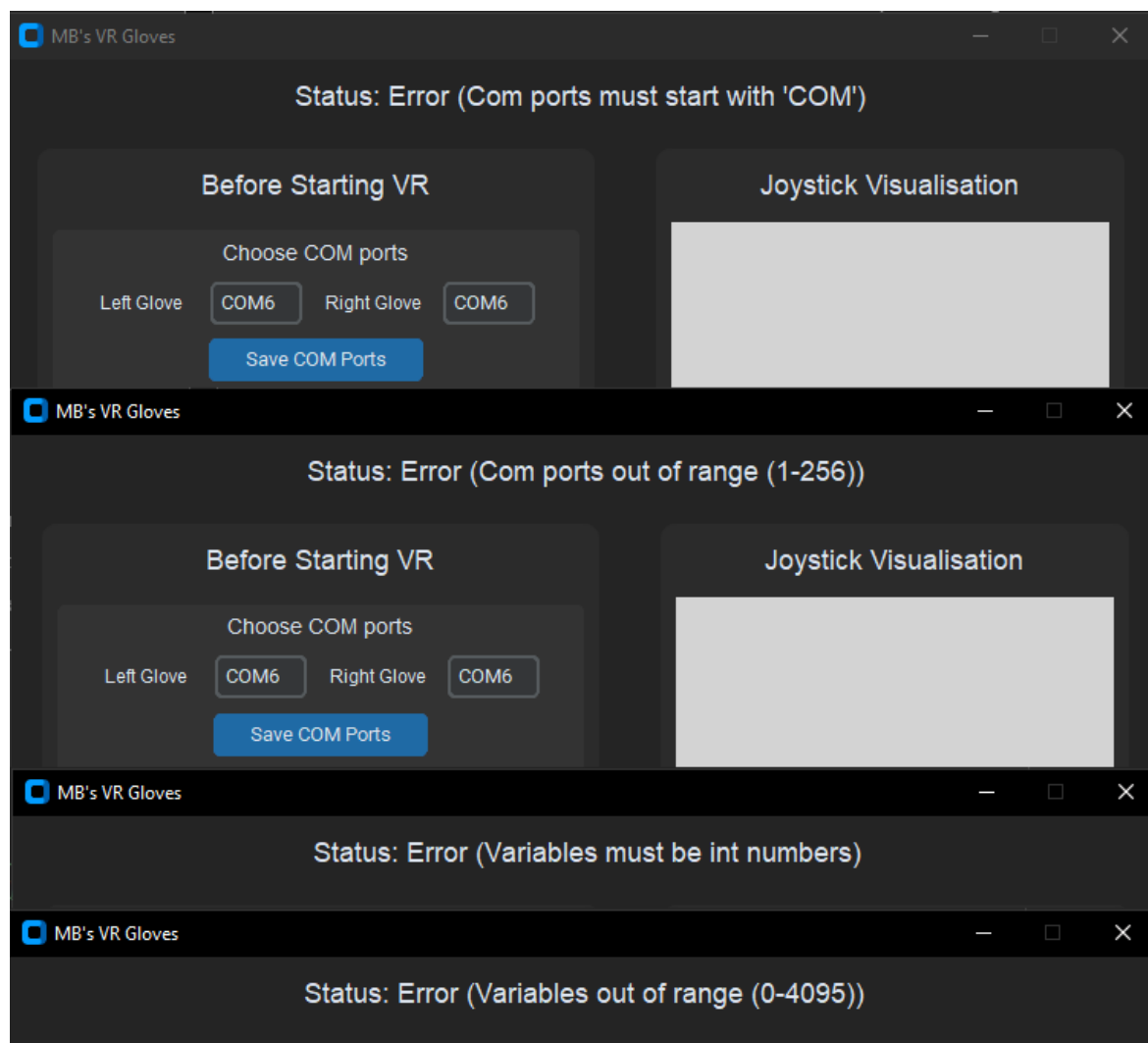
    const float trgValue;
};
```

8 TESTOVÁNÍ HOTOVÉHO PROTOTYPU

Po sestavení funkčního prototypu a vytvoření softwarového řešení bylo provedeno několik testů ověřujících funkčnost celého systému v reálných podmínkách. Testování probíhalo ve třech hlavních oblastech – ověření funkce softwarového rozhraní, testování přesnosti senzorických vstupů a rychlosti odezvy, a nakonec praktická demonstrace využití rukavice v prostředí virtuální reality.

