



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

VIRTUÁLNÍ REALITA JAKO NÁSTROJ PRO DIAGNOSTIKU A TERAPII V MEDICÍNĚ

VIRTUAL REALITY AS A TOOL FOR DIAGNOSIS AND THERAPY IN MEDICINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jiří Kadlec

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ján Mucha, Ph.D.

BRNO 2022

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Telekomunikační a informační systémy**

Ústav telekomunikací

Student: Jiří Kadlec

ID: 223381

Ročník: 3

Akademický rok: 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

Virtuální realita jako nástroj pro diagnostiku a terapii v medicíně

POKyny PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je detailně prozkoumat možnosti a potenciál virtuální reality (VR) jako nástroje pro diagnostiku a terapii v medicíně. Diagnostické nástroje simulující běžné prostředí osoby v monitorovaném teritoriu, představují budoucnost v hodnocení a léčbě závažných neurodegenerativních/neurovývojových onemocnění. V rámci práce bude provedena detailní rešerše využití VR v medicíně. Dále bude vykonán průzkum trhu výrobců technologie VR a možnosti vývoje aplikací pro VR. Následně bude vybráno vhodné diagnostické cvičení pro hodnocení motorických schopností u pacientů s Parkinsonovou chorobou, které bude upraveno a implementováno do VR aplikace.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] LEI, Cheng, et al. Effects of virtual reality rehabilitation training on gait and balance in patients with Parkinson's disease: A systematic review. PLoS One, 2019, 14.11: e0224819.
- [2] CRAIG, Alan B.; SHERMAN, William R.; WILL, Jeffrey D. Developing virtual reality applications: Foundations of effective design. Morgan Kaufmann, 2009.

Termín zadání: 7.2.2022

Termín odevzdání: 31.5.2022

Vedoucí práce: Ing. Ján Mucha, Ph.D.

prof. Ing. Jiří Mišurec, CSc.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Využití virtuální reality (VR) v hodnocení a při léčbě, či terapii závažných neurodegenerativních nebo neurovývojových onemocnění představuje potencionální alternativu standardních metod a je nyní objektem mnoha studií a výzkumů. Jedním z cílů práce je detailní rešerše a analýza tohoto využití. Dalším cílem je průzkum a analýza možností vývoje VR aplikací. Hlavním cílem je návrh a implementace VR aplikace pro terapii a diagnostiku pacientů s Parkinsonovou chorobou. Jedná se o aplikaci obsahující adaptační prostředí a tři navržené cvičení na základě existujících metod pro diagnostiku a terapii pacientů s PD. Aplikace umožňuje mimo jiné také ukládat data ze cvičení (například data o poloze a rotaci ovladačů atd.). Implementace byla, s důrazem na přizpůsobení pacientům a minimalizaci vzniku VR nemoci, provedena v enginu Unity a v programovacím jazyce C#.

Klíčová slova

Virtuální realita, Parkinsonova choroba, VR nemoc, Unity, VR aplikace, Oculus Quest 2

Abstract

The use of virtual reality (VR) in the diagnosis and treatment of severe neurodegenerative or neurodevelopmental diseases is a potential alternative to standard methods and is now the subject of many studies and research. One of the objectives of the thesis is a detailed research and analysis of this usage. Another objective is to research and analyze the options of developing VR applications. The main objective of the thesis is the design and implementation of VR application for therapy and diagnosis of patients with Parkinson's disease. The application contain an adaptive environment and three designed exercises based on existing methods for diagnosis and therapy of patients with PD. Among other things, the application also allow you to store exercise data (such as position and rotation data of controls etc.). The implementation was done in the Unity engine with C# as a programming language, with an emphasis on patient adaptation and minimizing the development of VR disease.

Keywords

Virtual reality, Parkinson's disease, VR sickness, Unity, VR application, Oculus Quest 2

Bibliografická citace

KADLEC, Jiří. *Virtuální realita jako nástroj pro diagnostiku a terapii v medicíně*. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/141258>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedoucí práce Ing. Ján Mucha, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta:	<i>Jiří Kadlec</i>
VUT ID studenta:	<i>223381</i>
Typ práce:	<i>Bakalářská práce</i>
Akademický rok:	<i>2021/22</i>
Téma závěrečné práce:	<i>Virtuální realita jako nástroj pro diagnostiku a terapii v medicíně</i>

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 27. května 2022

podpis autora

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu semestrální práce Ing. Jánů Muchovi, Ph.D. za metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc, trpělivost, ochotu, vstřícnost a veškeré cenné doporučení a rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: 27. května 2022

podpis autora

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK	10
ÚVOD	11
1. VIRTUÁLNÍ REALITA	12
1.1 PRINCIP TECHNOLOGIE	12
1.2 HISTORIE VIRTUÁLNÍ REALITY	14
1.3 ZDRAVOTNÍ IMPLIKACE VR	15
1.4 VYUŽITÍ VR	15
1.4.1 <i>Využití ve vzdělávání</i>	15
1.4.2 <i>Vojenské využití</i>	16
1.4.3 <i>VR v kosmonautice</i>	16
1.5 HARDWARE PRO VR.....	16
2. VR V MEDICÍNĚ	20
2.1 NÁSTROJ PRO TERAPII A DIAGNÓZU PACIENTŮ S NEUROLOGICKÝM ONEMOCNĚNÍM	20
2.2 PARKINSONOVA CHOROBA A JEJÍ SYMPTOMY	21
2.2.1 <i>Motorické symptomy Parkinsonovy choroby pro VR aplikace</i>	22
2.3 VR JAKO NÁSTROJ PRO DIAGNOSTIKU A REHABILITACI PARKINSONOVI CHOROBY.....	23
3. VÝVOJ APLIKACÍ PRO VR	25
3.1 VÝVOJOVÉ PROSTŘEDÍ	25
3.2 GRAFICKÝ HERNÍ ENGINE	25
3.2.1 <i>Unreal engine 4</i>	25
3.2.2 <i>Unity</i>	26
3.3 APLIKACE PRO OCULUS QUEST 2	26
3.3.1 <i>ADB</i>	27
3.3.2 <i>Oculus Developer Hub</i>	28
3.4 NORMY A STANDARDY PRO VÝVOJ VR APLIKACÍ.....	28
4. NÁVRH APLIKACE	30
4.1 STATE-OF-ART VE VR APLIKACÍCH PRO PACIENTY S PD	30
4.2 FUNKCIONALITA APLIKACE	31
4.3 BLOKOVÉ SCHÉMA APLIKACE.....	34
5. IMPLEMENTACE	35
5.1 INTERAKCE S OBJEKTY	36
5.2 POHYB.....	38
5.3 UŽIVATELSKÉ ROZHRANÍ	39
5.4 OPTIMALIZACE.....	41
5.5 VYUŽITÍ PLUGINŮ A SDK.....	41
5.6 ADAPTAČNÍ PROSTŘEDÍ.....	42
5.7 IMPLEMENTACE PRVNÍHO CVIČENÍ	43
5.8 IMPLEMENTACE DRUHÉHO CVIČENÍ.....	47
5.9 IMPLEMENTACE TŘETÍHO CVIČENÍ.....	49

5.10	UKLÁDÁNÍ DAT	49
5.10.1	<i>Poloha a rotace ovladačů</i>	49
5.10.2	<i>Přidavná data ze cvičení</i>	51
5.10.3	<i>Monitorování pacienta</i>	52
ZÁVĚR		54
LITERATURA		56
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK		64
PŘÍLOHA A – UNITY PROJEKT, UNITY BALÍČEK, SPUSTITELNÁ APLIKACE A VÝSTUPNÍ DATA		65

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Porovnání princip simulace stereogramu (obraz, který v HMD, Head-mounted display – náhlavní displej, vytváří iluzi trojrozměrného vidění) s normálním viděním [3]	13
1.2	Blokové schéma funkcionality VR systémů.....	14
1.3	HMD a ruční ovladače systému Oculus Quest 2 [15]	17
2.1	Zobrazení části středního mozku (ventrální tegmentální oblast a černá substance) a cest obsahujících dopamin [27]	22
2.2	Porovnání rukopisu (text: Tramvaj dnes už nepojede.) zdravého pacienta (nahore) a pacienta s PD (dole) [31].....	23
3.1	Výchozí aplikační prostředí Oculus Quest 2 s otevřeným menu a aplikací Prozkoumat	27
4.1	Blokové schéma aplikace	34
5.1	Obrázek nastavení vazeb fyzických a softwarových tlačítek	36
5.1.1	Ukázka nakonfigurovaných interakčních paprsků u obou ovladačů	37
5.1.2	Interakční collider u pravého ovladače.....	37
5.2.1	Ukazatel místa, kam bude uživatel teleportován.	39
5.3.1	Základní menu u levého ovladače.	40
5.3.2	Dveře pro přechod do adaptačního prostředí.....	40
5.6.1	Scéna adaptačního prostředí (dveře pro přechod do cvičení).	43
5.7.1	Scéna prvního cvičení (tabule a ovládací panel).	44
5.8.1	Scéna druhého cvičení (křivka, kruhy, stopky a ovládací panel).	47
5.9.1	Scéna třetího cvičení (regály a ovládací panel).	49
5.10.1	Příklad dvou vyplněných šablon z prvního cvičení.	51
5.10.2	Přenos záznamu z Oculus Quest 2 do mobilní aplikace Oculus.	53

SEZNAM TABULEK

1	Tabulka porovnání parametrů vybraných VR headsetů	19
---	---	----

ÚVOD

Virtuální realita, jakožto technologie umožňující uživateli v reálném čase nějakým způsobem smyslově vnímat simulované virtuální prostředí, představuje světový trend a potencionálně budoucnost v diagnostice, hodnocení, při léčbě, terapii a rehabilitaci, nebo například ve výuce a jako pomůcka při operaci v mnoho medicínských oborech.

U pacientů s Parkinsonovou chorobou, dlouhodobé neurodegenerativní onemocnění zasahující centrální nervovou soustavu projevující se zejména u starších 60 let, vlivem úbytku buněk v černé substanci a s tím souvisejícím nedostatkem dopaminu, často dochází k výraznému ovlivnění funkčnosti pohybové soustavy člověka. Tyto motorické, ale i další kognitivní symptomy Parkinsonovi nemoci se dají kromě standartních metod mnohdy diagnostikovat, hodnotit, či léčit a potlačovat alternativními metodami využívající moderní technologie. Jednou z těchto technologií je právě virtuální realita, která je již několik let tématem významného počtu studií, zaměřených na použití této technologie ve všech aspektech, od diagnózy až po pokročilé fáze terapie Parkinsonovi choroby.

Vyvinuté prototypové VR aplikace, které jsou objektem takových studií, často obsahují řadu nedostatků, kvůli kterým není dosaženo možného potenciálu, který využití virtuální reality představuje. Mezi tyto nedostatky většinou patří limitace dostupných zařízení pro VR, jejichž cena spojená se vším potřebným hardwarem a komplikovanost konfigurace a použití brzdí a znepríjemňují použití daných systémů a aplikací v praxi. Dalším nedostatkem bývá neoptimální přizpůsobivost aplikace pro pacienty s PD, a to ať už obecně s ohledem například na VR nemoc, nebo přímo požadavků na přizpůsobení pacientům s různými příznaky a různou fází nemoci.

Prvním cílem této práce je vypracovat detailní rešerši a analyzovat využití VR jako nástroje pro diagnostiku a terapii v medicíně a také konkrétně u Parkinsonovi choroby. To zahrnuje také analýzu současných řešení a jejich výsledků, se zaměřením na jejich výsledky, jak z pohledu pozitivních výsledků, tak také z pohledu nedostatků. Dalším cílem je průzkum možností vývoje a potřebných nástrojů pro vývoj VR aplikací. Posledním cílem práce je vypracovat návrh VR aplikace pro pacienty s Parkinsonovou chorobou a ten následně implementovat.

První část práce je zaměřena obecně na virtuální realitu a obsahuje popis různých VR technologií, jejich historický kontext, možnosti využití a průzkum nabídky zařízení pro VR dostupných na trhu. Další část práce je zaměřena na využití této technologie v medicíně a obsahuje také popis Parkinsonovi choroby a charakterizaci jejich symptomů pro pozdější využití při návrhu aplikace. Následující část práce zahrnuje programové vybavení a nástroje potřebné k vývoji VR aplikací a také normy a standardy vývoje. Další část práce představuje analýzu existujících aplikací pro pacienty s PD a funkční návrh vlastní aplikace, společně s blokovým schématem. Tématem poslední části práce je implementace VR aplikace pomocí programovacího jazyka C# a enginu Unity.

1. VIRTUÁLNÍ REALITA

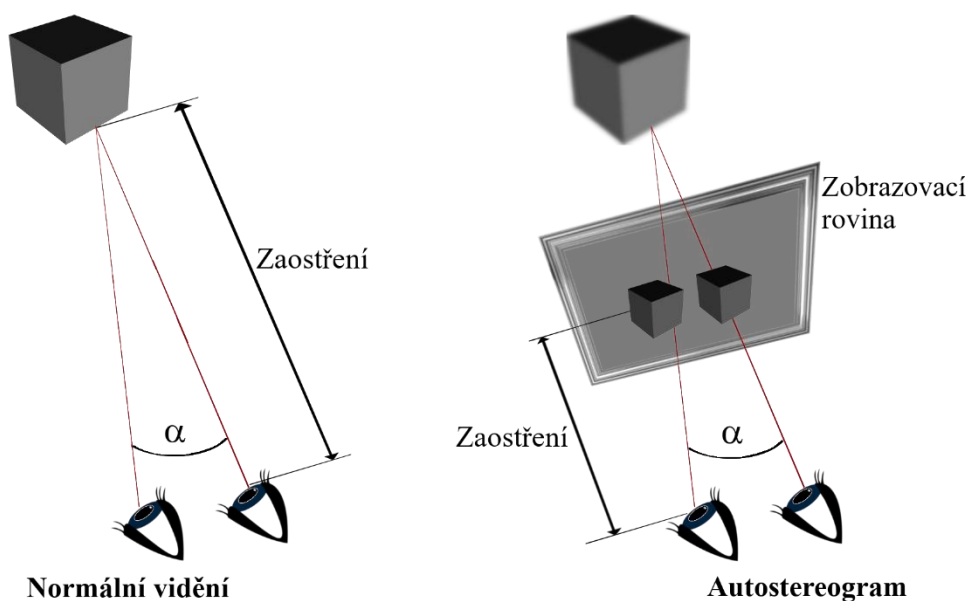
Virtuální realita (VR) je technologie umožňující uživateli pohybovat se v reálném čase v simulovaném prostředí. Dle první definice Jaron Laniera, otce prvních kybernetických obleků, z roku 1984 „*Virtuální realita je počítačem vytvořené interaktivní trojrozměrné prostředí, do něhož se člověk totálně ponoří.*“ můžeme pochopit pro co VR obecně využíváme. [1][2]

Přesnější definice od Greenbauma z roku 1992 „*Virtuální realita je alternativní svět tvořený plně počítačem generovanými obrazy, které reagují na lidský pohyb. Tato simulovaná prostředí jsou obvykle navštěvována s pomocí datových obleků, které se vyznačují stereoskopickými video brýlemi a rukavic z optických vláken.*“ nám již přesněji popisuje celé blokové schéma pro použití VR v praxi. Při provádění integrace nám tedy virtuální realita vytváří iluzi skutečného světa. Jde o zprostředkování vizuálního, sluchového, hmatového či jiného zážitku budícího dojem skutečnosti pomocí zobrazovacího zařízení počítače, speciální audiovizuální helmy, nebo v dnešní době nejčastěji brýlí, popř. v blízké budoucnosti oblečení snímajícího pohyb a stimulujícího hmat nebo jiné vjemy vyvolávající techniky. [1][2]

1.1 Princip technologie

Nejzákladnější a nejsložitější částí VR je optická vizualizace prostředí vytvořeného na výpočetní jednotce. Na běžné obrazovce je totiž i 3D prostředí zobrazené pouze ve dvou osách, a tak je obraz pro naše oko dvojrozměrný. To, jak oko obraz zpracovává, je v tomhle případě úplně nejdůležitější. Využit se toho dá tak, že si obraz jednoduše rozdělíme na 2 části. Každá z nich stejný objekt / prostředí zobrazuje z jiného úhlu, popř. z jiného místa. Prakticky tím přeskočíme jeden krok při zpracování obrazu, a to má za následek, že v našem mozku vzniká věrohodná stereoskopická simulace trojrozměrného obrazu. [3][6][7]

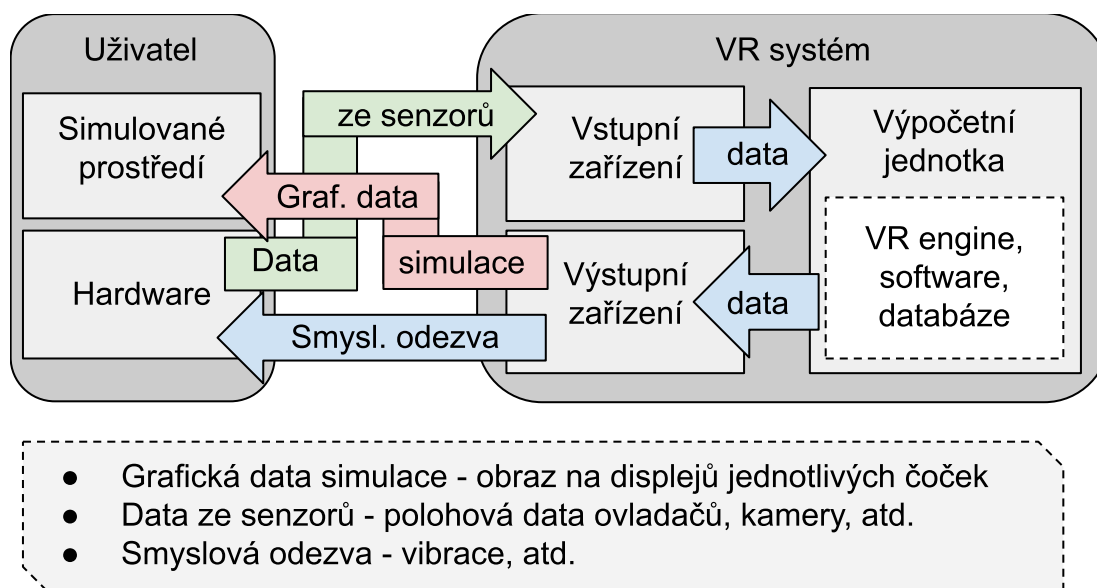
Praktickým příkladem může být například když si do vzdálenosti několika centimetrů od Vašeho nosu přiložíte jakýkoliv objekt, např. prst. Vaše levé oko tento prst vidí úplně vpravo a Vaše pravé oko zase úplně vlevo. Pokud prst posunujete dál od obličeje, vnitřní úhel, pod kterým tento prst vidíte se snižuje, prst se tedy oddaluje. Tento proces u obvyčejného vnímání probíhá až v mozku, pokud tedy obraz očí věrohodně simulujeme a promítneme dostatečně blízko, mozek tento děj vnímá jako skutečný. Díky této technologii je možné jako zobrazovací jednotku použít i displej chytrého telefonu spolu se speciálními brýlemi obsahujícími řadu přesně upravených skleněných čoček. [3][6][7]



Obrázek 1.1 Porovnání princip simulace stereogramu (obraz, který v HMD, Head-mounted display – náhlavní displej, vytváří iluzi trojrozměrného vidění) s normálním viděním [3]

Další možností dosáhnoutí tohoto efektu je použití barevných filtrů (anaglyf – stereoskopické 3D brýle). Pokud mezi barevný 2D obraz, jež je speciálně upraven zelenou a červenou stopou a mezi tento obraz a naše oči vložíme barevný filtr, na levé oko modrý a na pravé červený, v mozku to opět vytváří iluzi třetího rozměru. Tento systém byl populární díky své jednoduchosti, v dnešní době se ale využívá pouze při hromadném promítání kvůli svým nedokonalostem a omezením v oblasti reálnosti. [5]

Nejméně využívanou technologií pro vizualizaci jsou také tzv. shutter glasses. Ty využívají velmi rychlého střídavého zatmívání levého a pravého oka, díky které v synchronizaci vzniká dojem prostorového vidění. Synchronizace se provádí tak, že se jednotlivé snímky / framy střídavě promítají se spojením na levé či pravé oko, bez této synchronizace by bylo zatmívání zbytečné. [4]



Obrázek 1.2 Blokové schéma funkcionality VR systémů

1.2 Historie virtuální reality

První zmínky o něčem srovnatelném s virtuální realitou sahají až do 50. let 20. století, kde Morton Heilig definoval tzv. „Divadlo zážitků“. To mělo údajně stimulovat všechny smysly diváka podle hrané scény. Technologicky tohle ovšem znamenalo např. dvojí zvuk, nebo vůni odpovídající prostředí daného filmu. [8]

Filozoficky toto téma rozebral v roce 1964 Stanislaw Lem ve své knize *Summa technology*, v níž redefinuje pojem fantomatika a popisuje dopad navození reálnosti na uživatele. [8]

