

UNIVERZITA KARLOVA
FAKULTA HUMANITNÍCH STUDIÍ



Oliver Kobián

Dopad metody pohybu na navigaci a prostorovou paměť ve
virtuální realitě

Bakalářská práce

Vedoucí práce/Školitel: Mgr. Lukáš Hejtmánek Ph.D.

Praha, 2022

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem práci vypracoval samostatně. Všechny použité prameny a literatura byly řádně citovány. Práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

V Praze

dne

Podpis.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval Mgr. Lukáši Hejtmánkovi Ph.D. za vedení mé práce, konzultace, ochotu pomoci a jeho cenné rady a připomínky.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá metodami pohybu ve virtuální realitě. Specificky je zaměřena na dopad těchto metod na navigaci a prostorovou paměť. V teoretické části práce jsou přiblížena související témata jako je navigace, prostorová paměť, optický tok a problematika VR. V praktické části je nejprve uvedeno do problematiky výběru typu pohybu ve VR. Dále je zde předložen experiment, který porovnává metody pohybu teleportace a teleportace s optickým tokem. Metody pohybů jsou porovnávány pomocí experimentu ve virtuálních bytech. Experiment byl rozdělen na dvě části. V první části bylo úkolem navigovat v prostředí bytů a hledat zadané předměty. V druhé části experimentu bylo úkolem ukazovat na polohy těchto předmětů v prázdném prostředí za pomoci jediného referenčního bodu. Další část měření byla prováděna pomocí dotazníkových šetření, které se zaměřují na VR nevolnost a preferenci pohybů. Z výsledků se ukázal signifikantní rozdíl pouze v době potřebné ke splnění první části experimentu – teleportace s optickým tokem se prokázala jako rychlejší. Rozdíly v ušlé vzdálenosti, v prostorové paměti, způsobené nevolnosti a preference typů pohybu z výsledků nebyly prokázány.

Klíčová slova: virtuální realita, prostorová paměť, prostorová navigace, pohyb, ovládní

Abstract

This bachelor thesis deals with locomotion methods in virtual reality. It focuses on the impact of these methods on navigation and spatial memory. In the theoretical part of the thesis topics such as navigation, spatial memory, optical flow and specifics of VR are introduced. In the empirical part, the issue of locomotion type selection in VR is described. After that an experiment is presented that compares the locomotion method teleportation and teleportation with optical flow. The locomotion methods are compared by an experiment in virtual apartments. The experiment had two parts. In the first part, the task was to navigate in the apartments and to find assigned objects. In the second part of the experiment, the task was to point to the positions of these objects in an empty environment with only one reference point. The other part of the procedure was conducted using questionnaires that focus on VR motion sickness and VR locomotion method preference. The results showed a significant difference only in the time required to complete the first part of the experiment, which focused on navigation skills – teleportation with optical flow has proven to be faster. Differences in traveled distance, spatial memory, VR sickness and preference of locomotion method from the results were not proven.

Key words: virtual reality, spatial memory, spatial navigation, locomotion, control

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Navigace	2
2.1	Referenční rámce	2
2.2	Strategie navigace	3
2.3	Idiotetická vodítka.....	3
2.3.1	Integrace dráhy	3
2.3.2	Chyby integrace dráhy	3
2.3.3	Chybějící idiotetická vodítka ve VR.....	4
2.4	Alotetická vodítka	4
2.4.1	Navigace trasou.....	5
2.4.2	Kognitivní mapa	5
3	Prostorová paměť.....	6
3.1	Typy paměti důležité pro pohyb.....	6
3.1.1	Prostorové informace	6
3.1.2	Informace atributů.....	6
3.2	Chybovost prostorové paměti.....	7
3.3	Prostorová aktualizace.....	7
3.4	Výzkum prostorové paměti a prostorové aktualizace ve VR	8
4	Optický tok	9
4.1	Optický tok při pohybu	9
4.2	Námítky proti optickému toku v navigaci	10
4.3	Výzkum optického toku ve VR.....	10
5	Virtuální realita	12
5.1	Virtuální prostředí	12
5.2	Využití VR	12
5.3	Imerze a interaktivita.....	12
5.4	Výhody použití VR v navigačních výzkumech.....	13
5.4.1	Navigace bez pohybu.....	13
5.4.2	Plná kontrola nad prostředím	13
5.4.3	Přesné zaznamenávání	14
5.5	Nevýhody	14
5.5.1	Nevolnost vyvolaná VR.....	14
5.5.2	Etický problém.....	14
5.5.3	Problém s ovládáním, funkčností.....	15
5.5.4	Nepřirozený pohyb	15
5.5.5	Cena	15
5.6	Je navigace ve VR reálná navigace?	16
6	Praktická část	17
6.1	Metody pohybů	18
6.2	Cíle výzkumu	18
6.3	Aplikační potenciál	18