8.1 Softwarové rozhraní

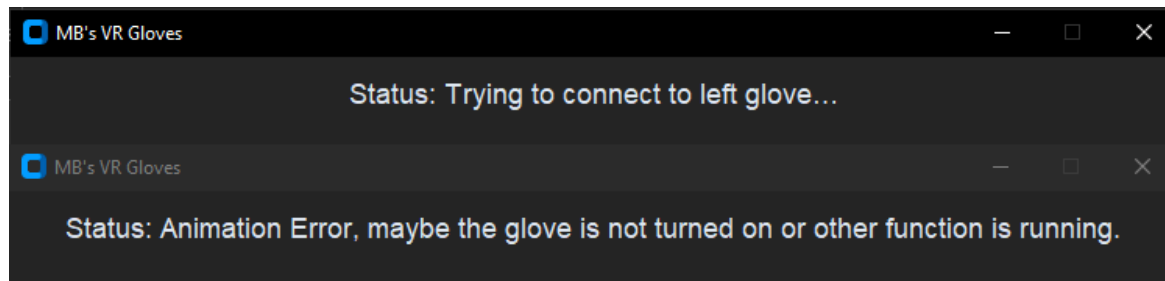
Při testování zadání hodnot v nesprávném tvaru pro kalibrační údaje nebo nastavení COM portů se zobrazí chybová hláška. Tato hláška se mění dle důvodu vzniku, jako například na následující fotografii:



Obrázek 47 Příklad chyb při zadání dat v nesprávném formátu

(zdroj: vlastní)

Dále bylo ověřeno chování aplikace v situaci, kdy není rukavice zapnuta, nebo je obsazena jiným procesem. V takovém případě se po několika pokusech o navázání spojení vypíše případná hláška.



Obrázek 48 Příklad chyby při neúspěšném připojení k rukavici

(zdroj: vlastní)

Při správném nastavení COM portu a zapnuté rukavici dojde při spuštění kalibrační nebo animační funkce k úspěšnému načítání dat, která se zobrazují v reálném čase ve vizualizační části aplikace. Příklad správného průběhu vizualizace je zobrazen na následujícím obrázku:



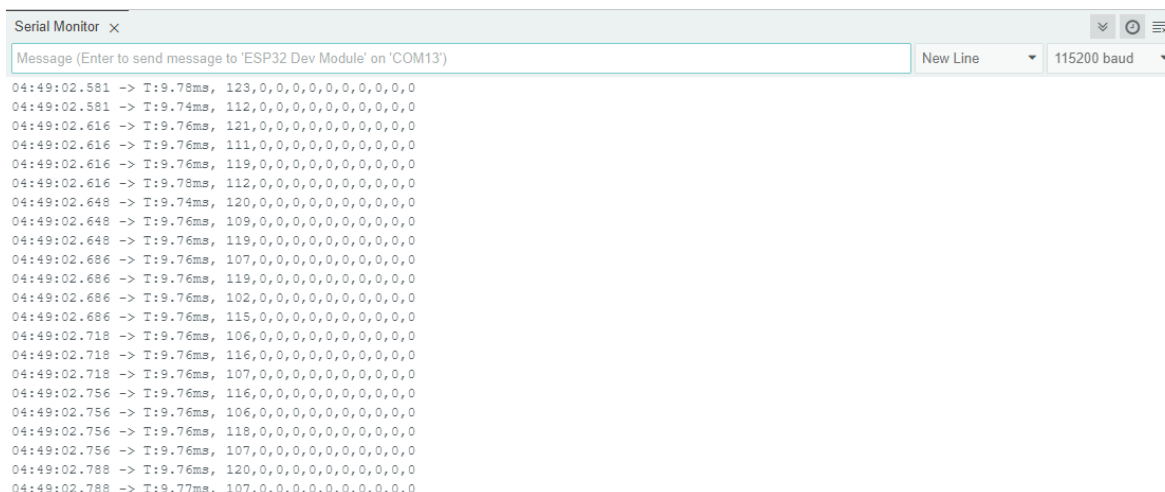
Obrázek 49 Ukázka zobrazení hodnot ze senzorů (vlevo kalibrace, vpravo animace)

(zdroj: vlastní)

8.2 Přesnost senzorů a odezva zařízení

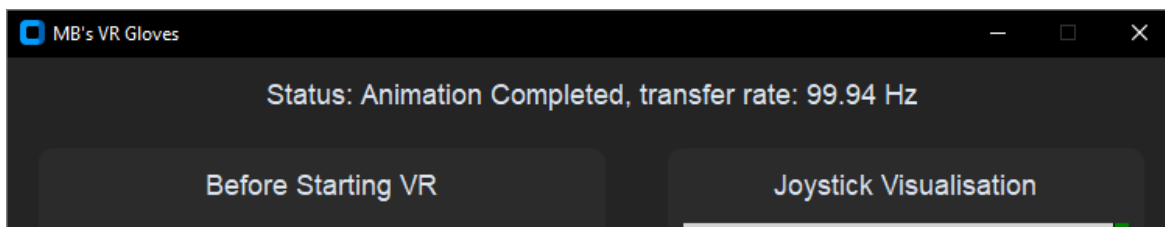
Přesnost měření analogových hodnot ze senzorů není bohužel zcela ideální. I při absolutním klidu, kdy je rukavice položena nehybně na pevné ploše, dochází k drobným výkyvům v naměřených hodnotách. I přes pokusy částečného softwarového řešení to není zcela dokonalé.