První technologicky zajímavé zařízení sestrojil v roce 1968 Ivan Sutherland. Toto zařízení se nosilo na hlavě a bylo velmi jednoduché. Efekt reálnosti tvořili pouze virtuální vazby ohraničené obyčejnými čarami, i přesto ale sehrálo důležitou roli. Mělo totiž významný vliv na budoucí rozvoj 3D simulací. Z těchto technologických základů v 80. letech 20. století totiž firma VPL Research vyvinula technologii tzv. „goggles n‘ gloves“, což je použití brýlí a rukavic jakožto hardwarových prvků, se kterými se ve spojení s VR v dnešní době nejčastěji setkáváme. [8]

Dalšími historicky významnými událostmi bylo představení pilotních veřejně dostupných VR headsetů (sada jednoho či více zařízení na náhlavní konstrukci) určených pro domácí použití, konkrétně I-Glasses od Virtual IO a VFX1 od Forte, v roce 1995. Rok 1997 byl, díky plošnému použití v rámci rehabilitace pacientů s PTSD (Posttraumatická stresová porucha) v několika státech USA, významným pro VR v medicíně. Roky 2014, respektive 2015, jsou považovány jako tzv. VR boom, kdy se popularita VR rapidně zvýšila, a to až do nynějšího stavu, kdy se považuje za veřejně

známou technologii. Na trh byly v roce 2014 představeny headsety od firem Playstation, Google a Samsung a firma Oculus byla Facebookem odkoupena za neuvěřitelné 2 miliardy dolarů. Nejaktuálnější důležitou událostí bylo poté představení VR headsetu Oculus Quest v roce 2019 od firmy Facebook. Tento headset je díky tomu, že k jeho chodu není potřeba žádné další zařízení, finančně i uživatelsky velmi dostupný. [8]

1.3 Zdravotní implikace VR

„Vzhledem k realitě podobnému subjektivnímu vjemu může virtuální realita při nevhodném použití vyvolat u pozorovatele či pravidelného uživatele stav, kdy přestává jasně rozlišovat mezi reálným a virtuálním světem a tím celkově zkreslit jeho psychické vnímání a hodnocení skutečného prostředí.“ Mimo tento problém, který obvykle představuje riziko až při častém a dlouhotrvajícím využívání, má tzv. VR nemoc i další projevy. Většina z nich by se dala charakterizovat teorií smyslových konfliktů od Reasona a Branda. Tato teorie popisuje psychologický jev, ke kterému dochází při rozdílnému vnímání pohybu člověka s jeho vizuální interpretací, například pokud se ve VR prostředí pohybujeme jinak než chůzí, nebo naopak když fyzický pohyb neodpovídá pohybu ve vygenerovaném aplikačním prostředí (záseky apod.). [9][10][11]

VR nemoc, často také kybernemoc, je ale charakterizována jako polysymptomatická a polygenní, takže je její projev vysoce individuální a úzce spjatý s použitým hardwarem a funkčností aplikačního prostředí, zvláště pak u pacientů s PD. Z pozice vývoje aplikace se dá možnost projevu VR nemoci minimalizovat z pohledu množství, kvality a detailnosti obsahu, množství a plynulost interaktivního obsahu, celková vizuální stimulace a reálnost prostředí, pohyb a navigace v prostředí a cílený časový úsek strávený v aplikaci. Kromě tohoto aspektu technologie je zde ještě riziko jiné psychické újmy. Nesprávné použití zařízení pro virtuální realitu může mít za následek spousty neurologických potíží. Pravděpodobnost trvalé újmy je ale s aktuálními zařízeními, vývojovými nástroji a při správně přizpůsobeném použití mizivá. [9][10][11]

1.4 Využití VR

Důkazem důležitosti této technologie je její využití v mnoha dalších oborech, kde mnohdy pomohla dosáhnout velmi významného pokroku např. v oblastech lékařství nebo stavebnictví. I přesto, že je virtuální realita stále poměrně novou technologií, stále se vyvíjí, nedokonalosti se odstraňují a předpokládáme, že do budoucna virtuální realita výrazně ovlivní obecný život v lidské společnosti.

1.4.1 Využití ve vzdělávání

V Japonsku je neustále rozšiřujícím se středních a vysokých škol využití VR pro studium na dálku. Například při nemoci, vzdáleném pobytu, se zúčastnit vyučování za pomoci připojení na klasickou nebo 3D kameru, a tak se přednášky oficiálně zúčastnit a neztratit

tak potřebné kredity. Mimo toho se dá samozřejmě VR využít obecně k realizaci některých probíraných témat nebo jakýchkoliv potřebných materiálů, žák tak získá zcela nový a nejspíš i více atraktivní pohled na probíranou tematiku. Toto využití je v ČR již poměrně běžné. [12]

1.4.2 vojenské využití

Již od 80. minulého století se VR využívá na letové simulace v rámci výcviku po celém světě. Do dnešní doby se samozřejmě přístroje pro tuto funkci využívané změnili, princip ovšem zůstává stejný. V roce 2012 byl v USA představen veřejnosti oficiální plně vybavený simulační systém pro výcvik všech pilotů v zemi. Tento systém se v dnešní době používá nejen na bojový výcvik, byl také transformován a funguje jako simulační systém pro výcvik pilotů komerčních letadlech. Pokud se stane havárie, nebo jiný problém, podmínky tohoto problému se díky tzv. černé skříňce poté naprogramují do simulátoru a díky tomu se další generace pilotů učí tyto problémy zvládnout a překonat, viz. případ přistání na řece Hudson. [13]

1.4.3 VR v kosmonautice

Stejně jako pilotování letadel, existují také simulace vesmírných misí sloužící k výcviku astronautů. Efektivní použití VR je například v rámci tréninku přizpůsobení práce za rozdílných podmínek, jimž jsou na misi vystaveni. Jedním z neznámějších tréninků tohoto typu je podvodní výcvik, kdy se na dno bazénu spustí malá část raketoplánu a na vyznačeném místě se plně oděný astronaut učí manipulovat s nářadím a zvykat si na podmínky „nulové gravitace“. [14]

1.5 Hardware pro VR

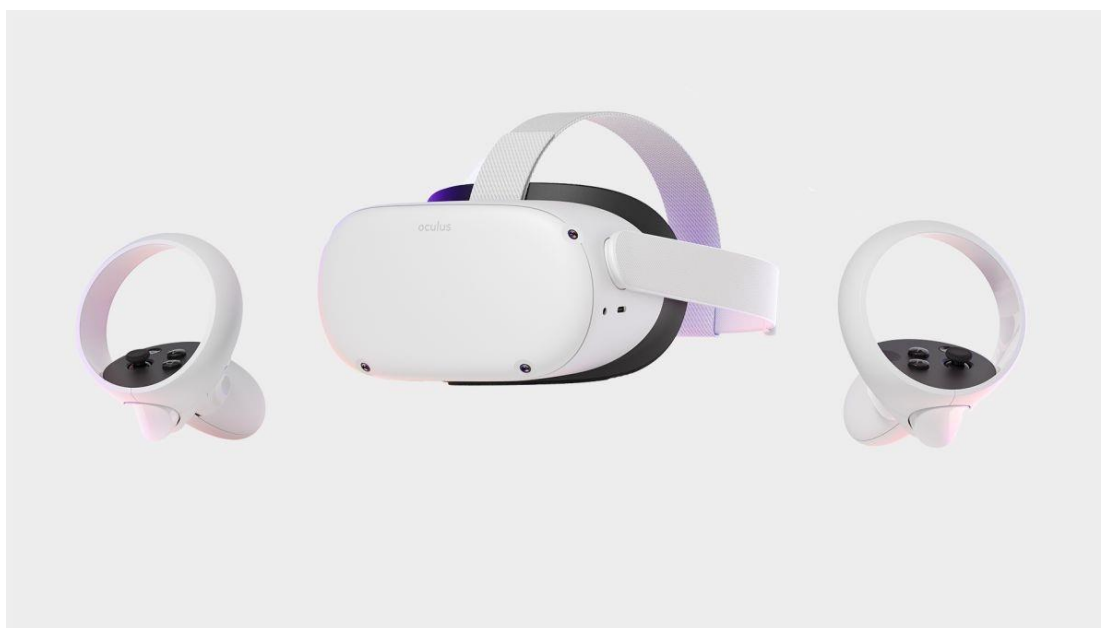
Hardware (headsety) pro VR by se daly dělit do kategorií dle různých kritérií. Naprosto fundamentální dělení je podle použité VR technologie. To konkrétně, z komerčně dostupných zařízení, na mobilní, PCVR (na připojení k PC) a standalone (samostatně fungující systém virtuální reality) headsety. [19]

Mobilní headsety se řadí do kategorie low-end (nízká pořizovací cena) zařízení, vyznačující se širokou dostupností, jednoduchým použitím a nízkou cenou. Jsou to prakticky pouze fyzická pouzdra na mobilní telefon s čočkami pro imitace zobrazení vícerozměrného obrazu. Na takový hardware se vyvíjí mobilní aplikace, jež podle typu podpořeného headsetu upravují vizuální výstup na displeji mobilu. Další kategorií jsou PCVR headsety, ty se řadí pro svou výrazně vyšší cenu, nutnost výkonného výpočetního zařízení a více nutných prvků pro použití do high-end (vysoká pořizovací cena) kategorie. Mají pro každou čočku vestavěné samostatné zobrazovací jednotky pro věrohodnější 3D simulaci. Každý takový headset pak pro tracking (zaznamenávání informací o poloze objektu v čase) využívá jednu, nebo sérii kamer, které je potřeba rozmístit po místnosti, případně synchronizovat s centrální stanicí, která zajišťuje drátové, či bezdrátové

propojení všech prvků s výpočetní jednotkou. Mimo těchto prvků je v naprosté většině součástí také sada ručních ovladačů pro interakci s prostředím VR. Na připojeném PC se poté spouštějí VR aplikace a podle nastavení driveru promítají do headsetu. Kvůli tomuto faktu plynulost chodu aplikace přímo závisí na výkonu připojeného počítače. Jejich alternativou jsou standalone headsets, řadící se dostupných funkcí a ceny do mid-end (střední pořizovací cena) nebo high-end kategorie. Na rozdíl od PCVR nevyžadují připojení k PC. Mají kromě headsetu a ovladačů také vlastní řídicí procesorovou a grafickou jednotku a disk na ukládání aplikací, většinou za použití modifikované verze systému Android pro VR aplikace. [17] [19]

Jelikož mobilní VR headsets nevyužívají nic víc než sensorů z mobilního telefonu, jejich použití je velmi omezené a většinou slouží pouze k zobrazení částečně interaktivních videí. Oproti tomu PCVR a standalone headsets nabízí širší množství technologií a sensorů, díky nimž lze mapovat pohyb části, nebo celého těla. Oba systémy proto připadají k výsledné aplikaci v úvahu.

Z jejich porovnání, viz tabulka 1, je patrné, že výběr ke koupi standalone systémů je velmi omezený. Z momentálně dostupných bezkonkurenčně dominuje značka Oculus od firmy Facebook, z nichž nejnovější je model Oculus Quest 2.



Obrázek 1.3 HMD a ruční ovladače systému Oculus Quest 2 [15]

Nevýhodou tohoto systému je potenciálně nižší výkon v benchmark testech, což ale v rámci relativně nízkých výkonnostních požadavků není zásadní a výkon by měl být dostačující. Hlavní nevýhodou je nemožnost přidání vlastní sady sensorů. Možností, jak tuto nevýhodu obejít je připojení k PC, ke kterému by například přes technologii Oculus Link šli připojit další senzory. To by ovšem znamenalo, že je k použití headsetu potřeba počítat, navíc je při takovém připojení nutno aplikace spouštět z počítače, což by

prakticky nulovalo všechny výhody standalone systému. Krajní alternativou by byl návrh a realizace vlastních senzorů, jež by přes PC server vysílali zpracovaná data přímo do headsetu. Jelikož je toto řešení na trhu nedostupné, bylo by systém nutno od základu navrhnout v rámci této práce, což by nejspíše výrazně překračovalo její zadání. Toto řešení by prakticky obcházelo konfiguraci a chod celého headsetu, takže není možnost dopředu ověřit, zda by byl takový systém funkční. Navíc i pokud by byl funkční, dá se předpokládat, že by takto získaná data byla nepřesná a narušovalo by to plynulost výsledné aplikace. Výraznou výhodou tohoto systému je pak jeho cena, jednoduchost, kompaktnost a využitelnost v praxi. [16][18][19]

Poslední možností je PCVR, konkrétně některý ze systémů řady HTC Vive. Toto řešení nabízí dokoupení a propojení dalších senzorů. Zásadní nevýhodou je ovšem cena celého systému, jeho složitost, náročnost na použití a instalaci a nutnost zakoupení VR-ready PC. V rámci potenciálního využití lékaři v praxi, přináší PCVR řadu komplikací. Celý systém je výrazně dražší a pro použití by ho musel odborník nainstalovat a nakonfigurovat. Na příslušném místě by pak celý systém musel do dalšího použití zůstat a zabírat prostor. Pro jeho chod by také bylo potřeba mít v ordinaci výkonný VR-ready PC, což by cenu opět navýšilo. Samotné použití by pak kvůli nutnosti přesného připevnění senzorů dle instrukcí a manipulaci s celým drátově připojeným systémem, vzhledem k průměrnému věku pacientů diagnostikovaných těmito onemocněními, působilo problémy a znepríjemňovalo celé použití. [19]

Z těchto důvodů je jako nejlepší možné řešení vybrán standalone systém Oculus Quest 2. Cenově je to bezkonkurenčně nejlepší varianta. Při prvním použití je nutné pouze softwarově nainstalovat a v rámci uživatelsky přívětivé instalace namapovat místnost, ve které bude použit, což také kvůli absenci jakéhokoliv zapojení nevyžaduje asistenci odborníka. Systém lze poté jednoduše skladovat, například v zásuvce stolu, a při použití pouze vyndat, nasadit a zapnout. [16]

Konkurencí by tomuto systému měl být nový produkt z řady Oculus, jež má být představen na virtuální události Facebook Connect, zaměřené striktně na VR, na konci října 2021. Ke koupi by v ČR byl ovšem nový headset až několik měsíců poté. Ovšem díky tomu, že se jedná o stejnou značku, je zaručená zpětná kompatibilita nového systému a přechod na novější verzi headsetu, by proto měl být v budoucnosti bezproblémový. [16]

Tabulka 1 Tabulka porovnání parametrů vybraných VR headsetů (base je základní stanice – u VR systémů prostředník mezi jednotlivými prvky a PC) [17][19]

Název	Vive Pro	Vive Cosmos	Vive Focus 3	Quest	Quest 2	Index VR
Výrobce	HTC	HTC	HTC	Oculus	Oculus	Valve
Typ technologie	PCVR	PCVR	Standalone	Standalone	Standalone	PCVR
Maximální rozlišení displeje (na čočku)	2880×1600	2880×1600	4896×2448	1440x1600	1832x1920	1440x1600
FOV [°]	98x98	97x94	116x96	94x90	89x93	107x104
Frekvence displeje [Hz]	90	90	90	72	90	120
IPD [mm]	61-72	61-73	57-72	58-72	58-68	58-70
Detekce pohybu	6DOF	6DOF	6DOF	6DOF	6DOF	6DOF
Ovladače	Vive	Vive	Vive	Touch v1	Touch v2	Valve Index
Potřebný hardware	PC, kamery, base	PC, kamery, base	-	-	-	PC, kamery, base
Kapacita disku [GB]	-	-	32-2048	128	128 (64,256)	-
Výdrž baterie	-	-	10	4	10	-
Operační systém	-	-	Android-VR 10	Android-VR 8	Android-VR 10	SteamVR
Možnost konfigurace dalších senzorů	Ano	Ano	Ne	Ne	Ne	Ne
Datum zveřejnění systému	2018	2019	2021	2019	2020	2019
Zaměření (SDK podpora)	universální	universální	bussiness	universální	universální	herní
Minimální cena (headset) [Kč]	36,990	21,590	34,810	11,990	11,590	27,454
Minimální cena (celkem za systém) [Kč]	cca 69k-72k	cca 54k-58k	35,310	11,990	11,590	cca 53k-57k

2. VR v MEDICÍNĚ

Využití technologie VR je v rámci zdravotnictví za posledních 5 let na prudkém vzestupu. Momentálně vývoj aplikací využívajících tuto technologii představuje světový trend zejména na poli diagnózy psychických poruch, psychoterapii a při výuce, tréninku a plánování operací, kde je v předních zdravotních a výukových institucích možnost použití VR již téměř samozřejmá. Diagnóza psychických onemocnění a poruch, stejně tak psychoterapie nabízí lépe monitorovatelné a přizpůsobitelné podmínky, čímž se zvyšuje přesnost diagnózy, který je zároveň pro pacienta příjemnější a bezpečnější. Při výuce a plánování operací technologie svou vizualizací přináší lepší výsledky za menší finanční a časovou investici. [20][21][23]

Zvyšující se dostupnost VR hardwaru veřejnosti umožňuje častější využití při léčbě různých psychických onemocnění, fobií, depresí nebo poruch (například PTSD), kde oproti dříve používaným metodám, ve většině případech, vykazuje VR výrazně větší efektivitu. Diagnostika a léčba bolestí limbického systému, neurologických onemocnění a problémy s dýcháním jsou oblastmi momentálního výzkumu a vývoje pilotních aplikací. [22][23]

Hlavními výhodami a důvody prudkého rozvoje a popularizace VR v medicíně jsou přesnější analýza (body tracking – přesná analýza pohybového aparátu, vyloučení kompromitujících vlivů, porovnatelné série nasnímaných hodnot s jinými pacienty apod.), realističtější a přesnější vizualizace, menší chybovost (redukce lidské chyby na minimum), efektivnější a zábavnější terapie pro pacienty a menší časová a finanční náročnost. [20]...[23]

2.1 Nástroj pro terapii a diagnózu pacientů s neurologickým onemocněním

Využitelnost technologie v neurologii se týká hlavně vlivu nemoci na různé motorické funkce, či u některých nemocí na aktivitě specifických oblastí mozku při předem specifikovaných aktivitách. U nemocí jako Alzheimerova choroba, nebo schizofrenie, se pomocí fMRI dá ve spojení s VR aplikací přizpůsobenou pro diagnózu dané nemoci diagnóza zachytit i ve velmi raném stádiu. [24][25][26]

U diagnostiky motorických funkcí má použití VR oproti nynějším testům klíčovou výhodu v podobě možnosti jednoduše simulovat různé běžné rutinní situace pacienta a další specifické úkoly v pevně daném prostředí, které mohou být přesně nastaveny na diagnostiku dané nemoci. To umožňuje prakticky během jednoho sezení nasimulovat a monitorovat aktivity v rámci dlouhodobého pozorování. Tento přístup je finančně a časově nesrovnatelně efektivnější. Nynější diagnostické VR aplikace na poli neurologických onemocnění dosahují výrazně lepších výsledků než nejpoužívanější testy. Jelikož je technologie ale stále relativně nová, a pro požadovanou efektivitu a kvalitu je

potřeba každé řešení přesně uzpůsobit jeho použití, je u většiny možných využití technologie stále ve stádiu raného výzkumu. Díky potenciálu této technologie ovšem nyní probíhá v této oblasti rozsáhlý výzkum a v následujících letech se předpokládá značný růst vyvinutých metod a také růst v jejich použití. Některé zdroje uvádí, že by tato technologie mohla být v oblasti diagnostiky neurologických a psychických onemocnění v blízké budoucnosti oproti ostatním metodám dominantní z hlediska efektivity a použitelnosti a mělo by se jednat o běžnou pomůcku každé takto zaměřené ordinace. [26]

Co se týče rehabilitace a terapie, VR nabízí nový pohled na různá ověřená cvičení a programy. V rámci výzkumu bylo zjištěno, že použití VR v kombinaci s tradiční terapií či rehabilitací zvyšuje efektivitu, angažovanost a spokojenost pacientů. Zároveň nabízí lepší analýzu stavu pacienta lékařem a možnost lepší sebereflexe pacienta nad jeho nedokonalostmi v rámci terapie. V akutních neurodegenerativních stavech má VR neurorehabilitace velmi pozitivní výsledky zejména v oblastech vizuálně prostorových a akčních schopností. Na rozdíl od diagnostických, aplikace pro terapii a rehabilitaci vykazují u prototypů také negativní aspekty. Mezi nejčastější patří technicky složité sestavení, instalace, konfigurace celého systému a dostupnost technologie lékaři, ve smyslu požadavků na využití VR platform, k jejichž chodu není potřeba žádný další hardware. Takový požadavek do nedávna splňovalo, že zařízení určených pro hromadný prodej, pouze mobilní VR, které na druhou stranu neumožňuje praktickou podporu požadovaných funkcí aplikace. Z aspektů přímo ovlivňujících pacienta poté špatná optimalizace aplikace pro VR nemoc a nevolnost způsobená VR, na což jsou při terapii pacienti s neurologickým onemocněním obvykle náchylnější. [24][25][26]

2.2 Parkinsonova choroba a její symptomy

Parkinsonova choroba (PD) se řadí mezi dlouhodobé neurodegenerativní onemocnění zasahující centrální nervovou soustavu. [28][30]