6.4	Zkoumané typy pohybů.....	18
6.4.1	Teleportace.....	18
6.4.2	Výzkumy teleportace	19
6.4.3	Teleportace s optickým tokem	20
6.4.4	Studie používající podobnou metodu.....	20
6.5	Výzkumná otázka.....	21
6.5.1	Hypotézy.....	21
6.6	Metoda výzkumu.....	23
6.6.1	Hardware.....	23
6.6.2	Procedura	23
6.6.3	Vzorek.....	24
6.6.4	Popis experimentu.....	24
6.6.5	Změna verze experimentu.....	28
6.6.6	Ztráta dat.....	28
6.6.7	Dotazníkové metody	29
6.6.8	Etické otázky výzkumu.....	29
6.7	Analýza	30
6.8	Předzpracování dat	30
6.8.1	Data z první části experimentu.....	30
6.8.2	Data z druhé části experimentu	30
6.8.3	Simulator sickness questionnaire	31
6.8.4	VR Locomotion Experience Questionnaire	32
6.9	Výsledky	34
6.9.1	Porovnání verzí	34
6.9.2	Navigační rozdíl mezi typy pohybu	35
6.9.3	Vliv pohlaví	37
6.9.4	Výsledky Simulator sickness questionnaire.....	38
6.9.5	Výsledky VR Locomotion Experience Questionnaire	40
7	Diskuze	42
7.1	Výsledky experimentu.....	42
7.2	Rozdíly v navigačním úkolu mezi pohlavími.....	42
7.3	Výsledky dotazníku o způsobené nevolnosti	43
7.4	Výsledky dotazníku o preferenci pohybu	44
7.5	Celková diskuze	45
8	Limity.....	46
9	Závěr	48
10	Bibliografie	49
11	Seznam obrázků, tabulek a grafů	55

1 Úvod

Virtuální realita (VR) je novodobým fenoménem, který každým rokem získává větší popularitu. VR je rozhraní, které simuluje 3D prostředí. Ve virtualitě se zpravidla můžeme pohybovat a obvykle s prostředím můžeme nějakým způsobem interagovat. To potom otevírá celou řadu možností. Simulovat můžeme reálné situace, ale také nereálné anebo jinak neproveditelné. Největší popularitu mají virtuální systémy v zábavním průmyslu, kde počítačovým hrám dodávají úplně nový zážitek. V poslední době se různé formy virtuální reality dostávají do dalších odvětví a zjišťujeme tak, že mají mnoho způsobů použití. Příkladem mohou být různé výcvikové programy, používá se ve školství, lékařství a jejich použití se stále rozšiřuje. Dále se VR velmi často používá v psychologických a neuropsychologických výzkumech pro studium kognitivních procesů například paměti a navigace. Problémem navigace a navigačních výzkumů ve VR je častá dezorientace a také nevolnost vyvolaná sensorickým konfliktem. Proto je důležitý výběr správné metody pohybu, která by těmto problémům alespoň do určité míry předcházela.

Cílem této práce je zkoumání těchto způsobů pohybu a jejich dopad na navigaci a prostorovou paměť. V rámci teoretické části práce bude přiblížena problematika navigace, prostorové paměti, optického toku a VR. Všechna tato témata úzce souvisí s výzkumným cílem práce.