Při ověřování odezvy zařízení byla naměřena frekvence přenosu dat přibližně 100 Hz, což je pro běžné VR aplikace zcela dostačující. Tato hodnota byla ověřena jak prostřednictvím výpisu do sériového monitoru v prostřední aplikaci Arduino IDE, tak i záznamem času mezi jednotlivými přijatými zprávami v doprovodné desktopové aplikaci.



Obrázek 50 Výpis doby trvání jednotlivých iterací v sériovém monitoru

(zdroj: vlastní)



Obrázek 51 Výsledná frekvence animační funkce middleware aplikace

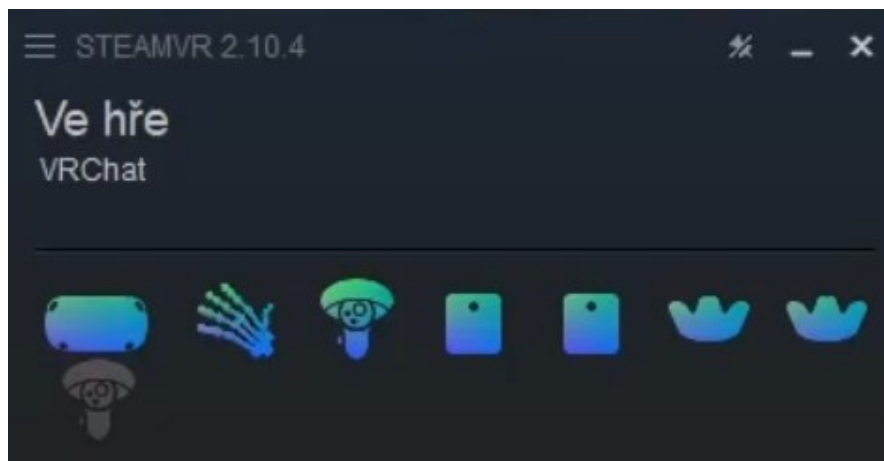
(zdroj: vlastní)

8.3 Praktická ukázka ve virtuálním prostředí

V této části jsou uvedeny snímky pořízené během testování rukavice ve VR prostředí. V aplikaci SteamVR je zařízení rozpoznáno jako rukavice a je možné vizuálně sledovat pohyby jednotlivých prstů v reálném čase. Na přiložených snímcích jsou zachyceny různé pozice prstů, které odpovídají skutečnému pohybu ruky uživatele. Pro lepší porovnání funkčnosti jsou zde nejenom snímky z VR prostředí, ale také fotografie reálné ruky zachycené webkamerou ve stejném okamžiku. Tímto způsobem je možné snadno vyhodnotit přesnost a věrnost převodu pohybu do virtuálního prostředí.

8.3.1 Připojení ke SteamVR

Na následujícím snímku lze vidět seznam jednotlivých zařízení aktuálně připojených ke SteamVR. Z tohoto obrázku lze lehce odvodit, že je rukavice úspěšně připojena do VR systému a je aktivní (nachází se totiž v seznamu, a také svítí barevně oproti vypnutému pravému ovladači, který má pouze šedou barvu).