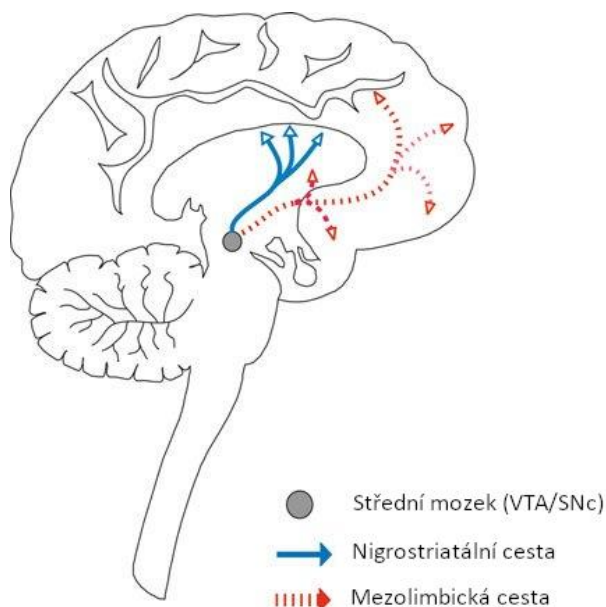
Nejvíce, ale ne výhradně, ovlivňuje pohybovou soustavu. K tomu dochází kvůli odumírání a rychlému úbytku buněk v substantia nigra (část středního mozku – černá substance), což vede k deficitnímu stavu dopaminu. Nedostatek tohoto neurotransmiteru způsobuje ztrátu kontroly nad pohybovou soustavou. Konkrétními příznaky bývá celkové zpomalení pohybu, tremor, ztuhlost a potíže s chůzí a rovnováhou. Zároveň bývá PD často doprovázeno kognitivními příznaky jako deprese, úzkost, ztráta emocí, poruchy spánku a sensorického systému a v pokročilejší fázi také demence. Dalšími příznaky jsou ortostatická hypotenze, zácpa, problémy s močením, poruchy posturálního reflexu, nemožnost pohybového multitaskingu (větší množství pohybů najednou), porucha autonomní funkce a další různé neuropsychiatrické symptomy. [27]...[30][32]

Příčina vzniku PD je prozatím neznáma. Je však dokázána korelace různých typů genů s vyšším rizikem vzniku nemoci. Kvůli tomuto faktu je poté u pacientů, jejichž blízký rodinný příslušník byl diagnostikován touto chorobou, vyšší riziko vzniku nemoci. Stejně tak může být dalším rizikovým faktorem například dlouhodobé vystavení pesticidům

anebo zranění hlavy. Naopak u kuřáků, či lidí pravidelně konzumujících kávu je riziko vzniku nemoci nižší. Nejvíce se PD objevuje u pacientů nad 60 let, u kterých je momentálně prevalence asi 1,5 až 2%, a o cca 20% více u mužů. [28][30]

Primární diagnóza probíhá nejčastěji na základě symptomů pohybového systému například pomocí DaT skenu (diagnostická metoda zkoumající možnou ztrátu dopaminergních neuronů ve striatu – zobrazení této části mozku ke zjištění stavu dopaminu pomocí magnetické rezonance) a různých pohybově konstruovaných diagnostických testů. [28][29][30][32][34]

Lék na PD momentálně stále neexistuje, léčí se potlačováním efektů jednotlivých symptomů, za účelem zlepšení kvality života, užíváním antiparkinsonik jako L-DOPA MAO-B inhibitory, aktivátory dopaminu a také aktivní rehabilitací často spojenou s dietou. S větší progresí nemoci se stávají antiparkinsonika méně efektivní a objevují se vedlejší efekty, například nechtěné pohyby a cukání svalů. Průměrné dožití po diagnostice PD je zhruba 10 až 15 let. [28][29][30]



Obrázek 2.1 Zobrazení části středního mozku (ventrální tegmentální oblast a černá substance) a cest obsahujících dopamin [27]

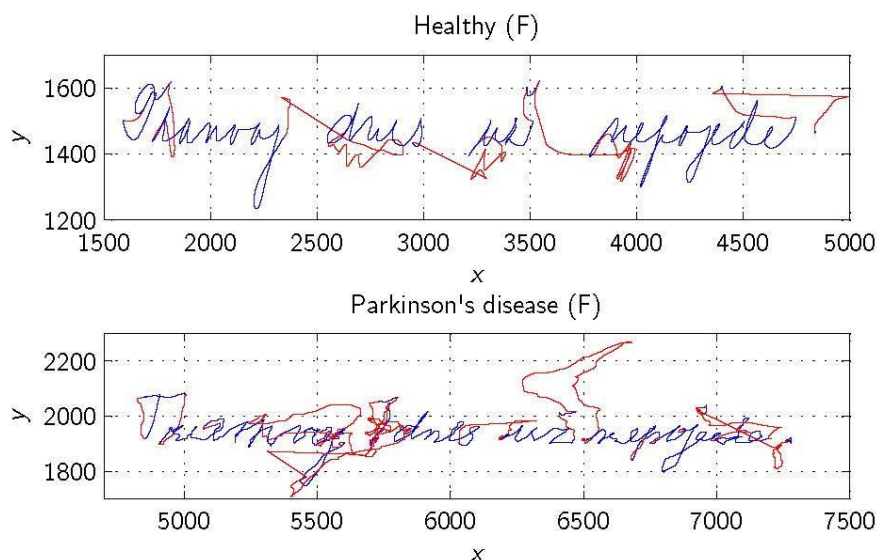
2.2.1 Motorické symptomy Parkinsonovy choroby pro VR aplikace

Hlavní klinické symptomy PD se dají rozdělit na motorické a kognitivní. [32][33]

V rámci VR aplikací se dají prakticky monitorovat s volně dostupným hardwarem většinou motorické symptomy. Mezi nejčastější takové příznaky patří celkové zpomalení pohybu, tremor, potíže s chůzí a rovnováhou, poruchy posturálního reflexu a pohybový multitasking. Tyto příznaky se v rámci progresu nemoci drasticky mění a v rámci raného stádia jsou těžko měřitelné a hodnotitelné. [32][33][34]

Jako první se ve většině případech výrazněji projeví precizní pohyby rukou, ty jdou identifikovat nejčastěji díky různým testům jemné motoriky, například dohledatelné

změně rukopisu. Dále malé změny v pohybu při chůzi, kde může být část svalů při chůzi méně využívaná a dochází k miniaturnímu kulhání, cukání, či třasu. To se ale dá jen velmi špatně diagnostikovat, jelikož je potřeba reference z doby bez podezření na onemocnění a také nejde jednoznačně identifikovat jejich odůvodnění. Celkově jsou tyto příznaky také v raném stádiu téměř nezjistitelné a stávají se hlavními až v pokročilé a konečné fázi nemoci. [31]...[34]



Obrázek 2.2 Porovnání rukopisu (text: Tramvaj dnes už nepojede.) zdravého pacienta (nahore) a pacienta s PD (dole) [31]

Pro diagnostiku motorických symptomů v raném stádiu byly kvůli tomu vyvinuty diagnostické testy, jež kombinují více pohybových aktivit zároveň a na první pohled neprojevující se příznaky tak mají větší dopad. Testy jsou koncipovány přímo na hodnocení jednotlivých příznaků jako rovnováha, držení těla, chůzi a obecné prostorové pohyby. [32][33]

2.3 VR jako nástroj pro diagnostiku a rehabilitaci Parkinsonovi choroby

Primární trend pilotních studií zabývajících se potenciálem vlivu terapie využívající VR aplikace se datuje už cca do roku 2015-2016, kde jich nezávisle na sobě znatelné množství posuzovalo jako přinejmenším stejně efektivní alternativou klasických rehabilitačních metod PD. Tato tvrzení vyvolala pochyby a požadavky na přesnější analýzy a důkazy. [35]...[41]

Jako reakce od té doby vzniklo nespočet studií zabývajících se tímto porovnáním a současně také velké množství analytických studií porovnávajících výsledky VR terapií. Tyto studie ukazují, že se v oblasti rehabilitace, téměř ve všech stádiích PD, použití striktně VR rehabilitace v mnoha parametrech stavového posuzování minimálně

vyrovnává tradičním metodám. Při korektní kombinaci klasické rehabilitace a VR rehabilitace, ve většině testovacích výsledcích, použití pouze tradičních metod překonává, v některých dokonce o mnoho. Konkrétně například TUGT (“timed up-and-go test”, test posuzující mobilitu člověka při vstání ze židle a ujití definované vzdálenosti), FGA (“Functional Gait Assessment”, test posuzující posturální stabilitu při různých aktivitách zahrnujících chůzi) a BSS (“bent spine syndrome” neboli camptocormia, syndrom abnormální torakolumbální spinální flexe), jakožto motoricky-kognitivní testy zaměřující se na balanci a chůzi, obecně vykazují o několik procent lepší výsledky při porovnání po asi 10-15 týdnů rehabilitace, a to obojí v raném i pokročilém stádiu nemoci. Kratší rehabilitační etapy se pro projev efektů VR ukazují nedostatečné. [35]...[41]

VR rehabilitace je tedy už v dnešní době přinejmenším validní alternativou tradiční léčby a její použití se doporučuje u všech pacientů, kde tradiční rehabilitace nepřináší dostatečné výsledky v oblasti chůze, rovnováhy a při požadavku na vylepšení kvality života. Ve velmi pokročilém stádiu by VR aplikace měli být hlavní pomůckou pro trénink komplexnějších motorických schopností vyžadujících více aktivit najednou. VR totiž tyto aktivity zvládne jednoduše rozdělit a zároveň vyrušit nežádoucí okolní vlivy. Některé studie dokonce tvrdí, že pro dosažení maximální efektivity rehabilitace, by součástí každého programu mělo být i použití VR, a to dle specifických potřeb pacienta. [35]...[41]

Testované aplikace ovšem často obsahují také limitace a nedokonalosti. Mezi ty patří zejména nepřizpůsobivost aplikace, kdy je navrženo pouze **jedno cvičení nebo aktivita, což má za následek u pacientů v pokročilejším stádiu nemoci kognitivní přehlcení**, v nejhorším případě až úplné zamrznutí pacienta. Při vývoji současně musí být kladen velký vliv na minimalizaci vzniku VR nemoci, nebo nevolnosti způsobené VR. Pacienti s PD jsou totiž na tyto potíže v rámci progresu nemoci čím dál tím více náchylní, a tak standardní optimalizace mnohdy nestačí. Nedostatkem také bývá komplexnost VR hardwaru a nedostatečné vyhodnocení v rámci aplikace. Většina studií testuje vliv klasickými metodami a analýza dat přímo z VR je vzácná a její validita neprokázaná. Velkým požadavkem je, kvůli nutné univerzalitě pro možnost hromadnějšího uplatnění, možnost domácího použití. [35]...[41]

Na základě těchto zjištění bude navržena aplikace zaplňující výše uvedené mezery objevené při testování v daných studiích. Systém Oculus Quest 2, viz. kapitola Hardware pro VR, byl vyhodnocen jako nejjednodušší dostupný systém pro ordinární použití. Dosahuje také potřebnou univerzalitu a lze jej jednoduše implementovat pro domácí použití. Výsledná aplikace by měla mít možnost lepšího přizpůsobení chodu aplikace a požadavků na pacienta, nejlépe s možností přímé konfigurace před spuštěním cvičení. Celá aplikace pak musí být nakonfigurována s vysokou obezřetností na nevolnost z VR s ohledem na pacienty s PD. Součástí aplikace bude také sběr dat z VR headsetu za účelem případné analýzy. [35]...[41]

3. VÝVOJ APLIKACÍ PRO VR

3.1 Vývojové prostředí

Vývojové prostředí (IDE) je software usnadňující práci vývojářů. Přesněji se jedná o program umožňující tvorbu, ladění, případně testování vlastního programu za pomoci uživatelsky přívětivého prostředí a usnadňující tak práci programátora. [42]

Za jednotlivými segmenty vývojového prostředí je implementován zdrojový kód dané funkce (kompilátor), který je vývojovým prostředím definován a uživatel si jej při práci může upravit (editor zdrojového kódu). IDE mohou být podle použití a cílové skupiny uživatelů pouze prakticky vylepšené textové editory, umožňující použití výhradně programátorům se znalostí daného programovacího jazyka, nebo v opačném případě grafická rozhraní umožňující vývoj i zcela bez nutnosti manuálního programování. V případě vývojového prostředí pro aplikaci na bázi virtuální reality se jedná o tzv. herní engine. [42]

3.2 Grafický herní engine

Herní engine (specializované softwarové vývojové prostředí), nebo grafický engine, je softwarové vývojové prostředí, jež nabízí sadu nástrojů a funkcí umožňujících vývojářům rychlejší, efektivnější a méně nákladný vývoj her a jiných grafických aplikací na různé platformy. Těmito platformami může být počítač, mobilní telefon, webová aplikace, nebo virtuální realita. [44][45]

Herní enginey zároveň umožňují v jednom vývojovém prostředí spojit všechny elementární části aplikace a simulovat tak chod aplikace v reálném čase, nebo ji vyexportovat do spustitelného hotového produktu. Enginey se většinou vytváří a používají pro specifický druh aplikace. Čím více je aplikace specifikována, tím efektivnější, díky většímu přizpůsobení nástrojů a funkcí, engine je. Proto je při vývoji VR aplikací ideální využít herní engine, který svým SDK přímo podporuje vývoj VR aplikací. V současné době mezi nejpoužívanější a nejvyvinutější herní enginey pro vývoj VR aplikací patří Unity a Unreal engine. [43]...[46]

3.2.1 Unreal engine 4

Jedná se o čtvrtou generaci herního engineu Unreal (UE4) od společnosti Epic games, je určena pro mnoho platform, mezi které patří Microsoft Windows, MacOS, Linux, SteamOS, HTML5, iOS, Android, Nintendo Switch, PlayStation 4/5, Xbox One/X, Magic Leap One a virtuální realitu (Oculus, SteamVR, PlayStation VR, Google Daydream, Razer OSVR, Samsung Gear VR, HTC). [46]

Nejnovější současná dostupná verze je 4.27.1. V rámci vývoje je také Unreal engine 5. generace, který je veřejně volně dostupný jako prototyp. Nová generace engineu nabízí spousty nových funkcí a vylepšení, je ovšem stále v beta verzi, obsahuje velké množství

chyb a neúplnou podporu. Unreal Engine byl poprvé představen již v roce 1998 a primárně sloužil na vývoj bojových her z první osoby. Od té doby se jeho pole působnosti rozšířilo na všechny žánry PC, mobilních, konzolových i VR her. Jeho použití také zahrnuje například aplikace s podnikatelským, zdravotním, nebo stavebním zaměřením, případně při tvorbě filmových snímků. [47]

UE4 nabízí skriptování zejména v programovacím jazyce C++, alternativně použitím vývojových bloků blueprints. Při nekomerční tvorbě je použití enginu zcela zdarma. [46][47]

3.2.2 Unity

Unity neboli Unity3D, od společnosti Unity Technologies, je grafický herní engine, který se od svého představení v roce 2005 stal jedním z nejpoužívanější herních enginů současnosti. Poskytuje vývoj na 28 platform, zahrnujících všechny platformy podporované Unreal enginem 4. generace. [46]

Unity podporuje skriptování zejména v jazyce C# a v upravené verzi JavaScriptu (UnityScript). Populární je hlavně u menších projektů a nejdominantnější je v oblasti mobilních a VR aplikací. Díky vzrůstající popularitě Unity ve vývoji VR aplikací nabízí úplnou podporu nejpobulárnějších systémů pro virtuální a rozšířenou realitu a rozsáhlou komunitu uživatelů. Jelikož kromě vestavěných assetů Unity nabízí také možnost tvorby a importu vlastních nástrojů, poskytuje aktivní komunita při vývoji značnou výhodu. [48][49]

Unity nabízí licenci pro individuální uživatele, s podmínkou dotace projektu nižší než \$100 000 ročně, zcela zdarma, případně nabízí také možnost vylepšené verze zdarma pro studenty nad 16 let. [46][48][49]

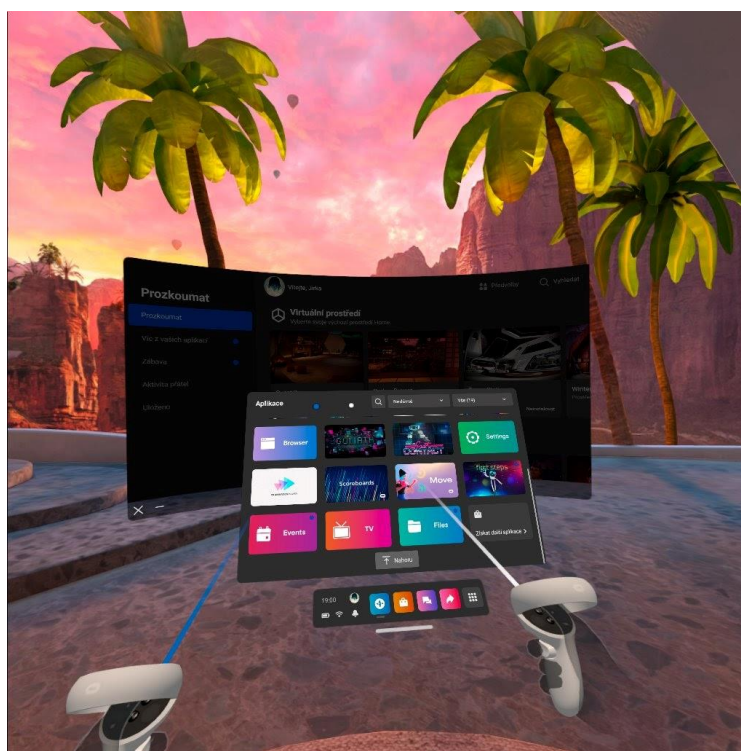
3.3 Aplikace pro Oculus Quest 2

Oculus Quest 2, viz kapitola hardware výše, je druhou generací standalone HMD. Součástí je kromě samotného headsetu také sada dvou ručních ovladačů. Headset je také vybaven sadou reproduktorů a konektorem s možností připojení technologií Oculus Link k počítači. Díky tomu nabízí tento systém dva základní módy použití, standalone (bez připojení k počítači, fungující z integrovaného systému v headsetu) a PCVR (s neustálým připojením k PC, na kterém je aplikace spuštěná a headset je použit pouze jako zobrazovací jednotka). Výpočetní výkon headsetu při standalone použití zajišťuje procesor Qualcomm Snapdragon XR2, od čehož se poté vyvíjí také softwarová podpora (Android 10). Headset je také vybaven několika kamerami, které umožňují funkci dynamického sledování pohybu rukou s možností integrace této funkce do aplikací, skenování a sledování okolního prostoru pro signalizaci překážek při pohybu ve VR aplikaci a také možnost integrace tohoto záznamu okolí přímo ve VR prostředí. [50]

Pro distribuci vyvinuté aplikace na oficiálním Oculus obchodu s aplikacemi je potřeba splňovat minimální požadavky definované pokyny pro vývoj aplikací od společnosti

Oculus. Mezi definované parametry patří funkcionalita, audio, výkon/plynulost, packaging (struktura vyexportované aplikace), zabezpečení, tracking (sledování pohybu rukou nebo ovladačů), vstupní proměnné, aktiva, dostupnost, sdílení záznamu z aplikace a zásady ochrany osobních údajů. [50][51]

Pro usnadnění vývoje poskytuje Oculus také best practices (osvědčené metody a postupy) obecně a také přímo pro jednotlivé enginey. Například z hlediska komprimace je doporučena maximální velikost spustitelných apk souborů na méně než 1Gb (ideálně méně než 100 mb) s tím, že maximální velikost dalších datových souborů jakéhokoliv formátu jsou 4 Gb. Vývoj aplikací, z hlediska herního engineu, umožňuje díky dostupnému SDK použití jak Unity, tak také UE4. [50][52]



Obrázek 3.1 Výchozí aplikační prostředí Oculus Quest 2 s otevřeným menu a aplikací Prozkoumat

3.3.1 ADB

ADB (Android Debug Bridge) je programový nástroj určený ke komunikaci Androidových zařízení s jiným zařízením. [54]

Propojení těchto zařízení může být drátové (USB) nebo bezdrátové (TCP). Při přímé manipulaci s daty HMD je tedy vždy nutná přítomnost ADB, případně nějaké podobné alternativy (prakticky je to ovšem v naprosté většině případů ADB). K použití ADB (Oculus Quest 2 má operační systém na bázi Androidu, viz kapitoly výše) při připojení HMD k PC je potřeba nainstalovat správnou aktuální verzi ovladačů od firmy Oculus a případně při vývoji aplikace použítý engine odkázat právě na tyto ovladače. Bez

unifikovaného použití stejných ovladačů je velmi pravděpodobné, že bude výsledný build aplikace nefunkční, například z toho důvodu, že ovladače od Oculus nedodržují unifikované názvy používané na jiných platformách, a tak se zdají být z pohledu enginu rozdílné, bez ohledu na rozdíly v jejich obsahu. [53][54]

Principiálně funguje ADB na bázi příkazů zapsaných do příkazového řádku. Prakticky je ale většinou potřeba ADB pouze správně nainstalovat a jeho ovládání je součástí vývojových programů, například v enginu, nebo samostatné aplikaci pro vývoj aplikací na danou platformu, viz Oculus Developer Hub. [54]

3.3.2 Oculus Developer Hub

Oculus Developer Hub je počítačová aplikace od firmy Oculus k manipulaci a analýze programů vývojáři pro všechny platformy Oculus VR. [55]