Praktická část je potom hlouběji zaměřena na výzkum navigace a metod pohybů ve VR. V této části je potom představen experiment, který byl prováděn za účelem porovnání vybraných způsobů pohybu. Pomocí experimentu ve virtuálních bytech bude zkoumáno, jak vybrané typy pohybů ovlivňují navigaci a prostorovou paměť. Pomocí dotazníkových šetření budou zkoumány další aspekty těchto pohybů – VR nevolnost a preference typu pohybu.

2 Navigace

Navigace nás provází každým dnem. Navigujeme, když jdeme například nakoupit, k doktorovi, do školy, do práce apod. Je to jeden z kognitivních procesů, který používají všechny zvířecí druhy. Navigace je koordinovaný a cílevědomý pohyb skrze prostředí. Informaci pro navigování poskytuje kombinace smyslů a kognitivních systémů (Montello, 2005). Dle Montella (2005) se navigace skládá z lokomoce a hledání trasy. Lokomoce je pohyb v prostředí, které je přístupné našim smyslům a motorickým systémům. Hledání trasy je cílevědomý, plánovaný a efektivní pohyb prostředím (Montello, 2005). Navigaci používají všechna zvířata, aby našla své partnery, jídlo, přístřeší, mladá a vodu. Často to znamená orientaci na velké vzdálenosti s omezeným množstvím vodítek (Grieves & Jeffery, 2017)

Naše hlavní navigační nástroje jsou kognitivní schopnosti – vnímání, paměť, orientace v prostoru – a pohybové schopnosti, které využívají informace z kognitivních systémů a vytvářejí tak pohyb (Montello, 2005). Existuje několik typů navigačních strategií, které využíváme a žádná z nich není dominantní. Lidé i zvířata mohou strategie měnit v závislosti na situaci (Geva-Sagiv et al., 2015). Kontrola pohybu a navigace závisí na spojení informací z vizuálních, vestibulárních a somatosenzorických systémů. Když se navigátorovi nedostává informace u jednoho nebo více systému, centrální nervová soustava mění váhu smyslových vstupů, aby udržela vhodné posturální reakce (van der Kooij et al., 2001).

2.1 Referenční rámce

V navigaci rozlišujeme mezi dvěma referenčními rámci.

Egocentrický rámec obsahuje prostorové informace o tom, kde v prostředí se jednotlivec nachází. Navigátor je tedy centrum reference a všechny orientační body jsou relativní vůči pozici navigátora (Colombo et al., 2017).

Alocentrický rámec obsahuje prostorové informace o tom, kde se objekty nachází vůči sobě. Tento způsob zobrazuje prostředí pomocí vzájemných spojení vnějších orientačních bodů. Navigátor je jen jedním z bodů reprezentace (Colombo et al., 2017).

Většina autorů se shoduje v tom, že oba rámce umožňují vývoj prostorové představitelnosti nutné k dosažení navigace (Burgess, 2006). Úspěšné navigování se neopírá jen o jeden rámec, je potřebný schopnost měnit a kombinovat různé strategie závislé na prostředí (Colombo et al., 2017). Jednotlivci se také liší v tom, který z rámců více preferují (Marchette et al., 2011).

2.2 Strategie navigace

Při navigaci používáme dva typy vodítek – idiotetická a alotetická. V následující sekci budou popsána tato vodítka a jednotlivé strategie navigace, které se na těchto vodítcích zakládají.

2.3 Idiotetická vodítka

Idiotetická vodítka jsou vnitřní smyslová vodítka, která vznikají přímo v těle. Jedná se například o vestibulární a propioceptivní podněty. Idiotetická orientace tedy využívá podněty, které pochází z pohybu samotného jedince. Při této orientaci nezískáváme informace o pohybu z okolí, ale z vestibulárních a somatosenzorických systémů. Idiotetická vodítka jsou využívána například při integraci dráhy (Mittelstaedt & Mittelstaedt; 1980; Stepankova et al., 2003; Stuchlík, 2003). Příkladem typu navigace využívající idiotetická vodítka je navigace praxí. Jak již napovídá název, jedná se o strategii, která využívá naučené sekvence pohybů.