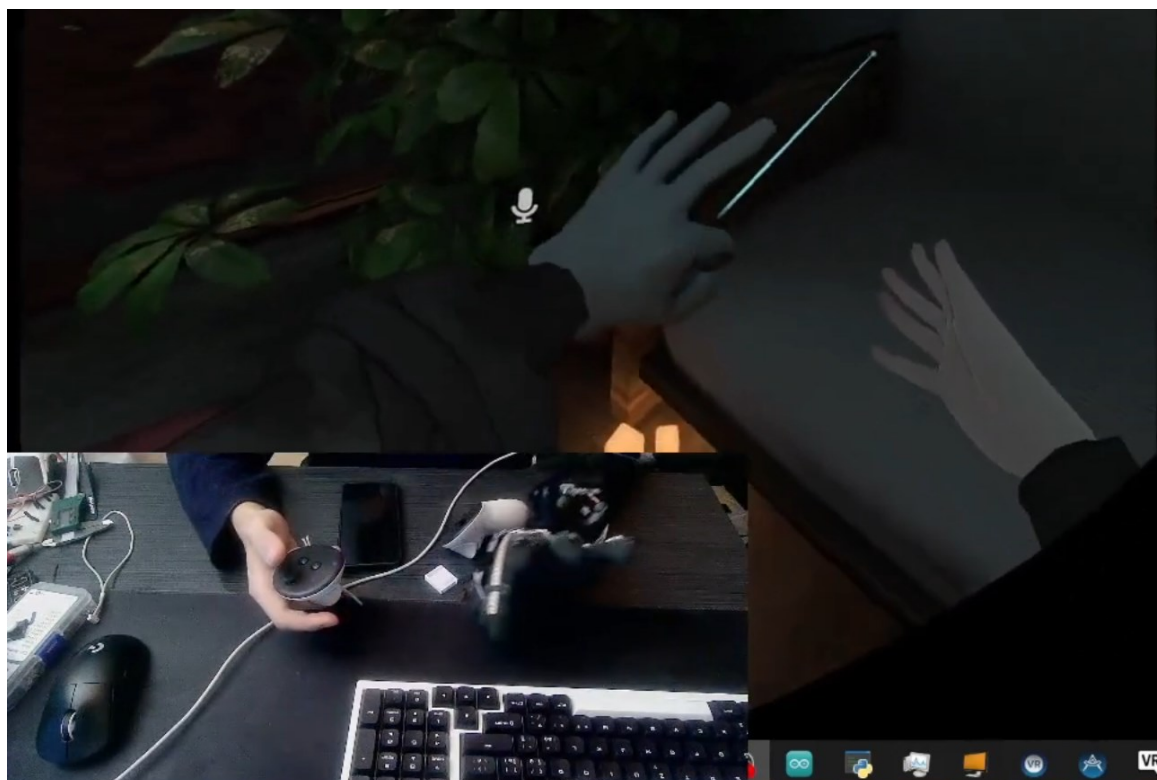


Obrázek 52 Seznam zařízení připojených ke SteamVR

(zdroj: vlastní)

8.3.2 Ohnutí prstů

Na následujícím snímku lze vidět ohnutí různých prstů, přesněji palce a ukazováčku. Ohnutí těchto prstů lze vidět jak na webkamerě vlevo dole, tak i v náhledu VR aplikace.



Obrázek 53 Ukázka ohnutí prstů (palec a ukazováček)

(zdroj: vlastní)

8.3.3 Emulace tlačítek

Na následujícím snímku lze vidět ohnutí prsteníčku a prostředníčku jak na webkameře, tak i v náhledu VR aplikace. Tyto dva prsty slouží také k emulaci tlačítka „grap“ (funkce pro uchycení objektů). Dle textu „Release to Drop“ nacházejícího se nad objektem (plyšovým medvídkem) lze usoudit funkčnost emulace tohoto tlačítka.

Dále lze z následujícího i předchozího snímku usoudit funkční polohu ruky v prostoru. Toto lze usoudit podle změny nahnutí ruky, popřípadě porovnáním umístění pravé a levé ruky ve VR prostředí oproti umístění ovladače a rukavice viditelné na webkameře.



Obrázek 54 Ukázka emulace tlačítka grap

ZÁVĚR

V závěru lze konstatovat, že sestavení funkčního prototypu VR rukavice, která je kompatibilní se systémem SteamVR bylo úspěšně dokončeno. Prototyp také prokázal základní funkčnost ve virtuálním prostředí. Výsledek práce je tedy uspokojivý, jelikož zařízení dokáže zachytit pohyb ruky a jednotlivých prstů. Také dále umožňuje interakci v rámci zvolených aplikací.

S ohledem na značnou časovou náročnost vývoje a ladění vlastního řešení lze uživatelům virtuální reality, kteří hledají spolehlivý a technický vyspělý nástroj, doporučit spíše pořízení některého z komerčně dostupných produktů. Tyto komerční rukavice obvykle nabízejí vyšší přesnost snímání, širší škálu funkcí a vyšší míru komfortu, což jejich používání činí výrazně jednodušším a efektivnějším.

V rámci dalšího vývoje lze identifikovat řádu konkrétních prvků, které by bylo vhodné optimalizovat či doplnit. Mezi možné oblasti budoucího zlepšení či rozšíření funkcí patří zejména následující:

- Zvýšení přesnosti dat ze senzorů – aby byl pohyb a ohyb prstů zachycen co nejvěrněji.