Připojení HMD k PC je oficiálně nutné realizovat přes Oculus Developer Hub, jiné připojení může HMD považovat za ilegální a automaticky takové spojení zakáže. Proto je například při využití vlastních senzorů v aplikaci nutné posílat data nejdříve na server do počítače a až odtud přes Oculus Link a Oculus Developer Hub do headsetu, viz kapitola Hardware výše. [55][56][57]

Připojení a synchronizace jednotlivých VR headsetů umožňuje automatickou správu komunikace mezi PC a HMD a zobrazuje dostupné vlastnosti jako například stav baterie všech komponent, stav připojení k PC, počet, verzi, velikost a název všech vyvinutých a nahraných aplikací z PC na HMD, nastavení dostupných funkcí jako OVR (aplikace pro zobrazení metrik HMD jako aktuální snímkovací frekvence, teplota, zatížení GPU a CPU apod.), vysílání nebo ukládání záznamu z VR, atd. Developer Hub dále nabízí prostředí pro analýzu a vylepšení systému správy souborů aplikací, prostředí na analýzu potřebného výkonu při spuštění aplikaci a statistiky všech měřených parametrů CPU, GPU, plynulosti záznamu, časování, paměti a stavu zařízení. Součástí aplikace je také obchod s nástroji, aplikacemi, SDK a dalšími balíčky pro vývoj aplikace, uživatelské fórum a prostředí pro vydání aplikace do oficiálního obchodu, případně na jiné platformy. [55][56][57]

3.4 Normy a standardy pro vývoj VR aplikací

S nástupem virtuální reality kromě výhod přichází i obtíže v podobě tzv. VR nemoci, viz kapitoly výše. Z praktického hlediska to pro tvůrce znamená dodržování nějakých stanovených doporučení, jež by aplikaci pro tuto platformu měla splňovat. [52]

Jelikož je virtuální realita ještě relativně nová, stává se občas, že jsou uveřejněny aplikace s negativním zdravotním dopadem na uživatele. Z doporučení se proto v některých případech stávají normy, pro dodržení standardů VR aplikací. Kromě nich také spousta nezávislých zkušených programátorů a vědeckých autorů píše osvědčené postupy pro maximální možný zážitek a minimální možné ohrožení potencionálních uživatelů. Ty nejdůležitější parametry pro dodržování předcházení VR nemoci bývají enginem (Unity,

UE4) omezeny na bezpečné hodnoty nastavení. Mezi nejpodstatnější typy a postupy patří: [52][58]...[61]

- Velikost zorného pole (FOV) u kamer určených pro uživatele přepisovat maximální do rozmezí 5 % proti výchozímu nastavení.
- Aplikaci přizpůsobit tak, aby frekvence snímků aplikace (FPS) nedosahovala nižších hodnot, než je obnovovací frekvence displeje na zařízení uživatele. Často se u VR aplikací grafické efekty dělají svým způsobem nekorektně, pouze částečně anebo se vytváří pouze dojem přítomnosti efektů, aby se kladl co nejmenší nápor na grafický a výpočetní výkon zařízení. Kromě efektů se to samozřejmě týká také detailnosti a propracovanosti objektů a levelů (aplikací definovaná oblast nebo prostor, kde jsou umístěné objekty s odpovídajícími atributy). Pro Oculus Quest 2 je možné obnovovací frekvenci monitorů nastavit na hodnoty 72, 80, 90 a 120 Hz (120 Hz je maximální parametr displejů headsetu a lze jej nastavit pouze v experimentálním režimu, kvůli neúplně podpoře dostupných aplikací). Mezi hlavní doporučení pro plynulý výkon aplikace se řadí:
 - Nepoužívat dynamické světelné efekty a stíny.
 - Minimalizovat použití průhledných materiálů.
 - Pro aplikace na více systémů pro všechny objekty vytvářet LOD modely (level of detail – modely s různou kvantizací detailů pro přizpůsobení výkonu).
 - Minimalizovat množství a náročnost použitých materiálů na jeden objekt.
 - Minimalizovat geometrickou náročnost objektů.
- Pro typické uživatele minimalizovat umělé efekty pohybu na kamery určené pro uživatele. Pro zdravotní účely se doporučuje tyto efekty odbourat úplně a umožnit pohyb pouze reálným pohybem pacienta, nebo teleportací kamer ve virtuálním prostředí (některé aplikace využívají “okamžitou” teleportaci, jiné využívají časového prodloužení se zakrytím pole kamer před načtením další scény).
- Minimalizace či úplné odbourání screen space efektů, například SSR (Screen Space Reflections – efekt odrazu, například při simulaci vody, lesklých objektů apod.). U VR tyto efekty mají velký dopad na výkon a také způsobují zmatení a točení hlavy.
- Nastavení view distance (vzdálenost, na kterou se objekty v levelu uživateli objevují) na minimální možnou hodnotu pro dodržení funkcionality a estetiky aplikace. Pokud je to možné, minimalizovat velikost levelu a načíst jej od začátku celý.

Testování a ladění aplikace lze provádět několika základními metodami. Přes připojení Oculus link lze využít ADB (Android Debug Bridge) a vysílat tak obraz z VR do PC. Ten je možné manuálně přehrát a analyzovat, nebo využít nějaký Android nebo nativní debugger (softwarový nástroj pro detekci a lokalizaci chyb, nedostatků a graficky náročných elementů pro potřebu optimalizace). Při optimalizaci aplikací na Quest 2, Oculus nabízí grafický debugger RenderDoc for Oculus. Pomocí nástroje této aplikace (Performance Counter Viewer) lze sledovat počet, náročnost a přesné hodnoty instrukcí renderovaných objektů. [62]...[65]

4. NÁVRH APLIKACE

4.1 State-of-art ve VR aplikacích pro pacienty s PD

Jak je již zmíněno v kapitolách výše, viz “Motorické symptomy Parkinsonovy choroby pro VR aplikace” a “VR jako nástroj pro diagnostiku a rehabilitaci Parkinsonovi choroby”, naprostá většina vyvinutých a testovaných VR aplikací pro pacienty s PD je zaměřena na rehabilitaci a představuje tak alternativu k tradičním rehabilitačním metodám. Aplikace ale, kvůli úzkému využití, bývají silně funkcionálně omezené a často přizpůsobené pouze obecně pro pacienty s PD, bez ohledu na stádium nemoci. [66]...[79]

Spousty studií také využívají k rehabilitaci VR aplikace, jejichž záměrem není pouze použití pacienty s PD. Příkladem toho je například systém Nintendo Wii, který byl v mnoha studiích využit v podobě různých sportovních a pohybových aplikací (např. tenis, fotbal atd.). Co se týče HMD podoby VR, bývají často využity volně dostupné aplikace, v rámci kterých je pacientovi stanoven způsob a délka použití. Například v aplikaci umožňující plavbu a pádlování ve člunu byl pacient instruován ujet část trasy řeky a u toho správně používat ruce a horní část těla k pádlování a zároveň udržovat rovnováhu, aby nespadol do vody. Výhodou použití volně dostupných aplikací je jejich množství a škála. Pacient tak může zároveň s rehabilitací dělat co ho baví, což má pozitivní vliv na kvalitu života a další kognitivní aspekty PD. Očividnou nevýhodou je ale fakt, že při vývoji těchto aplikací většinou nebyl vzat v potaz použití pacienty s PD, kvůli čemuž se snadno může stát, že je rehabilitace méně efektivní a u pacientů se může projevit nemoc s VR. Použití v rámci rehabilitace by proto mělo být přesně stanoveno lékařem, který se orientuje v možnostech dané aplikace a zároveň by mělo být pouze jako část z celku terapeutických cvičení. [66][67][69][72][73][75][76]

Z VR aplikací pro pacienty s PD některé nabízí i částečné diagnostické využití. Toho bývá ale dosaženo nepříjemným kompromisem ve využitelnosti. Takové aplikace bývají technicky velmi náročné na konfiguraci a použití. Například systémy s body trackingem HTC Vive umožňují využití a analýzu pohybu celého těla. Provoz takového systému, ale vykazuje nevýhodu již ve stádiu kontrolovaného pilotního testování studie a zároveň bývají výsledky nedostatečně efektivní, aby bylo navrženo masové použití takových systémů. Existují i varianty využívající jednodušší hardware přesně přizpůsobený pro potřeby aplikace. Například systém 10Cubes pro trackování precizních pohybů rukou a prstů, nebo různé systémy balančních desek pro trénink rovnováhy při pohybu virtuálním prostředím. Taková řešení vykazují dostatečnou efektivitu pro jejich použití a představují zajímavou alternativu, jejich využití je ale velmi specifické a zaměřuje se vždy pouze na malou část terapie a diagnostiky. [70][71][74][77][78][79]

Využívány bývají také často aplikace vystavující pacienty potenciálně nebezpečným situacím. Zde představuje VR nespornou diagnostickou a terapeutickou výhodu v podobě bezpečné simulace daných činností, které by fyzicky přinášeli výpovědní hodnotu, nebo

by měli pozitivní vliv na některé z příznaků PD a zároveň, jejichž využití není prakticky proveditelné, nebo je příliš nebezpečné. Příkladem takových instancí je třeba studie, v níž pacienty s PD ve VR aplikaci vystavovali kromě jiného také pádu se schodů nebo například aplikace, kdy byl pacient umístěn do husté mlhy a byl instruován dostat se z ní pryč, což bylo pro pacienty náročné například na orientaci, rovnováhu a pohyb. U podobných aktivit je ale při opakovaném použití reakce na situaci výrazně ovlivněna předchozím použitím, a tak mnohdy bez neustálé přítomnosti proměnných přestává dávat smysl. [72][74][79]

4.2 Funkcionalita aplikace

Na základě analýzy funkcionality existujících VR aplikací, použitých pacienty s PD, spojené s výsledky, s nimi souvisejícími nedostatky a naopak také výhodami, s uvážením zdravotních implikací spojených s použitím VR u pacientů s neurodegenerativním onemocněním a pacientů s PD a také s uvážením výsledků analýzy zdravotních vědeckých studií popisujících výsledky existujících VR aplikací pro pacienty s PD v souvislosti s terapií, případnou diagnózou a sledováním stavu pacienta, viz kapitoly výše, byla navržena VR aplikace sestávající se s těchto funkčních bloků:

- **Nastavení systému, zapnutí aplikace** – Prvotní použití aplikace pacientem s PD musí být vždy za přímého dozoru a pod dohledem příslušného lékaře, zdravotního pracovníka, nebo odpovědnou osobou určeného asistenta se znalostí jednotlivých prvků aplikace, možných komplikací při použití VR a s posudkem stavu pacienta, jenž má poprvé aplikaci použít. Tato osoba pacienta nejdříve poučí o správném použití VR systému a této aplikace a zároveň jej upozorní na možné nežádoucí efekty (Například pokud pacient začne pociťovat točení hlavy nebo nevolnost, měl by na to okamžitě upozornit a HMD, minimálně do doby kompletní stabilizace jeho stavu, přestat používat). Příslušná osoba nejdříve celý systém Oculus Quest 2 zapne a nastaví – po zapnutí je potřeba v místnosti nastavit bezpečnou zónu pohybu, pokud již není nastaveno z předchozího použití ve stejné místnosti, nebo zvolit stacionární místo, ze kterého bude pacient aplikaci používat. Poté daná osoba zapne VR aplikaci a ujistí se, že se aplikace do HMD načítla v pořádku. Následně na základě fyzických vlastností pacienta přizpůsobí nastavení náhlavníku headsetu a upraví IPD na nastavení nejvíce přibližující se reálné vzdálenosti středů zornic pacienta. Poté již může pomoci pacientovi nasadit HMD a případně předá ovladače.
- **Adaptační prostředí aplikace** – Při zapnutí aplikace se uživatel nachází v prostředí určeném k adaptaci uživatele na virtuální realitu. To slouží k tomu, aby si pacient mohl nejdříve plynule zvyknout na to, jak vizuálně virtuální prostředí na uživatele působí a jak prakticky funguje pohyb, ovládání a interakce s aplikací. Scéna tohoto levelu nabízí realistické elementy,

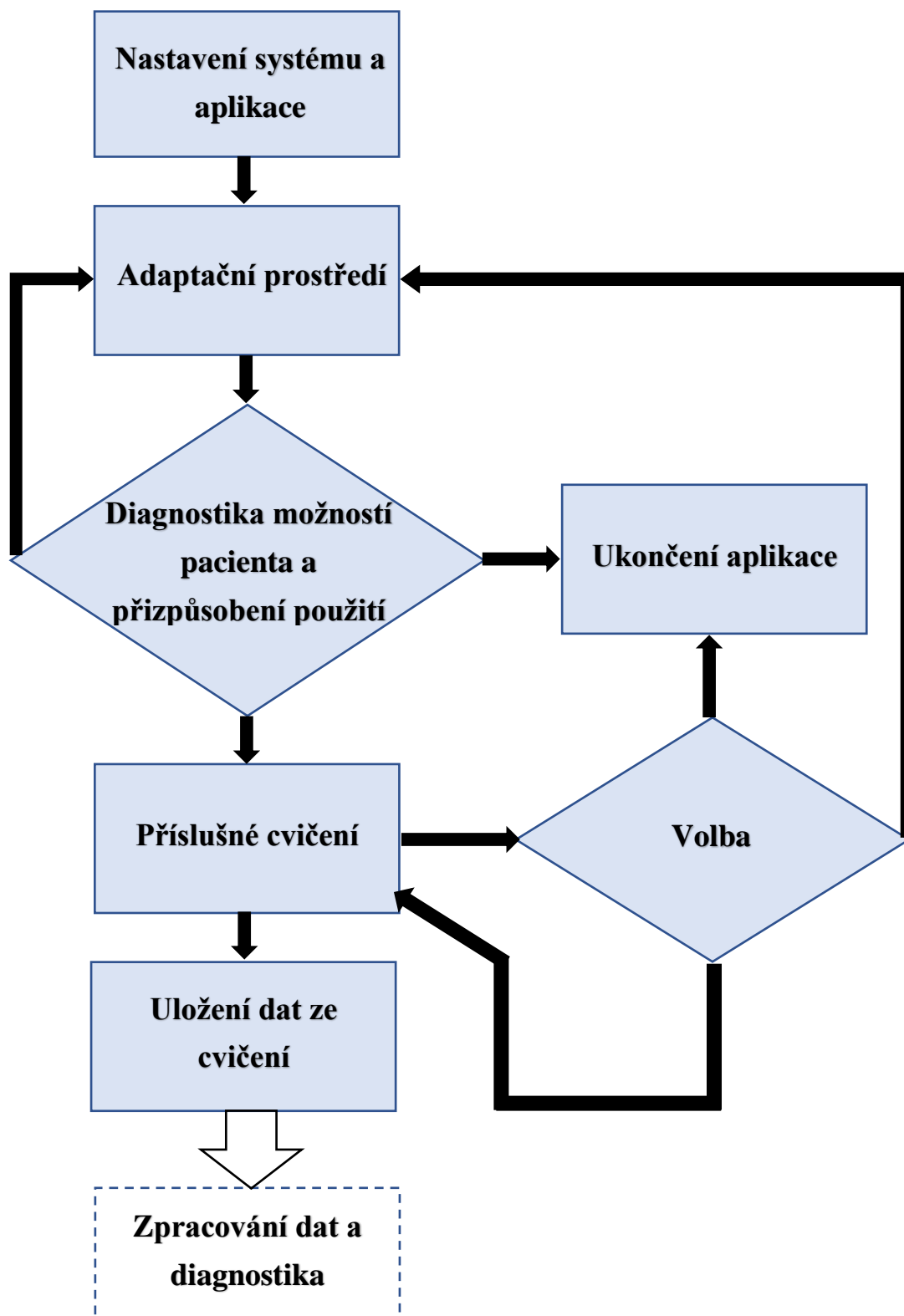
umožňující porovnání reálného a virtuálního světa pacientem, a také mírně nerealistické elementy, aby si pacient zvykl na jejich možnou přítomnost v aplikaci. Prostředí také umožňuje částečnou interakci. Obsahuje objekty, které pacient může přes ovladače uchopit a vyzkoušet si fundamentální funkcionalitu potřebnou pro plnění jednotlivých cvičení. Toto prostředí při opakovaném použití aplikace také slouží jako bezpečné místo a základna pro pacienta, kam se bude mezi jednotlivými cvičeními vracet a kde má jistotu, že není žádným způsobem testován, nebo diagnostikován. Do budoucího vývoje by tento level mohl být uživatelem přizpůsobený v podobě výběru scény, která pro něj bude nejpříjemnější.

- **Diagnostika stavu a schopností pacienta** – Zejména při prvotním použití aplikace pacientem je důležité, aby si nejdříve byla odpovědná osoba vědoma stavu pacienta s PD a fáze nemoci. Na základě pacientových příznaků a jejich intenzity pak může daná osoba určit, zda je schopen dané cvičení absolvovat a zda je to pro něj bezpečná, případně potencionálně motivující činnost. Zároveň také osoba pomocí sledování interakce pacienta s VR (fyzicky, s možností sledování také přes vysílání obrazu z HMD do aplikace na chytrém telefonu) určí, zda je potřeba většího přizpůsobení, nebo je pacient připraven na některé z cvičení anebo jiné použití virtuální reality.
- **Cvičení** – Aplikace nabízí sadu několika různých cvičení nabízejících konstantní funkci diagnostiky a terapie s možností ukládání a zpracování dat, s proměnnou aktivitou. Aktivity jednotlivých cvičení jsou zaměřeny na různé příznaky PD, proto je důležité před každým cvičením diagnostika schopností daného pacienta. Z adaptačního prostředí aplikace se pomocí menu pacient dále může přesunout na určené cvičení. Jednotlivá cvičení je pro jejich efektivitu a co největší užitek z použití nutné navrhnout ve spolupráci s odbornou osobou se zkušeností s praktickou diagnostikou a terapií pacientů s PD. V rámci této práce jsou navržena tato cvičení:
 - **Sledování čáry** – V prostředí aplikace se uživateli zobrazí jedna z předem definovaných dvojrozměrných křivek určité tloušťky. Uživateli je poté přidělen dutý kruhový předmět s průměrem od středu větším než tloušťka zobrazení křivky. Uživatel je následně instruován tento kruh provléknou celou délkou křivky, zleva doprava, aniž by se jakýmkoliv bodem tento kruh křivky dotknul. Na základě doporučení odborníka může být průměr kruhu proměnný, tak aby se dal nastavit a výslednou referenční hodnotou by byla velikost kruhu, při které by pacient byl schopen křivku provléct bez dotyku, nebo by mohl být kruh konstantní a referenční hodnotou by byl počet dotyků kruhu a křivky.
 - **Obkreslení tvaru** – V prostředí by se uživateli zobrazil jednoduchý dvojrozměrný tvar, například kruh nebo čtverec. Uživatel by jej za

pomoci jednoho z ovladačů pak měl za úkol obkreslit / napodobit. Referenčním ukazatelem by byla přesnost nakresleného tvaru oproti zadání. Tento test je založen na používaném diagnostickém testu, při kterém pacient pohybuje rukou po obvodu pomyslné kružnice.

- **Průchod s regály** – V prostředí je před uživatelem relativně úzký průchod (maximálně 2 metry při poměru 1:1), kde na každé straně je regál s různými volně umístěnými asi deseti předměty (jako nákupní ulička v supermarketu). Uživatel je instruován uličku pomalu projít, nezastavovat se a zároveň pomocí ovladačů všechny předměty z regálů shodit na zem. Toto cvičení je stejně jako předchozí inspirováno jedním z UPDRS škály, konkrétně testy 3.10 a 3.11, které schopnost chůze spojenou s dalšími nezávislými pohyby.
- **Data ze cvičení** – V průběhu každého cvičení bude výběr dat s výpovědní hodnotou relativní k danému cvičení, nebo všechny dostupná data, ukládány do programových datových souborů. Kromě okamžité analýzy budou tedy k dispozici také soubory s daty jednotlivých senzorů (například data o pohybu ovladačů – pozici každého ovladače závislou na čase). K dispozici, pokud je před cvičením nastaveno, může být také nahrávka zaznamenaného obrazu z HMD.

4.3 Blokové schéma aplikace



Obrázek 4.1 Blokové schéma aplikace

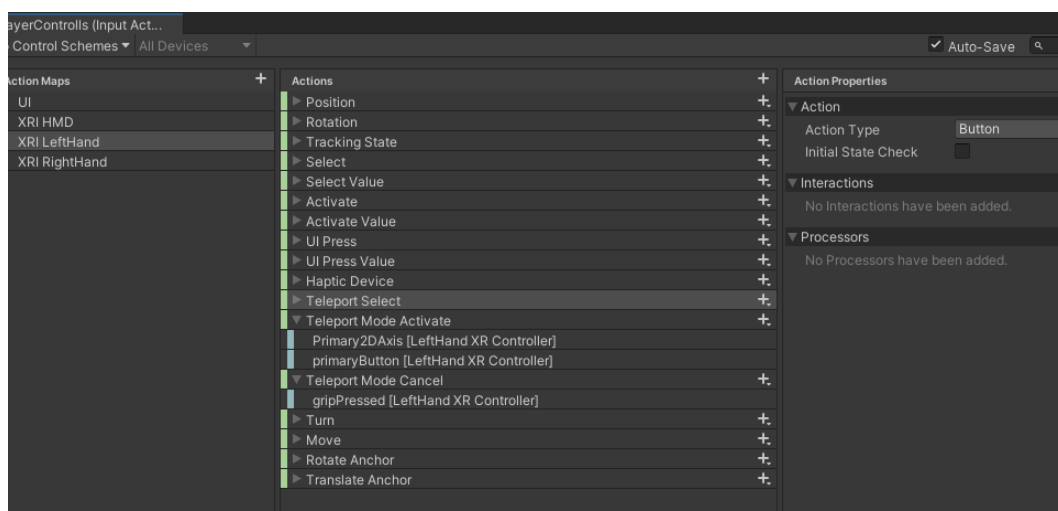
5. IMPLEMENTACE

Na základě návrhu aplikace, viz kapitola „Návrh aplikace“ výše, byla provedena její implementace, jež je tématem této kapitoly. K realizaci byl použit výše zmíněný grafický herní engine Unity s užitím programovacího jazyka C#.