2.3.1 Integrace dráhy

Další ze strategií, která využívá idiotetická vodítka je integrace dráhy. Mnoho zvířat včetně lidí je schopno vrátit se zpátky na začátek své cesty a spoléhá se jen na vnitřní pohybová vodítka bez použití smyslových podnětů. Integrace dráhy je schopnost orientace v prostoru bez využití vnějších podnětů (Etienne & Jeffery, 2004). Podle Etienne & Jeffery (2004) se dané zvíře spoléhá na odhadnutí své pozice vzhledem k nějakému referenčnímu bodu (například hnízdu) a také na signály, které pocházejí z jeho vlastního pohybu. Tento typ navigace vyžaduje vnitřní reprezentaci polohy navigátora, která je udržovaná nezávisle na bezprostředních vnějších podnětech a mechanismus, který zaznamenává polohu během jeho pohybu a je založený na idiotetických vodítcích (Samsonovich & McNaughton, 1997). Cílem této strategie navigace je získat vektor (homing vektor), pomocí kterého se dokážeme dostat zpět na místo, odkud jsme vyrazili (Stuchlík, 2003). Integrace dráhy probíhá neustále a automaticky, kdykoliv se navigátor pohybuje. Může tak pohyb kdykoliv přerušit a vrátit se na začátek své cesty.

2.3.2 Chyby integrace dráhy

“Během kontinuálních idiotetických výpočtů dochází ke kumulativní chybě dané faktem, že jednotlivé odhady velikostí lineárních a rotačních segmentu zakřivené trajektorie jsou náchylné k náhodné chybě.“ (Stuchlík, 2003, s. 4). Čím delší cestu navigátor urazí, tím

větší je odchylka. Chybovat může v přecenění či podcenění vzdálenosti, kterou musí urazit pro návrat na počáteční pozici, nebo může zvolit špatný úhel homing vektoru. Chyby u lidské integrace dráhy pochází z různých zdrojů. Podle Stangl et al. (2020) například z narůstajícího hluku, špatného odhadu rychlosti a z degradace paměti. Při kumulaci těchto chyb je pak nutné zaměřit se na využití vnějších orientačních bodů.

2.3.3 Chybějící idiotetická vodítka ve VR

Jedním z problémů navigace a navigačních výzkumů ve VR jsou chybějící idiotetická vodítka. Ve virtuální realitě mohou používané způsoby pohybu často zkreslovat nebo zbavovat uživatele důležitých signálů o vlastním pohybu (Paris et al., 2019). Pro potřeby výzkumů se obvykle využívají stacionární metody pohybu. To znamená, že navigátor stojí nebo sedí v reálném světě na místě a pohybuje se pouze imaginárně ve VR. Jelikož se jedinec reálně nepohybuje nezískává zpětnou vazbu z vestibulárních a somatosenzorických systémů. Tomuto problému se dá předejít například využitím metody pohybu reálné chůze. Tato metoda ale vyžaduje větší prostor pro realizaci než stacionární metody.

Metodu pohybu reálné chůze ve svém výzkumu využili He et al. (2016) a zároveň ji porovnávali s jednou ze stacionárních metod. Ve své sérii experimentů zjišťovali jak alotetická a idiotetická vodítka ovlivňují volbu referenčního rámce při integraci dráhy. V první části za použití metody reálné chůze se účastníci při výpočtu homing vektoru v triangulačním úkolu spoléhali na egocentrický referenční směr navzdory přítomnosti vodítek z prostředí. V druhé části experimentu byla použita stacionární metoda pohybu a účastníci tak z pohybu nezískávali idiotetická vodítka. Spoléhali se pak na referenční směr, který byl definován počáteční orientací (He et al., 2016).

2.4 Alotetická vodítka

Alotetická vodítka pocházejí z okolního prostředí. U člověka se jedná zejména o vizuální podněty, ale může jít i o podněty čichové, sluchové a hmatové. Alotetická orientace funguje na základě odhadu pozice v závislosti na vzdálenosti od vnímaných orientačních bodů. Alotetická vodítka jsou použita například při tvorbě kognitivních map (Jeffery & O'Keefe, 1999; O'Keefe & Nadel, 1978; Stepankova et al., 2003; Stuchlík, 2003).