- Zmenšení velikosti a hmotnosti rukavice – pro lepší komfort při delším používání.
- Integrace haptické zpětné vazby (haptic feedback) – což by zvýšilo realističnost dotykových interakcí.
- Přidání funkce sledování otočení prstů (tzv. splay) – pro komplexnější zachycení pohybu prstů.
- Zvýšení výdrže baterie – pro delší používání během herních či pracovních relací.
- Optimalizace softwaru pro lepší stabilitu a odezvu – aby byl uživatelský zážitek co nejplynulejší.

Projekt tak slouží nejen jako funkční prototyp, ale i jako základ pro další rozvoj, který může přinést významné zlepšení v oblasti interakce uživatele s virtuálním světem.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] GREENGARD, Samuel. *Virtual reality*. London: The MIT Press, 2019. ISBN 978-0-262-53752-0.
- [2] NIANTIC, INC. *Catching Pokémon in AR mode*. Online. Dostupné z: <https://niantic.helpshift.com/hc/en/6-pokemon-go/faq/28-catching-pokemon-in-ar-mode-1712012768/>. [cit. 2025-05-22].
- [3] IKEA. *IKEA Place app launched to help people virtually place furniture at home*. Online. 2017. Dostupné z: <https://www.ikea.com/global/en/newsroom/innovation/ikea-launches-ikea-place-a-new-app-that-allows-people-to-virtually-place-furniture-in-their-home-170912/>. [cit. 2025-05-22].
- [4] MICROSOFT. *What is mixed reality?* Online. 2023. Dostupné z: <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/discover/mixed-reality>. [cit. 2025-05-22].
- [5] BARNARD, Dom. *History of VR - Timeline of Events and Tech Development*. Online. 2024. Dostupné z: <https://virtualspeech.com/blog/history-of-vr>. [cit. 2025-05-22].
- [6] OTECHNICE.CZ. *Virtuální realita: Historie prvních kroků*. Online. 2021. Dostupné z: <https://otechnice.cz/virtualni-realita-historie-prvnich-kroku/>. [cit. 2025-05-22].
- [7] ALZA.CZ A. S. *Jak vybrat brýle pro virtuální realitu*. Online. Dostupné z: <https://www.alza.cz/jak-vybrat-bryle-pro-virtualni-realitu>. [cit. 2025-05-22].
- [8] ALZA.CZ A. S. *Brýle pro virtuální realitu k mobilu*. Online. Dostupné z: <https://www.alza.cz/gaming/bryle-pro-virtualni-realitu-k-mobilnimu-telefonu/18859990.htm?setlang=cs-CZ>. [cit. 2025-05-22].
- [9] SAMSUNG. *Gear VR*. Online. Dostupné z: <https://www.samsung.com/cz/support/model/SM-R325NZVDXEZ/>. [cit. 2025-05-22].
- [10] GOOGLE LLC. *It's your turn to make it*. Online. 2024-08-06. Dostupné z: <https://developers.google.com/cardboard/manufacturers>. [cit. 2025-05-22].

- [11] VALVE CORPORATION. *Virtual Reality Hardware*. Online. Dostupné z: <https://store.steampowered.com/vrhardware/>. [cit. 2025-05-22].
- [12] META. *This is Meta Quest*. Online. Dostupné z: <https://www.meta.com/quest/>. [cit. 2025-05-22].
- [13] HTC CORPORATION. *Discover the best VR headsets and glasses from VIVE*. Online. Dostupné z: <https://www.vive.com/us/product/>. [cit. 2025-05-22].
- [14] PIMAX STORE. *Pimax Store*. Online. Dostupné z: <https://pimax.com/pages/store>. [cit. 2025-05-22].
- [15] HP DEVELOPMENT COMPANY L.P. *HP Omnicept VR Software & HP Reverb G2 Omnicept Edition VR headset*. Online. Dostupné z: <https://www.hp.com/au-en/shop/reverb-g2-vr-headset-omnicept-edition>. [cit. 2025-05-22].
- [16] BIGSCREEN, INC. *Bigscreen*. Online. Dostupné z: <https://www.bigscreenvr.com/>. [cit. 2025-05-22].
- [17] SONY INTERACTIVE ENTERTAINMENT EUROPE LIMITED. *PlayStation VR2*. Online. Dostupné z: https://www.playstation.com/cs-cz/ps-vr2/?emcid=pa-co-521404&gad_source=1&gad_campaignid=19740884040&gbraid=0AAAAADtLsqymIVV0tRJl5aM-J8CjFBwNV&gclid=Cj0KCQjwlrBBhDnARIsAHEQgORwo5WbmC-m3a8Fqz02kEAKeAQdndiptZLu4C2_iuxKQquvuvo-1caAnwbEALw_wcB&gclsrc=aw.ds. [cit. 2025-05-22].