V první fázi implementace byl vytvořen nový prázdný 3D projekt. Unity nabízí také možnost vytvoření projektu ze šablony pro VR aplikace, ta je ovšem značně omezena a při vývoji se již v první fázi objevily potíže s podporou uživatelsky vytvořených funkcí na tlačítka Oculus Quest 2 ovladačů (fyzické periferie) a také několik chyb ovlivňujících nastavení duplikátního použití jednotlivých objektů navázaných na jednu část zařízení, viz kapitola „Interakce s objekty“ dále. Použití této šablony je bez problémů možné, ale vzhledem ke komplikacím již v raném stádiu vývoje tato možnost zvolena nebyla. Pro potřeby vykreslování, související s jednoduchostí, univerzálností, mírou nastavitelnosti a požadavcích na výkon, byl ihned po vytvoření 3D projekt povýšen na projekt URP (Universal render pipeline – jedna ze tří, a zároveň nejpoužívanější, z možností základních nastavení vykreslování, v současné době již vestavěný v základní verzi Unity). Do projektu byly dále vloženy základní potřebné pluginy a SDK nutné pro konfiguraci systému v unity, viz kapitola „Využití pluginů a SDK“ níže. Následně byla provedena konfigurace pluginů pro vývoj XR aplikací, kde bylo pro desktopový pohled zvoleno přednastavení pluginu OpenXR s nastavením ovladačů na Oculus Touch. V rámci stejné konfigurace, tentokrát z pohledu android aplikace, byla zvolena možnost konfigurace systému Oculus, konkrétně pro cílové zařízení Oculus Quest 2. V této fázi by mohla být aplikace zpětně upravena pro kompatibilitu s dalšími z rozšířených systémů VR, například Oculus Rift, HTC Vive apod.

V druhé fázi implementace byla v aplikaci ODH provedena konfigurace zařízení a nastavení ADB, viz kapitola „ADB“ a „Oculus Development Hub“ výše.

V třetí fázi implementace byly nakonfigurovány oba ovladače a byly jim přiřazeny vazby mezi jednotlivými fyzickými tlačítky a jejich programovými ekvivalenty funkcionalit z pluginu OpenXR. V rámci vazeb byly současně přidány nové funkce pro následné využití při podpoře pohybu v aplikaci, viz. kapitola „Pohyb“ níže.



Obrázek 5.1 Obrázek nastavení vazeb fyzických a softwarových tlačítek

Poté byla vytvořena nová scéna, obsahující základní nastavení XR Rigu (v unity je takto nazýván uživatel systému virtuální reality – je to objekt jehož součástí jsou všechny fyzické komponenty systému a jejich konfigurace). Do scény byl přidán výchozí XR Rig, kterému byly přiřazeny vazby. XR Rig byl dále nakonfigurován pro duplicitní použití levého ovladače. V prvním objektu byl vytvořen obloukový paprskový ukazatel pro potřeby teleportace, který byl nastaven na neaktivní. V druhém objektu tohoto ovladače byl vytvořen interakční přímý collider (neviditelný objekt určité velikosti bez fyzických vlastností, při kontaktu jakéhokoliv jiného objektu, u kterého je naprogramována nějaká interakce, je možné tuto interakci spustit). Následně bylo u pravého ovladače nakonfigurováno použití konstantně viditelného interakčního paprsku. Nastavení obou ovladačů je blíže vysvětleno v kapitole „Interakce s objekty“ níže.

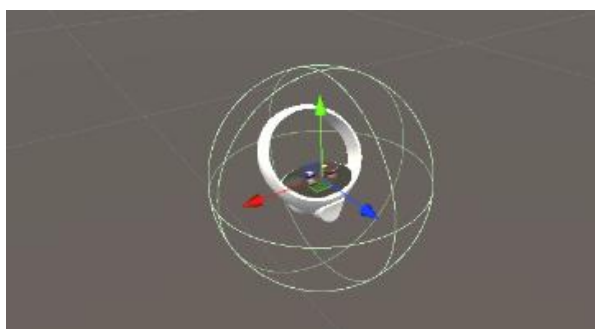
5.1 Interakce s objekty

Při programování aplikací pro virtuální realitu v prostředí Unity lze uživatelské interakce s objekty aplikace umožnit s použitím paprsku, nebo přímé interakce (kolize). Při použití paprsku se jednoduše aplikačnímu objektu představujícímu fyzický ovladač přiřadí interakční paprsek, kterým poté uživatel pohybem ovladače ukáže na daný objekt, se kterým chce zahájit interakci. Při kontaktu paprsku s objektem vznikne kolize, která samostatně, nebo po stisknutí tlačítka, zahájí interakci (například stisknutí tlačítka uživatelského rozhraní, uchopení předmětu apod.), viz obrázek paprsků níže.



Obrázek 5.1.2 Ukázka nakonfigurovaných interakčních paprsků u obou ovladačů

Při použití přímé interakce je fyzickému ovladači přidělen virtuální neviditelný objekt neboli collider, viz obrázek collideru níže. Při vzniku kolize tohoto objektu kolem ovladače s jiným objektem je opět samostatně, nebo po stisknutí tlačítka, zahájena interakce. Při použití přímé interakce je fyzickému ovladači přidělen virtuální neviditelný objekt neboli collider, viz obrázek collideru níže. Při vzniku kolize tohoto objektu kolem ovladače s jiným objektem je opět samostatně, nebo po stisknutí tlačítka, zahájena interakce.



Obrázek 5.3.2 Interakční collider u pravého ovladače.

Každému fyzickému ovladači je v Unity možné přiřadit libovolné množství programových ekvivalentů, ale u každého programového objektu ovladače je možné nakonfigurovat pouze jednu možnost interakce. Jak je již zmíněno v kapitole výše, při

implementaci byly na levý ovladač nakonfigurovány přímé interakce (pro uchopení předmětu) a zároveň také interakční paprsek, který je v základu neaktivní. Stav tohoto paprsku se změní na aktivní až po držení tlačítka Thumbstick (polohovací tlačítko ovladače Oculus Touch umožňující stisknutí a udání směru s citlivostí přibližně $0,5^\circ$) v horní poloze, více v kapitole „Pohyb“ níže. Na pravý ovladač byl nakonfigurován přímý interakční paprsek (pro uchopení předmětů a stisknutí tlačítek).

Pro srozumitelnější použití byly z oficiálního Oculus SDK staženy a programovým objektům přiřazeny modely levého a pravého ovladače. Pro rozlišení interakce byly vytvořeny skupiny objektů pro jednotlivé typy interakce (například pro teleportaci, úchop objektů, uživatelské rozhraní apod.)

5.2 Pohyb

Z hlediska pohybu se v prostředí VR aplikací rozlišují 3 základní typy. Pohyb reflektující fyzický pohyb uživatele (chůze), pohyb za použití ovladačů (například použitím výše zmíněného tlačítka Thumbstick, nebo přitažením se k různým objektům apod.) a pohyb teleportací. Nejpřirozenější a nejnütnější je přirozený pohyb reflektující fyzický pohyb uživatele. Ten je umožněn základní konfigurací a slouží jako primární pohyb v aplikaci, jelikož jakožto nejrealističtější pohyb způsobuje nejméně VR nemoci. Pohyb za použití ovladačů je naopak nejčastější příčina vzniku VR nemoci, a proto jeho implementace nepřipadá v úvahu. Uživatel totiž, aniž by fyzicky změnil svou polohu, v rámci aplikace vnímá, vůči ostatním objektům, scény pohyb, čímž vzniká konflikt mezi tím, co vidí a tím, co se ve skutečnosti tělu fyzicky děje. Fyzický pohyb je ale při použití aplikace v malém vymezeném prostoru limitující, proto byla také implementována metoda teleportace, viz obrázek ukazatele teleportace níže.

Jak bylo již zmíněno, u levého ovladače je v základu přítomný neaktivní obloukový paprsek. Při držení tlačítka Thumbstick v horní poloze (0° s přesností $\pm 10^\circ$) se změní stav paprsku na aktivní a paprsek se zobrazí. Zároveň se na místě, kam bude uživatel teleportován, zobrazí kruhový ukazatel. Když uživatel tlačítko pustí, nebo jej vrátí do původní polohy, je na poslední místo, na něž ukazoval, vzápětí přemístěn. Interakce byla takto navrhována, jelikož je většinou pro pacienty s Parkinsonovou chorobou jednodušší samostatný pohyb palcem než jinými prsty, zároveň je již ukazovák nebo prostředník použit při úchopu předmětů v aplikaci, a také vzniká menší pravděpodobnost, že se teleportuje nechtěně. Pokud by ovšem teleportaci aktivoval nechtěně, je zde možnost teleportaci zrušit stisknutím téhož tlačítka Thumbstick. Poté se paprsek zneviditelní a je opět neaktivní.



Obrázek 5.2.4 Ukazatel místa, kam bude uživatel teleportován.

Pro otáčení pohledu vodorovně byla navíc na tlačítko Thumbstick u pravého ovladače přidána funkce otáčení. Tato funkcionalita je ovšem pouze pro případ nutnosti a nedoporučuje se příliš často používat, přestože s rychlostí asi 5° za sekundu by žádnou nevolnost způsobovat neměla (jedná se asi o čtvrtinu z maximální doporučené hodnoty).

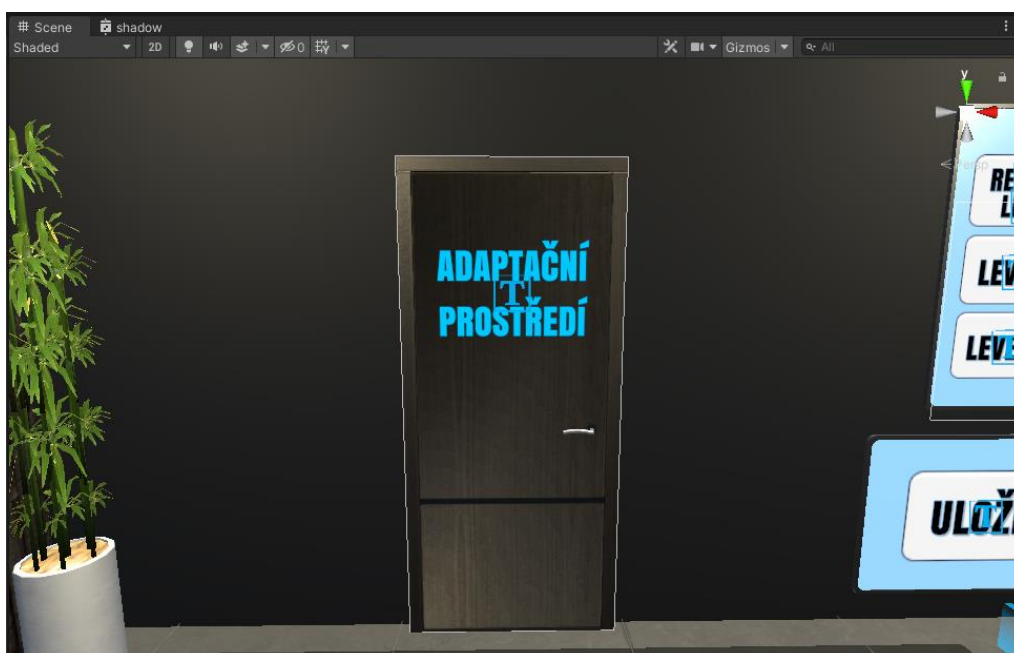
5.3 Uživatelské rozhraní

Podle návrhu aplikace musí být uživateli umožněno přepínání mezi jednotlivými scénami a vypnutí aplikace. Proto bylo do aplikace implementováno zobrazitelné menu, viz obrázek níže. Menu je zobrazitelné při stisknutí tlačítka start na levém ovladači (označené písmenem Y). Při opětovném stisknutí téhož tlačítka menu zmizí. Menu se zobrazí u levého ovladače a pohybuje se spolu s pohybem tohoto ovladače. Pro stisknutí jednotlivých tlačítkem na ně stačí interakčním paprskem z pravého ovladače namířit a stisknout tlačítko trigger (tlačítko pro ukazováček). Při výběru tlačítka cvičení se zobrazí nad tímto menu další přidavné menu s volbou jednotlivých cvičení (při opětovném stisknutí toto menu obdobně také zmizí).



Obrázek 5.3.5 Základní menu u levého ovladače.

Jako alternativa k tomuto menu byly do každé scény přidány dveře, viz obrázek dveří z adaptačního prostředí níže. Dveře s označením „exit“ aplikaci ukončí a s označením „Adaptační prostředí“ uživatele přesunou do scény s adaptačním prostředím. V této scéně jsou navíc i dveře do jednotlivých cvičení.



Obrázek 5.3.6 Dveře pro přechod do adaptačního prostředí.

Dalšími potřebnými komponentami pro ovládání aplikace jsou tlačítka u jednotlivých cvičení. Ty jsou staticky na scéně umístěny, většinou na modelu monitoru, nebo přímo

na zdi, a jejich využití je specifické pro jednotlivá cvičení a je popsáno v rámci kapitol o jejich implementaci níže.

5.4 Optimalizace

Jedním z největších problémů při navrhování aplikací pro virtuální realitu na standalone platformy jako Oculus Quest je optimalizace, tedy minimalizace potřebného výkonu pro plynulý chod aplikace. Pro rozsáhlé projekty vývojářských firem s přizpůsobenými grafickými a programovými nástroji to u zařízení s podobně velkým výkonem jako má Oculus Quest 2 není problém. Volně dostupné nástroje v prostředí Unity ale tento problém mají. Proto bylo v projektu potřeba konfiguraci grafických textur, detailů a vykreslování omezit na minimální dostupné nastavení při zachování vizuální podoby aplikace na přijatelné úrovni. Dále byly na základě standardů pro vývoj, viz kapitola „Normy a standardy pro vývoj VR aplikací“ výše, v aplikaci omezeny stíny na minimum a u všech objektů všech scén zcela vypnuty. Zároveň byly hromadně vypnuty vykreslování odrazů při výskytu při lesklého povrchu u metalicky založených textur. Zdroje světel jsou při načtení scény permanentně generovány do jednotlivých scén a bez aktivních stínů proto ani použití více přímých světel nepůsobí nijak výrazně na plynulost aplikace.

Jedním z cílů této aplikace je také ukládání dat, mezi něž patří mimo jiné data o pohybu obou ovladačů pro analýzu motorických schopností rukou při používání aplikace. Součástí ukládání jsou kromě těchto i jiná data, specifická pro jednotlivá cvičení. Ta ovšem, až na jednu výjimku, výrazný problém s požadavky na výkon nepředstavují a pokud ano, budou vyřešena návrhem optimální metody ukládání. U obou ovladačů jsou data o poloze a rotaci ovladače při každém snímku obrazovky ukládána do pole, které se při ukládání jednotlivých cvičení spolu s ostatními daty zapíše do daného souboru. Po několika pokusech a srovnávání metod byla zvolena metoda použití serializovaného modulu JSON, viz kapitola „Ukládání dat“ níže, u které je, i při zátěži dalšími funkcemi aplikace, zachována potřebná plynulost nutná pro minimalizaci vzniku VR nemoci.

Posledním z hlavních aspektů optimalizace bylo vykreslování textury u prvního cvičení (obkreslování tvarů na tabuli), kde byla, kvůli vysokým požadavkům na vykreslování v reálném čase, navržena alternativní metoda k metodě původní, více v kapitole „Implementace prvního cvičení“ níže. Tato optimalizace umožnila kreslení textur bez ztráty na plynulosti aplikace do míry, kdy je současně možné spolu s vykreslováním textury také ukládat data z obou ovladačů.

5.5 Využití pluginů a SDK

Prvním pluginem využitým při vývoji aplikace je OpenXR plugin, volně dostupné bezplatné rozšíření od společnosti Khronos Group, který slouží ke zjednodušení vývoje aplikací rozšířené nebo virtuální reality na dané podpořené systémy. V aplikaci bylo toto

rozšíření použito pro základní konfiguraci vazeb mezi fyzickým zařízením a jeho programovému ekvivalentu a nastavení cílového zařízení na Oculus Quest 2 pro zajištění optimálního sestavení aplikace. Přestože je pro platformu Oculus Quest tento plugin stále ve fázi vývoje, je dostupný pouze v beta verzi a jeho použití pro produkci není doporučeno, patří tento plugin v Unity při vývoji VR aplikací mezi nejpoužívanější. [80][81]

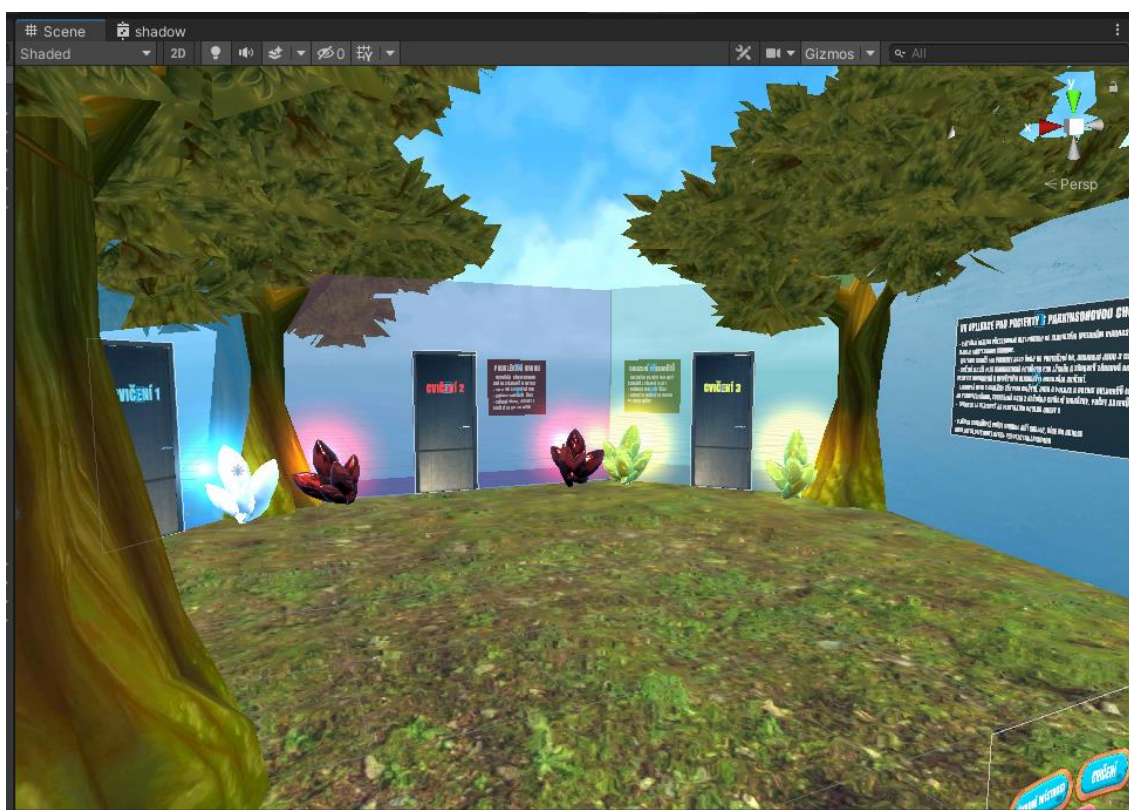
Dalším použitým pluginem je XR Interaction Toolkit (sada nástrojů pro VR interakce). Toto rozšíření umožňuje konfiguraci objektových interakcí a interakcí s uživatelským rozhraním pomocí Unity input events (akčně orientovaný systém umožňující ovládání fyzických periferií převést na vstupní programové události použitelné pro programování interakcí). Systém podporuje vytvoření interakčních komponent a nastavení ovládacího zařízení, umožňující uživateli tyto interakce provádět. Obě části jsou poté propojeny nastavením interakčního manažera, více o konfigurovaných interakcích v kapitole „Interakce s objekty“ výše. [82][83]

Dále bylo při vývoji použito Oculus Integration SDK (SDK pro integraci zařízení Oculus do vývoje VR aplikací v Unity). Tato sada nástrojů umožňuje konfiguraci renderování aplikací na platformu Oculus Quest a také například obsahuje modely Oculus zařízení nebo nástroje pro zobrazení metrik za účelem optimalizace výkonu a ladění vytvořené aplikace. [84][85]

Pro modelování objektů jednotlivých scén byl při vývoji využit nástroj ProBuilder, umožňující modelování základních nebo vlastních 3D objektů a návrh levelu. Součástí tohoto nástroje je kromě modelování i nástroj pro návrh vlastní kolizní geometrie objektů, který byl využit například u návrhu prstencových kruhů na provlékání, viz kapitola „Implementace druhého cvičení“ níže. Nástroj slouží jako vestavěná Unity alternativa ke klasickým externím modelovacím programům jako Blender a je ideální pro návrh graficky nenáročných aplikací pro VR. [86]

5.6 Adaptační prostředí

Implementovaná scéna odpovídá navrhnutému adaptačnímu prostředí z kapitoly „Návrh aplikace“ respektive „Funkcionalita aplikace“ výše. Součástí této scény je základní uživatelské rozhraní, bez ukládání jakýchkoliv dat. Dále se na scéně nachází kromě dveří pro ukončení aplikace i dveře do jednotlivých místností cvičení a krátké popisky o obsahu cvičení a použití aplikace. Je zde také umístěno několik uchopitelných předmětů s různou geometrií, které slouží jako úvod do interakce s objekty VR aplikací. Obrázek navrhnutého prostředí je zobrazen níže.