Příkladem alotetické orientace jsou například experimenty v Morrisově vodním bludišti. Je to kruhový bazén, kde se krysy učí hledat cestu ke skrytému platformě umístěné těsně pod hladinou na základě informací z vnějších orientačních bodů. Idiotetická informace

zde hraje minimální roli. Potkání jsou trénováni hledat platformu potmě a postupně ji nachází stále rychleji (Morris, 1984).

2.4.1 Navigace trasou

Jeden z typů navigace využívající alotetická vodítka je navigace trasou. O'keefe a Nadel (1978) ji popisují jako jednouchou po sobě jdoucí reakci na stimuly. Příkladem je dle O'keefe a Nadel (1978) držení se vysvětlené cesty – jděte rovně, potom u vysokého stromu zahněte doleva pak dále pokračujte rovně atd. Tento typ navigace se skládá z jednotlivých instrukcí, které na sebe musí navazovat (O'keefe & Nadel, 1978). Nevýhodou navigace trasou je její chybovost. Můžeme nepochopit instrukci, důležité navigační body se také mohou měnit (spadlý strom, napadaný sníh), případně během navigace nedáváme pozor a propásneme jeden z mezikroků (O'keefe & Nadel, 1978). Instrukce také musí být použity ve správném pořadí a neumožňují navigátorovi svobodnou volbu. Pokud se při cestě ztratíme, nebo se jen odkloníme od popsané cesty, je velmi těžké dostat se zpátky. Obvykle se opět najdeme jen pomocí náhodného bloudění. (O'keefe & Nadel, 1978).

2.4.2 Kognitivní mapa

Kognitivní mapy jsou další ze strategií využívajících alotetická vodítka. Tento termín byl poprvé použit roku 1946 Edwardem C. Tolmanem. Kognitivní mapy popisuje jako vnitřní obrazy již poznané skutečnosti, které slouží pro lepší navigaci. Objevil je při experimentu s krysami v bludišti. Nejprve dal do bludiště krysu, které byly najezené a nebyly tak zaměřeny na získávání potravy. Když tyto stejné krysy byly dány do bludiště později hladové, našly potravu velmi rychle – rychleji než krysy, které v bludišti nikdy nebyly. Teorie kognitivní mapy je umožněna pochopením prostorových vztahů a snahou organismu se orientovat v prostředí. Můžeme ji tedy chápat jako dovednost si v mysli vytvořit reprezentaci prostředí. Díky kognitivním mapám se v již poznaných prostředích dokážeme orientovat snadno a spolehlivě (Tolman, 1948). „Kognitivní mapy nejsou jen souborem prostorových mentálních struktur, ale také obsahují atributivní hodnoty a významy.“ (Kitchin, 1994, s.2) V kognitivních mapách se nachází místní informace, ale také informace o prostorových vztazích (Kaplan, 1976).

Kognitivní mapy ve zkratce znamenají schopnost lidí ukládat si do paměti informace o prostředí, ve kterém se nacházejí a tyto informace pak používají pro prostorová rozhodnutí, a tedy pro navigaci v prostředí. (Kitchin, 1994)

3 Prostorová paměť

Součástí mého experimentu je jedním z úkolů zapamatování si polohy několika předmětů a následné ukázání/odhadnutí jejich směru. Tento úkol úzce souvisí s problematikou tvorby kognitivních map a prostorové paměti. Samotné tvoření kognitivních map a navigace obecně úzce souvisí s prostorovou pamětí, jejím tvořením a ukládáním. Paměť jako taková je jedním z kognitivních procesů, které navigaci ovlivňují (Fagan et al., 2013).

Tato schopnost využívá krátkodobou paměť, specificky paměť pracovní, která ukládá informace, se kterými právě pracujeme (Olton, 1977). Prostorová paměť je jedním z druhů paměti a slouží k zapamatování informací z prostředí. Tyto informace jsou potom velmi důležité pro orientaci a navigaci v prostoru. Prostorová paměť u lidí se zakládá na kombinaci egocentrické reprezentace s alocentrickými (Burgess, 2006).