- [18] ALZA.CZ A. S. *HTC Vive Pro 2 Full kit*. Online. Dostupné z: <https://www.alza.cz/gaming/htc-vive-pro-2-full-kit-d6678124.htm>. [cit. 2025-05-22].
- [19] PICO IMMERSIVE PTE.LTD. *PICO Virtual Reality*. Online. Dostupné z: <https://www.picoxr.com/global>. [cit. 2025-05-22].
- [20] ALZA.CZ A. S. *Meta Quest 3 (512 GB)*. Online. Dostupné z: <https://www.alza.cz/gaming/meta-quest-3-512-gb-d7962774.htm?o=1>. [cit. 2025-05-22].

- [21] GOSSETT, Stephen. *Virtual Reality in Education: Benefits, Uses and Examples*. Online. 2023. Dostupné z: <https://builtin.com/articles/virtual-reality-in-education>. [cit. 2025-05-22].
- [22] VALVE CORPORATION. *Rumii*. Online. Dostupné z: <https://store.steampowered.com/app/872440/rumii/?l=czech>. [cit. 2025-05-22].
- [23] HTC CORPORATION. *VR in the Military*. Online. Dostupné z: <https://business.vive.com/us/stories/vr-in-the-military/>. [cit. 2025-05-22].
- [24] HTC CORPORATION. *VR military use*. Online. Dostupné z: <https://business.vive.com/us/stories/use-of-vr-in-military/>. [cit. 2025-05-22].
- [25] SZOLDRA, Paul. *The Air Force Used VR To Train Pilots In Half The Time At A Fraction Of The Cost*. Online. 2018. Dostupné z: <https://taskandpurpose.com/news/air-force-vr-pilot-training/>. [cit. 2025-05-22].
- [26] HTC CORPORATION. *The 14 Biggest Benefits of VR in Healthcare*. Online. Dostupné z: <https://business.vive.com/us/stories/benefits-of-vr-in-healthcare/>. [cit. 2025-05-22].
- [27] VALVE CORPORATION. *Steam Hardware & Software Survey: April 2025*. Online. Dostupné z: <https://store.steampowered.com/hwsurvey>. [cit. 2025-05-22].
- [28] VALVE CORPORATION. *Steam Hardware & Software Survey: November 2019*. Online. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20191230213708/https://store.steampowered.com/hwsurvey/>. [cit. 2025-05-22].
- [29] *Steam Charts*. Online. 2025-08-03. Dostupné z: <https://steamdb.info/app/753/charts/#6y>. [cit. 2025-05-22].
- [30] VALVE CORPORATION. *Virtual Reality Titles*. Online. Dostupné z: <https://store.steampowered.com/vr>. [cit. 2025-05-22].
- [31] META. *VR hry a aplikace pro Meta Quest*. Online. Dostupné z: <https://www.meta.com/cs-cz/experiences/view/1321443348416166/>. [cit. 2025-05-22].

- [32] *Beat Games s.r.o.* Online. KURZY.CZ. Dostupné z: <https://rejstrik-firem.kurzy.cz/06858325/beat-games-sro/>. [cit. 2025-05-23].
- [33] VALVE CORPORATION. *Beat Saber on Steam*. Online. Dostupné z: https://store.steampowered.com/app/620980/Beat_Saber/. [cit. 2025-05-22].
- [34] *Learn about Hand and Body Tracking on Meta Quest*. Online. META. Dostupné z: https://www.meta.com/cs-cz/help/quest/290147772643252/?srsltid=AfmBOopfI7gyK2gp5r1D1gxW27zpMIhQnb8tV0vQZSEzc_phCgc4TQfN. [cit. 2025-05-23].
- [35] HTC CORPORATION. *Controller*. Online. Dostupné z: <https://www.vive.com/eu/accessory/controller/>. [cit. 2025-05-23].
- [36] META. *Meta Quest 2 Controllers*. Online. Dostupné z: <https://www.meta.com/quest/accessories/quest-2-controllers-refurbished/?variant=right>. [cit. 2025-05-23].
- [37] META. *Meta Quest Touch Pro Controllers*. Online. Dostupné z: <https://www.meta.com/quest/accessories/quest-touch-pro-controllers-and-charging-dock/>. [cit. 2025-05-23].
- [38] ALZA.CZ A. S. *Valve Index Controllers*. Online. Dostupné z: <https://www.alza.cz/EN/gaming/valve-index-controllers-d6464590.htm>. [cit. 2025-05-23].