Obrázek 5.6.7 Scéna adaptačního prostředí (dveře pro přechod do cvičení).

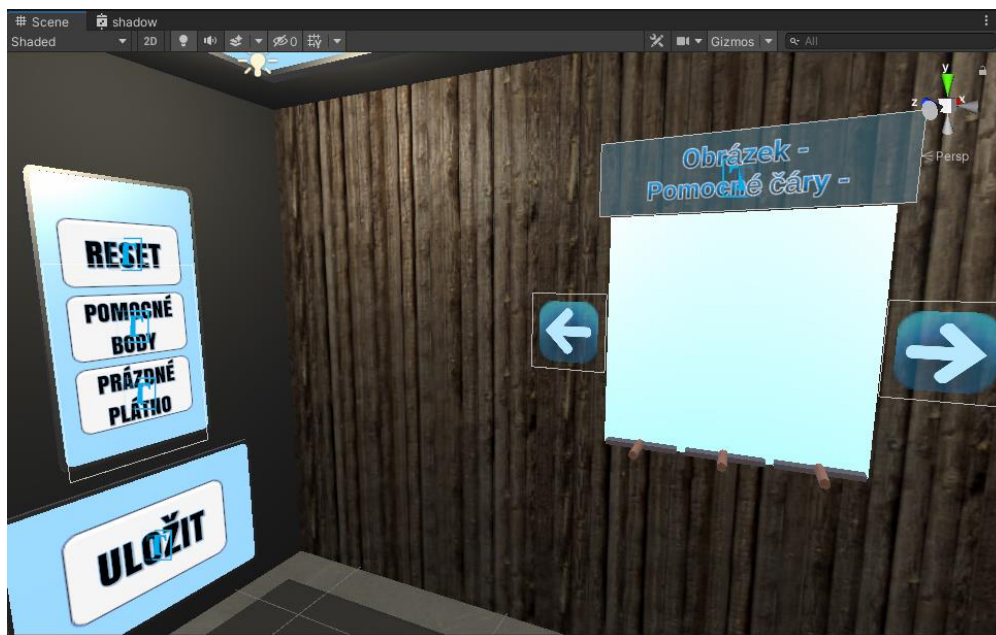
5.7 Implementace prvního cvičení

První cvičení odpovídá navrhnutému cvičení „Obkreslení tvaru“. Toto cvičení bylo implementováno tak, že byla navržena místnost s tabulí a ovládacím panelem, viz obrázek scény níže. Uživatel je při tomto cvičení instruován tvary zobrazené na tabuli do vyhrazeného pole níže co nejpřesněji překreslit. Cvičení obsahuje sadu čtyř tvarů (obdélník, elipsu, pětiúhelník a vlnky neboli psací písmeno e), viz obrázek ukázky uložených obrázků z prvního cvičení v kapitole „Ukládání dat“ respektive „Přídavná data ze cvičení“ níže. Zároveň umožňuje, v případě velkých problémů uživatele při obkreslování, zobrazit pomocné čáry a tečky.

Původně bylo cvičení navrženo obkreslením všech tvarů na jednu velkou tabuli, kde se měl pacient vždy k následujícímu tvaru přesunout. Po ukázce ovšem vedoucí práce navrhl alternativní způsob, aby pacient mezi obkreslováním nemusel řešit pohyb. Pro přechod mezi jednotlivými tvary jsou tedy nyní na obou stranách tabule šipky a tabule zobrazuje vždy pouze jeden tvar na obkreslení zároveň.

Po obkreslení každého tvaru může uživatel, pokud je spokojen, tvar uložit pro pozdější analýzu, nebo tabuli vymazat a pokus opakovat, případně přidat pomocné čáry a tečky. Alternativně je možné zobrazit prázdnou tabuli a nechat uživatele libovolně

kreslit. Například pokud zvládl všechny tvary cvičení bez problému, může tabuli použít ke kresbě nebo psaní složitějších tvarů.



Obrázek 5.7.8 Scéna prvního cvičení (tabule a ovládací panel).

Celé kreslení je provedeno pomocí objektů tabule a kreslící fixy. Při kontaktu kreslící fixy s tabulí čte program bod kontaktu a následně čte další bod kontaktu až po určitém časovém intervalu. Na základě rozdílu poloh dvou sousedních bodů dále cestu mezi nimi vykreslí rovnou čarou podle barvy hrotu fixy a předem nastavené tloušťky čáry. Díky tomuto vykreslování je možné cvičení provést zároveň s dalšími ukládacími funkcionalitami aplikace, viz kapitole „Optimalizace“ a „Ukládání dat“. Část kódu jednotlivých programů použitých pro toto vykreslování je okomentovaná níže.

```
// Funkce start je v Unity volána jednou při každém načtení scény.
void Start()
{
    // Do proměnné r je načtena použitá komponenta pro vykreslování.
    var r = GetComponent<Renderer>();
    /* Do předem definované textury (public Texture2D texture;) je
    vygenerována prázdná dvojrozměrná textura s předem definovanou
    velikostí (public Vector2 textureSize = new Vector2(2048, 2048);)
    a ve formátu RGB24 (24 bitový barevný formát se základními barvami
    červenou, zelenou a modrou). */
    texture=new Texture2D((int)textureSize.x, (int)textureSize.y,
TextureFormat.RGB24, false);
    /* Do textury se následně načte obsah šablony pro obkreslení prvního
    tvaru bez pomocných čar. */
    texture.LoadImage(imageAssetTemplate1.bytes);
    r.material.mainTexture = texture;
}
/* Funkce update je v Unity volána při každém načtení nového obrazového
snímku. */
void Update()
```

```

{
/* Příklad jakým způsobem jsou v aplikaci vypisovány hodnoty do
textových elementů uživatelského rozhraní pomocí Unity funkce
TextMeshPro. V první části se zjišťuje, jestli jsou aktivovány
pomocné čáry, následně se informace o nich a o načtené šabloně (z
jiné části kódu) uživateli vypíše do textového elementu na scéně, viz
obrázek výše. */
    if (withHelp == true)
    {
        PomocnéČáry = "zapnutý";
    } else
    {
        PomocnéČáry = "vypnutý";
    };
    currentImageText.text = "Obrázek " + imageNumber.ToString() +
"\nPomocné čáry " + PomocnéČáry;
}
// Funkce start z programu pro kreslicí fixy
void Start()
{
/* Z hrotu objektu fixy na něž byl program aplikován se načte velikost
hrotu pro vykreslování a použitá komponenta pro vykreslování. */
    _renderer = _tip.GetComponent<Renderer>();
    _colors = Enumerable.Repeat(_renderer.material.color, _penSize
* _penSize).ToArray();
    _tipHeight = _tip.localScale.y;
}
// Funkce pro vykreslování do textury tabule
private void Draw()
{
// Dotyk hrotu fixy s objektem
    if (Physics.Raycast(_tip.position, transform.up, out _touch,
_tipHeight))
    {
// Kontrola, jestli se jedná o tabuli.
        if (_touch.transform.CompareTag("Whiteboard"))
        {
/* Pokud fixa ještě nebyla v kontaktu s tabulí, uloží se komponenta
tabule do vnitřní proměnné. */
            if (_whiteboard == null)
            {
                _whiteboard=
_touch.transform.GetComponent<Whiteboard>();
            }
// Načtení pozice doteku hrotu fixy na textuře tabule.
            _touchPos = new Vector2(_touch.textureCoord.x,
_touch.textureCoord.y);

            var x = (int)(_touchPos.x * _whiteboard.textureSize.x -
(_penSize / 2));
            var y = (int)(_touchPos.y * _whiteboard.textureSize.y -
(_penSize / 2));
// Návrátová funkce při kontaktu tabule mimo aktivní texturu.
            if (y < 0 || y > _whiteboard.textureSize.y || x < 0 ||
x > _whiteboard.textureSize.x) return;
/* Pokud se jedná o druhý a další dotek přímo za sebou, vykreslí se
oblast mezi těmito doteky výše definovanou čarou. */
            if (_touchedLastFrame)
            {

```

```

        _whiteboard.texture.SetPixels(x, y, _penSize,
        _penSize, _colors);
    /* Toto vykreslení se provede tečkami pro asi 1/5 obrazových
    bodů, při vyšším počtu je vysoká ztráta výkonu, při nižším
    lze u rychlého pohybu tečky rozpoznat. */
        for (float f = 0.01f; f < 1.00f; f += 0.05f)
        {
            var lerpX = (int)Mathf.Lerp(_lastTouchPos.x, x,
            f);
            var lerpY = (int)Mathf.Lerp(_lastTouchPos.y, y,
            f);
            _whiteboard.texture.SetPixels(lerpX, lerpY,
            _penSize, _penSize, _colors);
        }
    // Rotace fixy se snaží při přechodu mezi body být zachována.
        transform.rotation = _lastTouchRot;
    // Nastavené vykreslené pixely se aplikují na texturu.
        _whiteboard.texture.Apply();
    }
    // Pro následující snímek se uloží hodnoty aktuálního doteku.
        _lastTouchPos = new Vector2(x, y);
        _lastTouchRot = transform.rotation;
        _touchedLastFrame = true;
        return;
    }
}
/* Po ukončení souvislého doteku se vynulují proměnné, aby při
následujícím novém doteku nebyla plocha mezi tímto dotekem a
posledním dotekem při minulém kontaktu fixy s tabulí vykreslena. */
    _whiteboard = null;
    _touchedLastFrame = false;
}

```

Jednotlivé šablony pro obkreslování tvarů byly s obdobným rozlišením programového objektu předem navrženy a převedeny do datového formátu bytes, ze kterého jsou poté při stisku příslušných tlačítek vykreslovány.

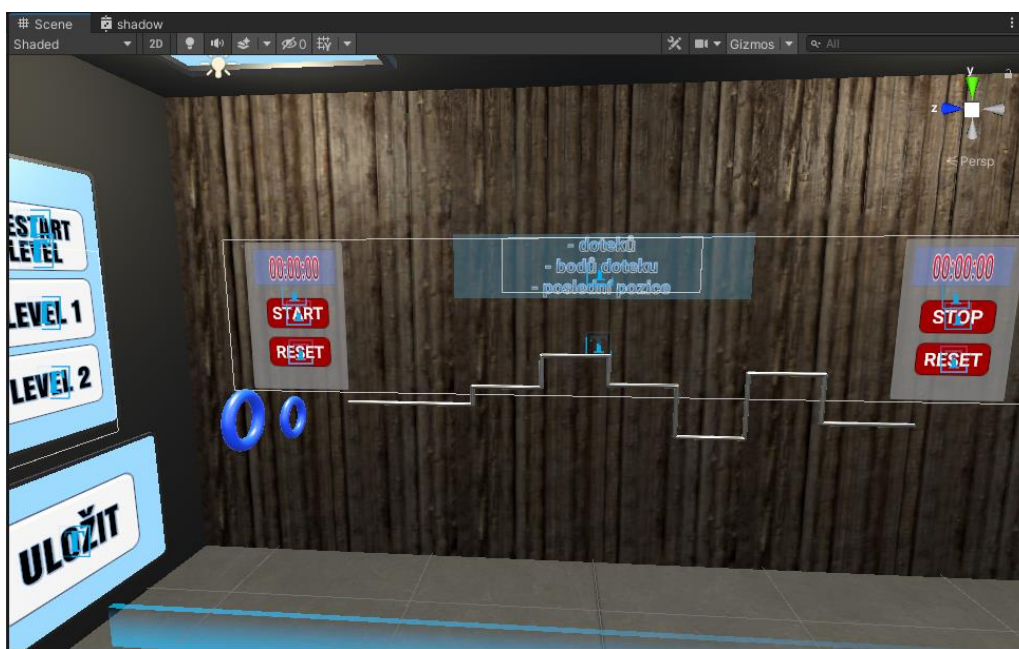
```

// Začátek funkce pro načtení následující šablony při stisku šipky
public void LoadNextTexture()
{
    /* Nejdříve se zkontroluje jestli jsou aktivovány pomocné čáry, v případě
    že ano, funkce vypadá obdobně, ale načítá šablony s čarami. */
    if (withHelp == false)
    {
        switch (imageNumber)
        {
            /* V případě že je aktuálně zobrazena šablona 1, číslo s proměnnou
            šablony se zvýší o jedno a odpovídající textura se načte. */
            case 1:
                imageNumber = imageNumber + 1;
                texture = new Texture2D((int)textureSize.x,
                (int)textureSize.y, TextureFormat.RGB24, false);
                texture.LoadImage(imageAssetTemplate2.bytes);
                GetComponent<Renderer>().material.mainTexture =
                texture;
                break;
            /* Zbytek funkce je úprava téhož algoritmu pro ostatní možné případy.

```

5.8 Implementace druhého cvičení

Druhé cvičení odpovídá navrhnutému cvičení „Sledování čáry“. Toto cvičení bylo implementováno tak, že byla navržena místnost s ovládacím panelem, stopkami, panelem zobrazujícím doteky a zobrazitelnými křivkami, viz obrázek scény níže. Uživatel je při tomto cvičení instruován vybranou křivku jedním z kruhů provléct, aniž by se hranou kruhu v kterémkoliv bodu křivky dotknul. Po výběru křivky uživatel volitelně může spustit stopky a projít cvičení na čas. To je ale, kvůli možnosti přílišnému stresování cvičícího, ponecháno na uživateli. Dále uživatel uchopí jeden z kruhů a provléká jej křivkou až na její konec. Při provlékání je možné pohybovat se fyzicky nebo kruh pustit a přemístit se dále teleportací. Kruh se při upuštění nehýbe, a tak lze po opětovném uchopení bez problému pokračovat. Po úplném provlečení uživatel kruh pustí a případně zastaví stopky. Pokud je s výsledkem spokojený, může jej uložit a pokračovat na další křivku (nebo cvičení ukončit), nebo může pokus opakovat, například s větším kruhem.



Obrázek 5.8.9 Scéna druhého cvičení (křivka, kruhy, stopky a ovládací panel).

Cvičení je navrženo tak, že křivky, složené ze sady trubicových objektů, jsou v základu neaktivní a po stisknutí tlačítek pro jejich načtení se jejich stav mění na aktivní. Pokud je již aktivní jiná křivka, nejdříve původní křivka mění svůj stav na neaktivní a až poté se zobrazí nová křivka. Po opětovném stisknutí lze křivku zneviditelnit zpět do stavu neaktivní. Při provlékání je jakákoliv kolize určených kruhů s křivkou detekována a, pokud se jedná o kruh, dále zpracována, pro uložení pozice doteku. Zároveň se ukládá počet jednotlivých doteků a také počet bodů ve kterých dotek vznikl. Čím větší je počet

bodů než počet doteků, tím větší je plocha, na které dotek proběhl. Část programů pro stopky, načtení křivky a čtení doteků s dotekových bodů je okomentováno níže.

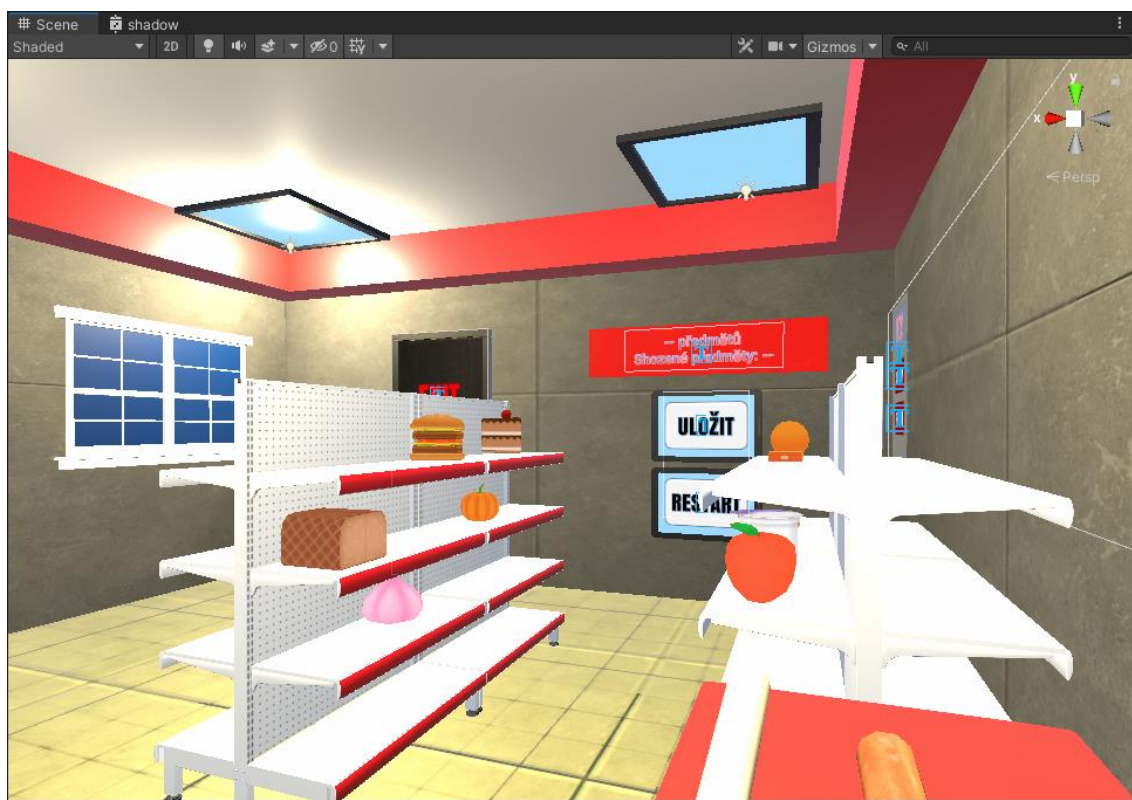
```
/* Funkce načtení druhé křivky stiskem tlačítka. Ve stavu bez načtení
jedné zkřivek se zobrazí upozornění: noLevelActive.text = "Pro
zahájení cvičení vyberte level"; */
public void SpawnRod2()
{
    if (rod2.activeSelf)
    {
        rod2.SetActive(false);
    }
    else
    {
        rod2.SetActive(true);
        rod1.SetActive(false);
    }
}
// Příklad části funkce pro stopky, ovládání je pomocí proměnné active.
if (active == true)
{
    currentTime = currentTime + Time.deltaTime;
}
TimeSpan time = TimeSpan.FromSeconds(currentTime);
currentTimeText.text = time.ToString(@"mm\:ss\:ff");
// Funkce pro detekci kolizí křivky s kruhem.
void OnCollisionEnter(Collision collision)
{
    /* Každý bod kontaktu se načte a uloží do proměnné pro uložení do
souboru, více viz kapitola „Ukládání dat“ níže. */
    foreach (ContactPoint contact in collision.contacts)
    {
        Debug.DrawRay(contact.point, contact.normal, Color.blue);
        position = contact.point;
// V rámci uložených dat se načte i čas ze stopky.
        float TimeOnTimer =
TimeCanvas.GetComponent<StopWatch>().currentTime;
        TimeSpan TimeCalculated =
TimeSpan.FromSeconds(TimeOnTimer);
        string uniTime =
TimeSpan.FromSeconds(TimeOnTimer).ToString();

        _saveObjectTouch.uniTime = uniTime;
        _saveObjectTouch.positionOfTouch = position;
// Vše se formátuje a ukládá do proměnné json.
        json += "Contact point: " +
JsonUtility.ToJson(_saveObjectTouch) + "\n";

        numberOfContactPoints++;
    }
    numberOfTouches++;
// Při kontaktu s kruhem se zároveň zvýší hodnota počítadla doteků.
    if (collision.gameObject.tag == "TouchDetectable")
    {
        numberOfTags++;
    }
}
}
```


5.9 Implementace třetího cvičení

Třetí cvičení odpovídá navrhnutému cvičení „Průchod s regály“. Toto cvičení bylo implementováno tak, že byla navržena místnost s ovládacím panelem, stopkami, panelem zobrazujícím počet shozených předmětů a jejich výpis, viz obrázek scény níže. Uprostřed scény se dále nachází 2 vzájemně kolmé regály s celkem 10 předměty a také nástroje, kterými uživatel po uchopení při průchodu uličkou shazuje co nejvíce z dostupných předmětů na zem. Programově je cvičení vyřešeno na základě podobných funkcí jako byly využity ve druhém cvičení.



Obrázek 5.9.10 Scéna třetího cvičení (regály a ovládací panel).

5.10 Ukládání dat

Jednotlivé soubory s daty jsou ukládány do adresáře Saves ve složce Files v programových datech pro danou aplikaci (com.JiriKadlec.parkinsons_app).

5.10.1 Poloha a rotace ovladačů

Ukládání dat z obou ovladačů je navrženo tak, že při každé změně snímku z monitorů headsetu, se data o poloze a rotaci (na ose x,y,z) ukládají do pole. Pole kromě těchto dvou proměnných obsahuje také časovou proměnou pro možnost zpětného vykreslení pohybu v čase. Ukládání je aktivní u každého ze cvičení a uložení pole do textového souboru

v paměti se provádí při každém uložení postupu cvičení (například u prvního cvičení při uložení obkresleného tvaru). Jak je již zmíněno v kapitole „Optimalizace“ výše, ukládání je provedeno pomocí serializovaného modulu JSON, který data v proměnných pro každý objekt pole formátuje a ukládá na nový řádek, viz příklad dat z levého ovladače níže. Data se ukládají do souboru s názvem <prava/leva>_ruka_save.txt.

```

{"dev_position":{"x":1.614264726638794,"y":0.9665206670761108,"z":-0.2829498052597046},"dev_rotation":{"x":12.611750602722168,"y":357.8924865722656,"z":349.96722412109377},"uniTime":85.30555725097656}

{"dev_position":{"x":1.6141835451126099,"y":0.9660821557044983,"z":-0.28307414054870608},"dev_rotation":{"x":12.633525848388672,"y":357.93505859375,"z":350.1142883300781},"uniTime":85.33333587646485}

{"dev_position":{"x":1.6141269207000733,"y":0.9658333659172058,"z":-0.28305017948150637},"dev_rotation":{"x":12.712995529174805,"y":357.9896240234375,"z":350.2616882324219},"uniTime":85.34722137451172}

Datum: 17.05.2022 17:27:05
-----BATCH-END-----

```

Programově je toto ukládání po optimalizacích provedeno tak, že se při načtení scény vytvoří nový objekt pole, jehož parametry se při každém snímku aktualizují a následně zapisují do privátní proměnné json. Při ukládání se obsah proměnné funkcí Save(obsah proměnné, název souboru) posílá do programu pro ukládání do souborů. Část kódu z programu pro ukládání dat do proměnné a z programu pro zapsání proměnné do souboru je okomentována níže.

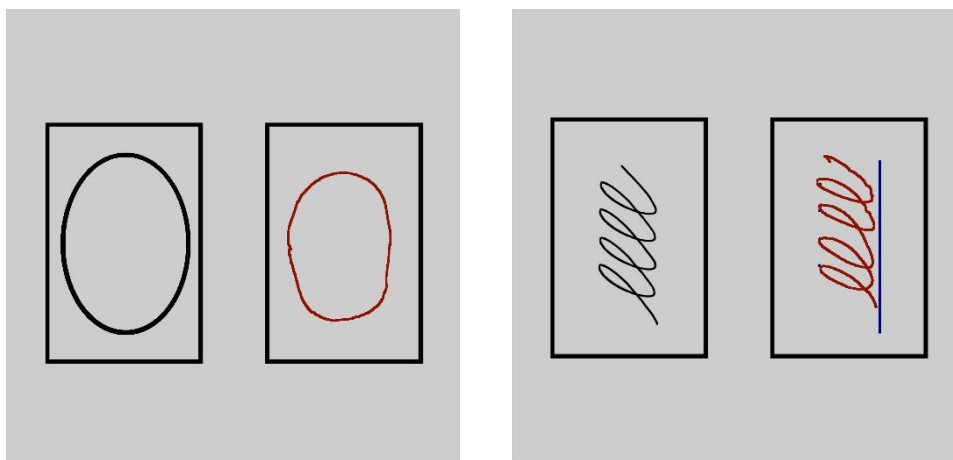
```

// Funkce zajišťující samotné uložení do souboru.
public static void Save(string saveString, string FileName)
{
    // Použití Unity funkce StreamWriter pro zápis řádků na konec souboru.
    using (StreamWriter sw = File.AppendText(SAVE_FOLDER + FileName +
        "_save." + SAVE_EXTENSION))
    {
        sw.WriteLine(saveString);
    }
}
// Definice objektu pole ukládaných dat (nový objekt vytvořen v Start()).
private class SaveObject
{
    public Vector3 dev_position;
    public Vector3 dev_rotation;
    public float uniTime;
}
/* Data se dále načtou a vloží do proměnných objektu. Nakonec dat se
připíše zápatí s oddělovačem a uloží se funkcí Save(), proměnná json
se vynuluje. */
public void Save_data_now()
{
    json += "Datum: " + System.DateTime.Now + "\n";
    json += "-----BATCH-END-----\n\n";
    SaveSystemManager.Save(json, "leva_ruka");
    json = "";
}

```

5.10.2 Přídavná data ze cvičení

Z prvního cvičení, viz kapitola „Implementace prvního cvičení“ výše, jsou kromě polohových dat z ovladačů ukládány také jednotlivé obkreslené tvary nebo libovolné nákresy a nápisy z objektu tabule na scéně tohoto cvičení. Textury z této tabule jsou převáděny z datové podoby do formátu JPEG (standartní metody ztrátové komprese obrazových souborů) a následně ukládány do výchozího adresáře pro data aplikace. Obrázky se ukládají do souborů s názvy SavedScreen_*.jpg (* je nejmenší číslo které ještě není obsazené jiným obrázkem ve složce). Níže jsou zobrazeny příklady dvou možných vyplněných šablon, na levé straně elipsa, na pravé straně vlnky se zapnutými pomocnými čarami.



Obrázek 5.10.11 Příklad dvou vyplněných šablon z prvního cvičení.

```
// Funkce pro uložení obsahu textury do souboru
public void SaveThisTexture()
{
    int saveImageNumber = 0;
    // Textura se převede do formátu jpg a uloží jako data.
    byte[] bytes = texture.EncodeToJPG();
    /* V adresáři se vyhledá nejmenší neobsazené číslo v názvu obrázku
    a s tímto názvem se následně uloží. */
    while (File.Exists(Application.persistentDataPath +
"/Saves/SavedScreen_" + saveImageNumber + ".jpg"))
    {
        saveImageNumber++;
    }
    File.WriteAllBytes(Application.persistentDataPath +
"/Saves/SavedScreen_" + saveImageNumber + ".jpg", bytes);
}
```

U druhého cvičení, viz kapitola „Implementace druhého cvičení“ výše, jsou navíc ukládány data o počtu doteků kruhu s danou křivkou, dále o počtu bodů na křivce, ve kterých dotek vznikl, a také o poloze a čase každého dotyku na křivce. Zároveň je ukládán čas ze stopek a čas, kdy bylo cvičení uloženo. Konečná část dat uložených pro toho cvičení je zobrazena níže. Data se ukládají do výchozího adresáře, konkrétně do souboru s názvem cviceni_2_save.txt.

```

Contact point:
{"positionOfTouch":{"x":1.848426342010498,"y":1.0724005699157715,"z":-1.0575149059295655},"uniTime":"00:00:27.2210000"}

Contact point:
{"positionOfTouch":{"x":1.8483551740646363,"y":1.0721887350082398,"z":-1.0592496395111085},"uniTime":"00:00:27.2210000"}

Contact point:
{"positionOfTouch":{"x":1.8505445718765259,"y":1.074768304824829,"z":-1.239979863166809},"uniTime":"00:00:27.6570000"}

Cas: 00:00:29.2170000
Pocet doteku: 20
Pocet dotekovych bodu: 98
Datum: 15.05.2022 21:44:45
-----BATCH-END-----

```

U třetího cvičení, viz kapitola „Implementace třetího cvičení“ výše, jsou navíc ukládány data o počtu shozených předmětů a o tom kdy proběhl pád kterého předmětu. Zároveň je ukládán čas ze stopek a také čas kdy bylo cvičení uloženo. Konečná část dat uložených pro toho cvičení je zobrazena níže. Data se ukládají do výchozího adresáře, konkrétně do souboru s názvem cviceni_3_save.txt.

```

Shozený předmět: {"objektName":"Dort","uniTime":"00:00:00"}
Shozený předmět: {"objektName":"Hamburger","uniTime":"00:00:00"}
Shozený předmět: {"objektName":"Nanuk","uniTime":"00:00:00"}

Finalni cas: 00:00:15.6700000
Pocet predmetu: 10
List predmetu: Cesnek; Dyne; Sunka; Jablko; Wafle; Jogurt; Pomeranz;
Dort; Hamburger; Nanuk;
Datum: 17.05.2022 17:26:44
-----BATCH-END-----

```

5.10.3 Monitorování pacienta

Dalším možným způsobem monitorování pacienta a ukládání vizuálních dat je sdílení obrazovky monitorů VR headsetu do některé z Oculus aplikací. ODH a aplikace Oculus na mobilní zařízení umožňují při připojení systému k aplikaci (pro ODH může být připojeno přes kabel, nebo přes síť Wi-Fi a u mobilní aplikace je připojení provedeno přes technologii Bluetooth) sdílení obrazu ze zařízení v reálném čase a také ukládání záznamu z tohoto sdílení.

Uživatel tímto není nijak ovlivněn a v systému bylo nastavení pro sdílení upraveno, aby nebyla vidět ani značka při nahrávání, viz obrázek ukázky přenosu obrazu v mobilní aplikaci Oculus níže. Kompletní použití aplikace pro jednotlivé uživatele lze tak v reálném čase monitorovat a lépe uživatele instruovat, nebo jej naopak kontrolovat při případném zmatení, kognitivním přehlcení a projevu jakýchkoliv jiných příznaků PD. Celý záznam lze poté zpětně přehrát a lépe analyzovat v kontextu s ostatními uloženými daty z jednotlivých cvičení.



Obrázek 5.10.12 Přenos záznamu z Oculus Quest 2 do mobilní aplikace Oculus.

ZÁVĚR

Na základě prvního cíle práce, vypracování detailní rešerše využití VR jako nástroje pro diagnostiku a terapii v medicíně, bylo v druhé kapitole popsáno obecné využití VR v medicíně a analýza konkrétního využití při diagnóze a terapii neurologických onemocnění. Současně byla také popsána Parkinsonova choroba, její důsledky, výskyt a příznaky, zvláště potom ty, které lze přímo zakomponovat do funkcionality VR aplikace. Zakomponovaná byla i analýza provedených studií zabývajících se využitím VR při diagnostice a terapii Parkinsonovi choroby. Výstupem této části práce jsou mimo jiné také požadavky na důležité faktory při tvorbě VR aplikace pro pacienty s PD.

Dalším cílem práce je průzkum a analýza možností vývoje VR aplikací. Tímto cílem se zabývá první kapitola, ve které je popsána virtuální realita z pohledu principiální funkcionality a z pohledu zařízení momentálně dostupných na trhu. Výstupem je také výběr nejvíce vyhovujícího hardwaru pro navrhnoutou VR aplikaci (Oculus Quest 2). Analýzou možností a potřebných programových nástrojů pro vývoj VR aplikací se poté přímo zabývá třetí kapitola, která popisuje vývoj aplikací s využitím patřičných vývojových prostředí, grafických herních enginů, a zmiňuje jejich nejpoužívanější zástupce. Závěrem jsou popsány základní normy a užitečné standardy při vývoji VR aplikací, také s ohledem na cílovou skupinu navržené v podobě pacientů s PD.

Následující cíl, tedy funkční návrh VR aplikace pro pacienty s PD, je obsahem čtvrté kapitoly práce a sestává se z analýzy existujících aplikací pro pacienty s PD, slovního popisu funkcionality aplikace a také blokového schématu aplikace. Byla navržena aplikace jejíž součástí je adaptační prostředí, sloužící jako úvod uživatele obecně do prostředí VR a konkrétně také do této aplikace, a tři cvičení, které byly vypracovány na základě existujících metod pro diagnostiku a terapii pacientů s PD. Průběh použití aplikace byl navržen tak, aby bylo dosaženo co nejpříjemnějšího použití aplikace uživatelem s nejnižším možným rizikem nevolnosti spojené s používáním VR.

Posledním cílem práce je implementace navržené VR aplikace, která je tématem páté kapitoly. Obsahem je popis základní konfigurace při implementaci v prostředí enginu Unity, dále popis interakce s objekty v aplikaci, pohybu uživatele v aplikaci, popis uživatelského rozhraní, informace o provedených optimalizacích a o využití pluginů a SDK při vývoji aplikace, dále deskriptaci implementace scén adaptačního prostředí a jednotlivých cvičení a nakonec souhrn ukládaných dat k analýze. Výstupem použití aplikace jsou mimo jiné také ukládaná data, o poloze a rotaci ovladačů v čase a další specifická data pro konkrétní cvičení, pro pozdější analýzu.

Implementovaná aplikace odpovídá jejímu návrhu a splňuje všechny dříve stanovené požadavky. Může tedy sloužit jako terapeutická alternativní pomůcka, ale zároveň také, díky řadě různých ukládaných dat, jako nástroj pro diagnostiku pacientů. Přesto se při vývoji aplikace objevili nedostatky, některé z nich (například blikání objektu označujícího místo teleportace) zaviněny chybami použitých nástrojů v beta verzi, jiné

jako důsledek nedokonalé implementace (například občasný šum textur). Tyto nedostatky a případné vylepšení poskytují prostor pro následný vývoj další verze aplikace. Ta by mohla mimo jiné zahrnout vylepšení na základě konzultace s odborníky na diagnostiku a terapii pacientů s Parkinsonovou poruchou, nebo například navrhnout způsob zpracování získaných dat z aplikace pro jejich analýzu. Testování aplikace pacienty, nebo odbornými osobami, by mohlo poskytnout zásadní zpětnou vazbu pro korektnější implementaci jednotlivých cvičení, případně návrhu dalších cvičení a konceptu analýzy získaných dat.

LITERATURA

- [1] STEUER, Jonathan. Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence. *Journal of Communication* [online]. 1992, 42(4), 73-93 [cit. 2021-12-07]. ISSN 00219916. Dostupné z: doi:10.1111/j.1460-2466.1992.tb00812.x
- [2] VPL Research Jaron Lanier [online]. 2017 [cit. 2021-12-07]. Dostupné z: <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality-profiles/vpl-research.html>
- [3] REICHEL, Stephan, Bahram JAVIDI, Jung-Young SON, Ralf HÄUSSLER, Gerald FÜTTERER, John T. THOMAS, Daniel D. DESJARDINS a Norbert LEISTER. Depth cues in human visual perception and their realization in 3D displays [online]. In: . 2010-4-23, 76900B- [cit. 2021-12-07]. Dostupné z: doi:10.1117/12.850094
- [4] Lin EDWARDS, Active Shutter 3D Technology for HDTV - Phys.org [online]. 2009 [cit. 2021-12-07]. Dostupné z: <https://phys.org/news/2009-09-shutter-3d-technology-hdtv.html>
- [5] How it works Technically [online]. [cit. 2021-12-07]. Dostupné z: <http://www.math.brown.edu/tbanchof/Yale/project14/3dmechanics.html>
- [6] Sophie CHARARA, Explained: How does VR actually work? [online]. 2017 [cit. 2021-12-07]. Dostupné z: <https://www.wearable.com/vr/how-does-vr-work-explained>
- [7] Harry BAKER, Beginner's Guide To VR: FAQ And Everything You Need To Know (Updated 2021) [online]. 2021 [cit. 2021-12-07]. Dostupné z: <https://uploadvr.com/beginners-guide-vr-faq-everything-you-need-to-know/>
- [8] Dom BARNARD, History of VR - Timeline of Events and Tech Development [online]. 2019 [cit. 2021-12-07]. Dostupné z: <https://virtualspeech.com/blog/history-of-vr>
- [9] NICHOLS, Sarah a Harshada PATEL. Health and safety implications of virtual reality: a review of empirical evidence. *Applied Ergonomics* [online]. 2002, 33(3), 251-271 [cit. 2021-12-07]. ISSN 00036870. Dostupné z: doi:10.1016/S0003-6870(02)00020-0
- [10] SAREDAKIS, Dimitrios, Ancret SZPAK, Brandon BIRCKHEAD, Hannah A. D. KEAGE, Albert RIZZO a Tobias LOETSCHER. Factors Associated With Virtual Reality Sickness in Head-Mounted Displays: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Human Neuroscience* [online]. 2020, 14 [cit. 2021-12-07]. ISSN 1662-5161. Dostupné z: doi:10.3389/fnhum.2020.00096
- [11] GALLAGHER, Maria a Elisa Raffaella FERRÈ. Cybersickness: a Multisensory Integration Perspective. *Multisensory Research* [online]. 2018, 31(7), 645-674 [cit. 2021-12-07]. ISSN 2213-4794. Dostupné z: doi:10.1163/22134808-20181293
- [12] *Portál* <http://virtualrealityforeducation.com/> [online]. [cit. 2021-12-07]. Dostupné z: <http://virtualrealityforeducation.com/>
- [13] Virtual Reality in the Military [online]. 2017 [cit. 2021-12-07]. Dostupné z: <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality-military/>

- [14] Virtual reality training for space exploration [online]. 2020 [cit. 2021-12-07]. Dostupné z: <https://www.industry.gov.au/news/virtual-reality-training-for-space-exploration>
- [15] Oculus Quest 2. Pcgamer.com [online]. 2021 [cit. 2021-12-07]. Dostupné z: <https://www.pcgamer.com/oculus-quest-vr-headsets-to-eliminate-mandatory-facebook-account-log-in-requirement/>
- [16] Oculus Documentation. Developer.oculus.com [online]. 2021 [cit. 2021-12-07]. Dostupné z: <https://developer.oculus.com/documentation/>
- [17] Porovnání produktů. Alza [online]. 2021 [cit. 2021-12-07]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/porovnaní.htm?c=MIDHV128;MIDHV111;OC002b2w;OC002b2da2;CES9a003ja2;CES9a003jb;CES9a003ja3b;>
- [18] Slime VR [online]. 2021 [cit. 2021-12-07]. Dostupné z: <https://github.com/SlimeVR/>
- [19] VR comparison. Vr-compare.com [online]. 2021 [cit. 2021-12-07]. Dostupné z: <https://vr-compare.com/compare?h1=pDTZ02PkT&h2=0jLuwg808-j&h3=GeZ01ojF8&h4=PzyrrM6SuMh&h5=Nz71KAcZEK>
- [20] JAVAID, Mohd a Abid HALEEM. Virtual reality applications toward medical field. *Clinical Epidemiology and Global Health* [online]. 2020, 8(2), 600-605 [cit. 2021-12-08]. ISSN 22133984. Dostupné z: doi:10.1016/j.cegh.2019.12.010
- [21] BIN, Sheng, Saleha MASOOD a Younhyun JUNG. Virtual and augmented reality in medicine. *Biomedical Information Technology* [online]. Elsevier, 2020, 2020, s. 673-686 [cit. 2021-12-08]. ISBN 9780128160343. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-816034-3.00020-1
- [22] JIN, Roger, Alexander PILOZZI a Xudong HUANG. Current Cognition Tests, Potential Virtual Reality Applications, and Serious Games in Cognitive Assessment and Non-Pharmacological Therapy for Neurocognitive Disorders. *Journal of Clinical Medicine* [online]. 2020, 9(10) [cit. 2021-12-08]. ISSN 2077-0383. Dostupné z: doi:10.3390/jcm9103287
- [23] KRUK, Dawid, Dagmara METEL, Łukasz GAWĘDA a Andrzej CECHNICKI. Implementation of virtual reality (VR) in diagnostics and therapy of nonaffective psychoses. *Psychiatria Polska* [online]. 2020, 54(5), 951-975 [cit. 2021-12-08]. ISSN 0033-2674. Dostupné z: doi:10.12740/PP/OnlineFirst/113437
- [24] RIVA, Giuseppe, Valentina MANCUSO, Silvia CAVEDONI a Chiara STRAMBA-BADIALE. Virtual reality in neurorehabilitation: a review of its effects on multiple cognitive domains. *Expert Review of Medical Devices* [online]. 2020, 17(10), 1035-1061 [cit. 2021-12-08]. ISSN 1743-4440. Dostupné z: doi:10.1080/17434440.2020.1825939
- [25] Kefaliakos A, Pliakos I, Kiekkas P, Charalampidou M, Diomidous M. Virtual Reality in the Rehabilitation of Patients with Neurological Disorders. *Stud Health Technol Inform* [online]. 2016. [cit. 2021-12-08]. 226:45-7. PMID: 27350462. Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27350462/>