- [39] TESLASUIT, DEEP DIVERS LTD. *Haptic Glove for Virtual Reality with Force Feedback | TESLAGLOVE*. Online. Dostupné z: <https://teslasuit.io/products/teslaglove/>. [cit. 2025-05-23].
- [40] MANUS. *Manus Quantum Metagloves*. Online. Dostupné z: <https://www.manus-meta.com/products/quantum-metagloves>. [cit. 2025-05-23].
- [41] KNOXLABS. *Quantum Metagloves by Manus*. Online. Dostupné z: <https://www.knoxlabs.com/products/quantum-gloves-by-manus?srsltid=AfmBOopoQ6zlzeFMxZA4hbwstu4yeJ-21EEie5NZigJvOIEGBSqceTTu>. [cit. 2025-05-23].

- [42] BHAPTICS. *TactGlove DK2*. Online. Dostupné z: <https://www.bhaptics.com/tactsuit/tactglove-dk2/>. [cit. 2025-05-23].
- [43] , Lucas LucidVR. *LucidGloves: VR Haptic Gloves on a budget*. Online. HACKADAY. Dostupné z: <https://hackaday.io/project/178243-lucidgloves-vr-haptic-gloves-on-a-budget>. [cit. 2025-05-23].
- [44] *LucidVR/lucidgloves Wiki*. Online. GITHUB, INC. Dostupné z: <https://github.com/LucidVR/lucidgloves/wiki>. [cit. 2025-05-23].
- [45] *Meta Quest 3 update brings important new hand tracking features*. Online. PHONEARENA. 2024. Dostupné z: https://www.phonearena.com/ar-vr/news/meta-quest-3-update-hand-tracking-improvements_id155461. [cit. 2025-05-23].
- [46] BLUM, Jeremy. *Exploring Arduino: tools and techniques for engineering wizardy*. Indianapolis: Wiley, 2013. ISBN 978-1-118-54936-0.
- [47] NOURI, Hussein. *Arduino for Embedded Systems*. Switzerland: Springer, 2018. ISBN 978-3-319-77621-6.
- [48] BANZI, Massimo a MICHAEL, Shiloh. *Getting Started with Arduino*. 3. vydání. Sebastopol: Maker Media, 2014. ISBN 978-1-4493-6333-8.
- [49] BLUETOOTH SIG, INC. *Bluetooth technology overview*. Online. Dostupné z: <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/>. [cit. 2025-05-23].
- [50] PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. *Applications for Python*. Online. Dostupné z: <https://www.python.org/about/apps/>. [cit. 2025-05-23].
- [51] BEALL, Andrew. *Why Python Matters for the VR Community*. Online. Dostupné z: <https://www.python.org/success-stories/why-python-matters-for-the-vr-community/>. [cit. 2025-05-23].
- [52] VALVE CORPORATION. *Virtual reality (dokumentace systému Steamworks)*. Online. Dostupné z: <https://partner.steamgames.com/doc/features/steamvr>. [cit. 2025-05-23].
- [53] MICROSOFT. *Named Pipes*. Online. 2021. Dostupné z: <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/win32/ipc/named-pipes>. [cit. 2025-05-23].

- [54] *OpenGloves Wiki*. Online. 2022-10-22. Dostupné z: <https://github.com/LucidVR/opengloves-driver/wiki>. [cit. 2025-05-23].
- [55] *OpenGloves*. Online. VALVE CORPORATION. 2023-12-28. Dostupné z: <https://store.steampowered.com/app/1574050/OpenGloves/>. [cit. 2025-05-23].
- [56] STRÍTESKÝ, Ondřej; PRŮŠA, Josef; BACH, Martin a FEIK, Štěpán. *Základy 3D tisku s Josefem Přůšou*. Online. 3. vydání. Praha: Prusa Research. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/downloads/zaklady-3d-tisku.pdf>. [cit. 2025-05-23].
- [57] ALZA.CZ A. S. *Creality K1 Max new version*. Online. Dostupné z: https://www.alza.cz/EN/creality-k1-max-new-version-d8550635.htm?evt=ac&pos=1&sqid=Elastic_4a93eeba-079a-48b6-ab04-df18eda85433. [cit. 2025-05-23].
- [58] ALZA.CZ A. S. *Elegoo Mars 3 Pro*. Online. Dostupné z: <https://www.alza.cz/EN/elegoo-mars-3-pro-d7585013.htm>. [cit. 2025-05-23].