- [26] SŁYK, Stanisław, Marcin Zygmunt ZARZYCKI, Anna KOCWA-KARNAŚ a Izabela DOMITRZ. Virtual reality in the diagnostics and therapy of neurological diseases. *Expert Review of Medical Devices* [online]. 2019, 16(12), 1035-1040 [cit. 2021-12-08]. ISSN 1743-4440. Dostupné z: doi:10.1080/17434440.2019.1693892
- [27] DE ARAUJO, Ivan E., Xueying REN a Jozélia G. FERREIRA. Metabolic Sensing in Brain Dopamine Systems. MEYERHOF, Wolfgang, Ulrike BEISIEGEL a Hans-Georg JOOST, ed. *Sensory and Metabolic Control of Energy Balance* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010, 2011-9-4, s. 69-86 [cit. 2021-12-08]. *Results and Problems in Cell Differentiation*. ISBN 978-3-642-14425-7. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-642-14426-4_7
- [28] Parkinson's Disease Information Page – National Institute of Neurological Disorders and Stroke [online]. 2021 [cit. 2021-12-07]. Dostupné z: <https://www.ninds.nih.gov/Disorders/All-Disorders/Parkinsons-Disease-Information-Page>
- [29] MARTINEZ-MARTIN, Pablo. Nonmotor symptoms and health-related quality of life in early Parkinson's disease. *Movement Disorders* [online]. 2014, 29(2), 166-168 [cit. 2021-12-08]. ISSN 08853185. Dostupné z: doi:10.1002/mds.25799
- [30] Understanding Parkinson's – Parkinson's Foundation [online]. 2021 [cit. 2021-12-08]. Dostupné z: <https://www.parkinson.org/understanding-parkinsons>
- [31] MUCHA, Jan, Jiri MEKYSKA, Zoltan GALAZ, et al. Identification and Monitoring of Parkinson's Disease Dysgraphia Based on Fractional-Order Derivatives of Online Handwriting. *Applied Sciences* [online]. 2018, 8(12) [cit. 2021-12-08]. ISSN 2076-3417. Dostupné z: doi:10.3390/app8122566
- [32] SVEINBJORNSDOTTIR, Sigurlaug. The clinical symptoms of Parkinson's disease. *Journal of Neurochemistry* [online]. 2016, 139, 318-324 [cit. 2021-12-08]. ISSN 00223042. Dostupné z: doi:10.1111/jnc.13691
- [33] OPARA, Józef, Andrzej MAŁECKI, Elżbieta MAŁECKA a Teresa SOCHA. Motor assessment in Parkinson's disease. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* [online]. 2017, 24(3), 411-415 [cit. 2021-12-08]. ISSN 1232-1966. Dostupné z: doi:10.5604/12321966.1232774
- [34] MÜLLER, Bernd, Jörg ASSMUS, Karen HERLOFSON, Jan Petter LARSEN a Ole-Bjørn TYSNES. Importance of motor vs. non-motor symptoms for health-related quality of life in early Parkinson's disease. *Parkinsonism & Related Disorders* [online]. 2013, 19(11), 1027-1032 [cit. 2021-12-08]. ISSN 13538020. Dostupné z: doi:10.1016/j.parkreldis.2013.07.010
- [35] LEI, Cheng, Kejimu SUNZI, Fengling DAI, et al. Effects of virtual reality rehabilitation training on gait and balance in patients with Parkinson's disease: A systematic review. *PLOS ONE* [online]. 2019, 14(11) [cit. 2021-12-08]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0224819
- [36] FENG, Hao, Cuiyun LI, Jiayu LIU, et al. Virtual Reality Rehabilitation Versus Conventional Physical Therapy for Improving Balance and Gait in Parkinson's

- Disease Patients: A Randomized Controlled Trial. *Medical Science Monitor* [online]. 2019, 25, 4186-4192 [cit. 2021-12-08]. ISSN 1643-3750. Dostupné z: doi:10.12659/MSM.916455
- [37] CANNING, Colleen G., Natalie E. ALLEN, Evelien NACKAERTS, Serene S. PAUL, Alice NIEUWBOER a Moran GILAT. Virtual reality in research and rehabilitation of gait and balance in Parkinson disease. *Nature Reviews Neurology* [online]. 2020, 16(8), 409-425 [cit. 2021-12-08]. ISSN 1759-4758. Dostupné z: doi:10.1038/s41582-020-0370-2
- [38] TRIEGAARDT, Joseph, Thang S. HAN, Charif SADA, Sapna SHARMA a Pankaj SHARMA. The role of virtual reality on outcomes in rehabilitation of Parkinson's disease: meta-analysis and systematic review in 1031 participants. *Neurological Sciences* [online]. 2020, 41(3), 529-536 [cit. 2021-12-08]. ISSN 1590-1874. Dostupné z: doi:10.1007/s10072-019-04144-3
- [39] DOCKX, Kim, Esther MJ BEKKERS, Veerle VAN DEN BERGH, Pieter GINIS, Lynn ROCHESTER, Jeffrey M HAUSDORFF, Anat MIRELMAN a Alice NIEUWBOER. Virtual reality for rehabilitation in Parkinson's disease. *Cochrane Database of Systematic Reviews* [online]. [cit. 2021-12-08]. ISSN 14651858. Dostupné z: doi:10.1002/14651858.CD010760.pub2
- [40] CHEN, Yi, Qiang GAO, Cheng-Qi HE a Rong BIAN. Effect of Virtual Reality on Balance in Individuals With Parkinson Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Physical Therapy* [online]. 2020, 100(6), 933-945 [cit. 2021-12-08]. ISSN 0031-9023. Dostupné z: doi:10.1093/ptj/pzaa042
- [41] IMBIMBO, Isabella, Daniele CORACI, Claudia SANTILLI, et al. Parkinson's disease and virtual reality rehabilitation: cognitive reserve influences the walking and balance outcome. *Neurological Sciences* [online]. 2021, 42(11), 4615-4621 [cit. 2021-12-08]. ISSN 1590-1874. Dostupné z: doi:10.1007/s10072-021-05123-3
- [42] Alexander S. Gillis, Valerie Silverthorne, Integrated development environment (IDE) – TechTarget [online]. 2021 [cit. 2021-12-08]. Dostupné z: <https://searchsoftwarequality.techtarget.com/definition/integrated-development-environment>
- [43] Best Virtual Reality (VR) Game Engines – G2 [online]. 2021 [cit. 2021-12-08]. Dostupné z: <https://www.g2.com/categories/vr-game-engine>
- [44] JENNIFER MARTIN, What is a game engine? – University of Silicon Valley [online]. 2021 [cit. 2021-12-08]. Dostupné z: <https://usv.edu/blog/what-is-a-game-engine/>
- [45] Game development terms – unity [online]. 2021 [cit. 2021-12-08]. Dostupné z: <https://unity.com/how-to/beginner/game-development-terms>
- [46] Unity vs Unreal Engine for XR Development: Which One Is Better? [2021 Updated] – Circuit Stream [online]. 2021 [cit. 2021-12-08]. Dostupné z: <https://circuitstream.com/blog/unity-vs-unreal/>

- [47] UNREAL ENGINE, Make something Unreal – unrealengine.com [online]. 2021 [cit. 2021-12-08]. Dostupné z: <https://www.unrealengine.com/en-US/unreal?sessionInvalidated=true>
- [48] Unity Learn – learn.unity.com [online]. 2021 [cit. 2021-12-08]. Dostupné z: <https://learn.unity.com/>
- [49] Unity [online]. 2021 [cit. 2021-12-08]. Dostupné z: <https://unity.com/>
- [50] Develop for the Quest Platform – developer.oculus.com [online]. 2021 [cit. 2021-12-08]. Dostupné z: https://developer.oculus.com/quest/?locale=cs_CZ
- [51] Quest Virtual Reality Check (VRC) Guidelines – developer.oculus.com [online]. 2021 [cit. 2021-12-08]. Dostupné z: <https://developer.oculus.com/resources/publish-quest-req/>
- [52] Down The Rabbit Hole w/ Oculus Quest: Developer Best Practices + The Store – developer.oculus.com [online]. 2021 [cit. 2021-12-08]. Dostupné z: <https://developer.oculus.com/blog/down-the-rabbit-hole-w-oculus-quest-developer-best-practices-the-store/>
- [53] Oculus ADB Drivers – developer.oculus.com [online]. 2021 [cit. 2021-12-08]. Dostupné z: <https://developer.oculus.com/downloads/package/oculus-adb-drivers/>
- [54] Use ADB with Oculus Mobile Devices – developer.oculus.com [online]. 2021 [cit. 2021-12-08]. Dostupné z: <https://developer.oculus.com/documentation/native/android/ts-adb/#mobile-android-debug-intro>
- [55] Introducing Oculus Developer Hub – developer.oculus.com [online]. 2021 [cit. 2021-12-08]. Dostupné z: <https://developer.oculus.com/blog/introducing-oculus-developer-hub/>
- [56] Oculus Developer Hub 2.0 – developer.oculus.com [online]. 2021 [cit. 2021-12-08]. Dostupné z: <https://developer.oculus.com/blog/oculus-developer-hub-20/>
- [57] Oculus Developer Hub for Windows – developer.oculus.com [online]. 2021 [cit. 2021-12-08]. Dostupné z: <https://developer.oculus.com/downloads/package/oculus-developer-hub-win/>
- [58] Virtual Reality Best Practices - docs.unrealengine.com [online]. 2021 [cit. 2021-12-08]. Dostupné z: <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/SharingAndReleasing/XRDevelopment/VR/VRBestPractices/>
- [59] VR Performance Testing - docs.unrealengine.com [online]. 2021 [cit. 2021-12-08]. Dostupné z: <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/SharingAndReleasing/XRDevelopment/VR/VRPerformanceAndProfiling/Overview/>
- [60] JURAS, Grzegorz, Anna BRACHMAN, Justyna MICHALSKA, et al. Standards of Virtual Reality Application in Balance Training Programs in Clinical Practice: A Systematic Review. *Games for Health Journal* [online]. 2019, 8(2), 101-111 [cit. 2021-12-08]. ISSN 2161-783X. Dostupné z: doi:10.1089/g4h.2018.0034

- [61] Android Development - developer.oculus.com [online]. 2021 [cit. 2021-12-08]. Dostupné z: <https://developer.oculus.com/documentation/unity/unity-mobile-performance-intro/>
- [62] RenderDoc for Oculus – developer.oculus.com [online]. 2021 [cit. 2021-12-08]. Dostupné z: <https://developer.oculus.com/downloads/package/renderdoc-oculus/>
- [63] Optimization Tools – developer.oculus.com [online]. 2021 [cit. 2021-12-08]. Dostupné z: <https://developer.oculus.com/documentation/unity/ts-book-tools/>
- [64] Testing and Troubleshooting – developer.oculus.com [online]. 2021 [cit. 2021-12-08]. Dostupné z: <https://developer.oculus.com/documentation/native/android/book-testing/>
- [65] Use RenderDoc for Oculus for GPU Profiling – developer.oculus.com [online]. 2021 [cit. 2021-12-08]. Dostupné z: <https://developer.oculus.com/documentation/unity/ts-renderdoc-for-oculus/>
- [66] TRIEGAARDT, Joseph, Thang S. HAN, Charif SADA, Sapna SHARMA a Pankaj SHARMA. The role of virtual reality on outcomes in rehabilitation of Parkinson's disease: meta-analysis and systematic review in 1031 participants. *Neurological Sciences* [online]. 2020, 41(3), 529-536 [cit. 2021-12-08]. ISSN 1590-1874. Dostupné z: doi:10.1007/s10072-019-04144-3
- [67] IMBIMBO, Isabella, Daniele CORACI, Claudia SANTILLI, et al. Parkinson's disease and virtual reality rehabilitation: cognitive reserve influences the walking and balance outcome. *Neurological Sciences* [online]. 2021, 42(11), 4615-4621 [cit. 2021-12-08]. ISSN 1590-1874. Dostupné z: doi:10.1007/s10072-021-05123-3
- [68] ALBANI, Giovanni, Elisa PEDROLI, Pietro CIPRESSO, Daniel BULLA, Veronica CIMOLIN, Astrid THOMAS, Alessandro MAURO a Giuseppe RIVA. Visual Hallucinations as Incidental Negative Effects of Virtual Reality on Parkinson's Disease Patients: A Link with Neurodegeneration? *Parkinson's Disease* [online]. 2015, 2015, 1-6 [cit. 2021-12-08]. ISSN 2090-8083. Dostupné z: doi:10.1155/2015/194629
- [69] CANO PORRAS, Desiderio, Hadar SHARON, Rivka INZELBERG, Yitzhak ZIV-NER, Gabriel ZEILIG a Meir PLOTNIK. Advanced virtual reality-based rehabilitation of balance and gait in clinical practice. *Therapeutic Advances in Chronic Disease* [online]. 2019, 10 [cit. 2021-12-08]. ISSN 2040-6223. Dostupné z: doi:10.1177/2040622319868379
- [70] FINLEY, James M., Marientina GOTSIS, Vangelis LYMPOURIDIS, Shreya JAIN, Aram KIM a Beth E. FISHER. Design and Development of a Virtual Reality-Based Mobility Training Game for People With Parkinson's Disease. *Frontiers in Neurology* [online]. 2021, 11 [cit. 2021-12-08]. ISSN 1664-2295. Dostupné z: doi:10.3389/fneur.2020.577713
- [71] CIKAJLO, Imre a Karmen PETERLIN POTISK. Advantages of using 3D virtual reality based training in persons with Parkinson's disease: a parallel study. *Journal*

- of NeuroEngineering and Rehabilitation [online]. 2019, 16(1) [cit. 2021-12-08]. ISSN 1743-0003. Dostupné z: doi:10.1186/s12984-019-0601-1
- [72] FENG, Hao, Cuiyun LI, Jiayu LIU, et al. Virtual Reality Rehabilitation Versus Conventional Physical Therapy for Improving Balance and Gait in Parkinson's Disease Patients: A Randomized Controlled Trial. *Medical Science Monitor* [online]. 2019, 25, 4186-4192 [cit. 2021-12-08]. ISSN 1643-3750. Dostupné z: doi:10.12659/MSM.916455
- [73] GALLAGHER, Rosemary, Harish DAMODARAN, William G. WERNER, Wendy POWELL a Judith E. DEUTSCH. Auditory and visual cueing modulate cycling speed of older adults and persons with Parkinson's disease in a Virtual Cycling (V-Cycle) system. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* [online]. 2016, 13(1) [cit. 2021-12-08]. ISSN 1743-0003. Dostupné z: doi:10.1186/s12984-016-0184-z
- [74] YANG, Wen-Chieh, Hsing-Kuo WANG, Ruey-Meei WU, Chien-Shun LO a Kwan-Hwa LIN. Home-based virtual reality balance training and conventional balance training in Parkinson's disease: A randomized controlled trial. *Journal of the Formosan Medical Association* [online]. 2016, 115(9), 734-743 [cit. 2021-12-08]. ISSN 09296646. Dostupné z: doi:10.1016/j.jfma.2015.07.012
- [75] LIAO, Ying-Yi, Yea-Ru YANG, Shih-Jung CHENG, Yih-Ru WU, Jong-Ling FUH a Ray-Yau WANG. Virtual Reality–Based Training to Improve Obstacle-Crossing Performance and Dynamic Balance in Patients With Parkinson's Disease. *Neurorehabilitation and Neural Repair* [online]. 2015, 29(7), 658-667 [cit. 2021-12-08]. ISSN 1545-9683. Dostupné z: doi:10.1177/1545968314562111
- [76] GANDOLFI, Marialuisa, Christian GEROIN, Eleonora DIMITROVA, et al. Virtual Reality Telerehabilitation for Postural Instability in Parkinson's Disease: A Multicenter, Single-Blind, Randomized, Controlled Trial. *BioMed Research International* [online]. 2017, 2017, 1-11 [cit. 2021-12-08]. ISSN 2314-6133. Dostupné z: doi:10.1155/2017/7962826
- [77] PEDREIRA, Glicia, Antonio PRAZERES, Danilo CRUZ, Irênio GOMES, Larissa MONTEIRO a Ailton MELO. Virtual games and quality of life in Parkinson's disease: A randomised controlled trial. *Advances in Parkinson's Disease* [online]. 2013, 02(04), 97-101 [cit. 2021-12-08]. ISSN 2169-9712. Dostupné z: doi:10.4236/apd.2013.24018
- [78] YEN, Chang-Yi, Kwan-Hwa LIN, Ming-Hsia HU, Ruey-Meei WU, Tung-Wu LU a Chia-Hwa LIN. Effects of Virtual Reality–Augmented Balance Training on Sensory Organization and Attentional Demand for Postural Control in People With Parkinson Disease: A Randomized Controlled Trial. *Physical Therapy* [online]. 2011, 91(6), 862-874 [cit. 2021-12-08]. ISSN 0031-9023. Dostupné z: doi:10.2522/ptj.20100050
- [79] YELSHYNA, Darya, Miguel F. GAGO, Estela BICHO, et al. Compensatory postural adjustments in Parkinson's disease assessed via a virtual reality

- environment. Behavioural Brain Research [online]. 2016, 296, 384-392 [cit. 2021-12-08]. ISSN 01664328. Dostupné z: doi:10.1016/j.bbr.2015.08.017
- [80] Unity Manual – OpenXR Plugin [online]. 2022 [cit. 2022-21-05]. Dostupné z: <https://docs.unity3d.com/Manual/com.unity.xr.openxr.html>
- [81] Unity Package documentation – OpenXR Plugin [online]. 2022 [cit. 2022-21-05]. Dostupné z: <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.openxr@1.4/manual/index.html>
- [82] Unity Manual – XR Interaction Toolkit [online]. 2022 [cit. 2022-21-05]. Dostupné z: <https://docs.unity3d.com/2020.1/Documentation/Manual/com.unity.xr.interaction.toolkit.html>
- [83] Unity Package documentation – XR Interaction Toolkit [online]. 2022 [cit. 2022-21-05]. Dostupné z: <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.inputsystem@0.9/manual/Events.html>
- [84] Oculus SDK package version information [online]. 2022 [cit. 2022-21-05]. Dostupné z: <https://developer.oculus.com/downloads/package/unity-integration/>
- [85] Oculus SDK Unity integration documentation [online]. 2022 [cit. 2022-21-05]. Dostupné z: <https://developer.oculus.com/documentation/unity/>
- [86] Unity Manual – ProBuilder tool [online]. 2022 [cit. 2022-21-05]. Dostupné z: <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.probuilder@4.0/manual/index.html>
- [87] Google disk repozitář – parkinsons_app [online]. 2022 [cit. 2022-21-05]. Dostupné z: <https://drive.google.com/drive/folders/1UeR-kY-ItQSDHyRkIrSIbxwg9ZuNoAH?usp=sharing>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT	Vysoké učení technické v Brně
VR	Virtuální realita
PD	Parkinson's disease (Parkinsonova choroba)
HMD	Head-mounted display (náhlavní displej)
PC	Personal computer (osobní počítač)
PCVR	System virtuální reality s nutným připojením k počítači
FOV	Field of view (zorné pole)
IPD	Interpupillary distance (vzdálenost středů očí)
6DOF	Six degrees of freedom (šest směrů volnosti)
Gb	Giga bajt
Mb	mega bajt
Hz	Herz
mm	milimetr
SDK	Software development kit (sada základních vývojových nástrojů umožňující vytváření aplikací na danou platformu)
PTSD	Posttraumatická stresová porucha
fMRI	Funkční magnetická rezonance
L-DOPA	Levodopa (prekurzor dopaminu)
MAO-B	Monoaminoxidáza typu B
TUGT	Timed up-and-go test (Časovaný test vstání a vykročení)
FGA	Functional Gait Assessment (hodnocení posturální stability)
BSS	Bent spine syndrome (syndrom spinální flexe)
IDE	Vývojové prostředí
UE4	Unreal engine 4
USB	Universální sériová sběrnice
TCP	Transmission Control Protocol (protokol transportní vrstvy)
ADB	Android Debug Bridge (nástroj k ladění Android zařízení)
CPU	Centrální procesorová jednotka
GPU	Grafická procesorová jednotka
Level	Aplikací definovaná oblast nebo prostor
LOD	Level of detail (úroveň detailnosti)
FPS	Snímky za sekundu
SSR	Screen Space Reflections (efekt odrazu)
UPDRS	Jednotná stupnice hodnocení Parkinsonovy choroby
VTA	Ventrální tegmentální oblast
SNC	Substantia nigra pars compacta (oblast černé substance)

PŘÍLOHA A – UNITY PROJEKT, UNITY BALÍČEK, SPUSTITELNÁ APLIKACE A VÝSTUPNÍ DATA

Veškeré přílohy jsou dostupné v online repozitáři. [87]

Obsah repozitáře:

- Unity balíček (pro verze 2020.3.23f1) obsahující všechny scény, skripty, materiály, modely atd. (parkinsons_app_package.unitypackage)
- Složka „Project_files“ s kompletní Unity projektem (pro verze 2020.3.23f1).
 - Ve složce "Assets" se nachází scény, skripty, materiály, nastavení vazeb apod.
 - Hotové scény se nachází v adresáři "Scenes" a dále ve složce "Project scenes implemented", ostatní soubory jsou již v odpovídajících původních složkách.
 - Ve složce "Builds" je poslední verze sestavené aplikace – soubor nahraný do zařízení Oculus Quest 2 (Parkinsons_app.apk).
 - Ve složce "Project Settings" jsou nastavení projektu (rozšíření, nastavení pro sestavování a export aplikace atd.).
 - Ve složce "Packages" se nachází informace o potřebných balíčcích, na kterých závisí funkčnost projektu.
 - Ostatní složky projektu jsou po otevření automaticky vygenerovány.
- Složka „Saved_data“ se soubory z výstupními daty aplikace.
- Kopie bakalářské práce ve formátu PDF (bakalarska_prace_kadlec_223381.pdf).
- Soubor „README.txt“ s krátkým popisem aplikace a s obsahem repozitáře v Českém a Anglickém jazyce.