- [59] *ESP32-DevKitC Pin Layout*. Online. In: ESPRESSIF SYSTEMS (SHANGHAI) CO., LTD. Dostupné z: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/v5.2.2/esp32/hw-reference/esp32/get-started-devkitc.html>. [cit. 2025-05-23].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Sensorama	16
Obrázek 2 Virtuality	17
Obrázek 3 Oculus Rift Kickstarter.....	17
Obrázek 4 Oculus Quest 1	18
Obrázek 5 VR headset pro mobilní zařízení (Google Cardboard).....	20
Obrázek 6 PCVR headset (HTC VIVE Pro 2).....	22
Obrázek 7 Standalone headset (Meta Quest 3)	24
Obrázek 8 Prostředí aplikace rumii	25
Obrázek 9 Simulace pilotování letadla	26
Obrázek 10 Simulace zákroku ve VR prostředí (ORamaVR)	27
Obrázek 11 Snímek ze hry Beat Saber	28
Obrázek 12 VIVE Controller	30
Obrázek 13 Meta Quest 2 Controllers	30
Obrázek 14 Meta Quest Touch Pro Controllers.....	31
Obrázek 15 Valve Index Controllers	32
Obrázek 16 TeslaGlove	33
Obrázek 17 Manus Quantum Metagloves	34
Obrázek 18 bHaptics TactGloves DK2	35
Obrázek 19 LucidGloves	36
Obrázek 20 Meta Quest hand tracking	37
Obrázek 21 Creality K1 Max (FDM 3D tiskárna)	41
Obrázek 22 Elegoo Mars 3 PRO (SLA 3D tiskárna).....	42
Obrázek 23 ESP-32DevkitC v4	45
Obrázek 24 Příklady joysticků (vlevo Arduino joystick modul, uprostřed joystick pro Meta Quest 2 ovladač s redukcí na větší vodiče, vpravo joystick pro Nintendo Switch).....	46
Obrázek 25 Flex senzor (112 mm)	48
Obrázek 26 Sada tlačítek	48
Obrázek 27 Příklady velikostí baterií	50
Obrázek 28 Zvolená rukavice	51
Obrázek 29 Schéma zapojení.....	53
Obrázek 30 3D model hlavního modulu	55
Obrázek 31 3D model pro napájecí modul	56
Obrázek 32 3D model víka pro hlavní modul.....	56
Obrázek 33 3D model držáku joysticku	57

Obrázek 34 3D model víka joysticku.....	58
Obrázek 35 3D model spodní části držáku tlačítek.....	58
Obrázek 36 3D model horní části držáku tlačítek.....	59
Obrázek 37 3D model výstupku pro tlačítka	59
Obrázek 38 3D modely zaoblených držáků senzoru.....	60
Obrázek 39 3D model rovného držáku senzoru.....	60
Obrázek 40 3D model držáku trackeru	61
Obrázek 41 Finální zapojení v hlavním modulu 1	62
Obrázek 42 Finální zapojení v hlavním modulu 2	63
Obrázek 43 Finální prototyp rukavice 1	63
Obrázek 44 Finální prototyp rukavice 2	64
Obrázek 45 Finální prototyp rukavice 3	64
Obrázek 46 Snímek uživatelského rozhraní aplikace	67
Obrázek 47 Příklad chyb při zadání dat v nesprávném formátu	71
Obrázek 48 Příklad chyby při neúspěšném připojení k rukavici	72
Obrázek 49 Ukázka zobrazení hodnot ze senzorů (vlevo kalibrace, vpravo animace).....	73
Obrázek 50 Výpis doby trvání jednotlivých iterací v sériovém monitoru.....	74
Obrázek 51 Výsledná frekvence animační funkce middleware aplikace	74
Obrázek 52 Seznam zařízení připojených ke SteamVR	75
Obrázek 53 Ukázka ohnutí prstů (palec a ukazováček)	75
Obrázek 54 Ukázka emulace tlačítka grap.....	76

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
AR	Augmented Reality (rozšířená realita)
CAD	Computer-Aided Design (počítačem podporované navrhování)
COM	Communication port (sériové rozhraní)
DIY	Do It Yourself (udělej si sám)
FDM	Fused Deposition Modeling (modelování pomocí tavného nanášení)
HID	Human Interface Device (zařízení pro lidské rozhraní)
IMU	Inertial Measurement Unit (jednotka pro měření setrvačnosti)
MR	Mixed Reality (smíšená realita)
PCVR	PC-based Virtual Reality (virtuální realita napájená počítačem)
PLA	Polyactic acid (polyaktid)
SLA	Stereolithography (stereolitografie)
SPP	Serial Port Profile (profil sériového portu)
TPU	Thermoplastic Polyurethane (termoplastický polyuretan)
UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
VR	Virtual Reality (virtuální realita)