3.1 Typy paměti důležité pro pohyb

Fagan et al. (2013) rozlišuje dva různé typy paměti, které jsou pro pohyb důležité, a které závisí na různých typech informace. Prostorová paměť zpracovává prostorové vztahy a paměť atributů zpracovává vlastnosti předmětů z prostředí. Obě mohou pracovat společně a ovlivňovat pohyb. Prostorová paměť pak využívá prostorové informace a paměť atributů využívá informace atributů.

3.1.1 Prostorové informace

Prostorová informace umožňuje zvířeti zmírnit nejistotu ohledně jeho pozice (vzdálenost a směr) vzhledem k objektům v prostředí a místům. Prostorová informace obsahuje například sensorické charakteristiky specifického místa, ale také zahrnuje rychlost a směr pohybu (Fagan et al., 2013).

3.1.2 Informace atributů

Informace atributů jsou informace, které se týkají daných vlastností prostředí a předmětů bez závislosti na jejich poloze. Informace uchovávané v paměti atributů je potom například hojnost nebo typy jídla (Fagan et al., 2013).

Zmíněné dva typy informací a paměti jsou potom vzájemně propojené. V paměti se ukládá například prostorová informace o místu výskytu a kvalitě potravy. Dané místo je potom informace prostorová a kvalita tohoto místa je informace atributů. Jedním z dalších funkcí paměti atributů je například vyhýbání se nedávno navštíveným, a tak již vyčerpaným

místům. Paměť atributů tak ovlivňuje paměť prostorovou a naopak (Fagan et al., 2013). Důležitý zdroj pro zvíře anebo naopak pro něj nebezpečné místo jsou uchovávány v paměti zvířete déle a výrazněji než místa s neutrálními vlastnostmi (Milinski, 1994).

Prostorová paměť poskytuje zvířatům i lidem mnoho výhod. Například je to lepší volba různých důležitých míst. Mezi tyto výhody patří lepší výběr kritických míst, jako jsou skrýše potravy, místa pro hnízdění nebo úkryty pro mláďata (Fagan et al., 2013). Ve větším měřítku potom pomáhá prostorová paměť při navigaci v krajině.

Navigace u lidí se odvíjí od prostorové paměti. S tou úzce souvisí tvorba kognitivních map, které používáme, abychom zachytili svět okolo nás. Tyto kognitivní mapy potom zachycují důležité informace z okolního prostředí (Wang & Spelke, 2002).

3.2 Chybovost prostorové paměti

Se zpracováním prostorové informace a s prostorovou pamětí souvisí také nevýhody a chybovost jako s jakýmkoliv jiným typem paměti. Jak kapacita pro ukládání vzpomínek, tak i proces jejich kódování a vyvolávání jsou spojeny s energetickými a materiálními náklady. Uchovávání přesných informací je neustálý a náročný proces (Dukas, 1999). S rostoucí kapacitou paměti například roste i pravděpodobnost, že se dvě vzpomínky budou vzájemně ovlivňovat nebo překrývat. Nové vzpomínky tak snižují přesnost vzpomínek starších a staré vzpomínky zároveň brání přesnému zaznamenávání nových. Při této interferenci může docházet až ke smazání vzpomínek (Bouton, 1993). To potom může vést i k úplně chybným vzpomínkám a následným chybám v navigaci a prostorové orientaci. Větší paměť a kognitivní kapacita také vyžadují delší spánek. Během spánku se naše vzpomínky ukládají a také formují. Spánek je tak velmi důležitou součástí tohoto procesu (Stickgold, 2005).

3.3 Prostorová aktualizace

Při pohybu se neustále mění prostorový vztah mezi navigátorem a okolním světem. Prostorová aktualizace je kognitivní proces, který tyto vztahy při pohybu vypočítává. Zvířata, včetně lidí, se neustále pohybují z jednoho místa na druhé a otáčejí se z jednoho směru do druhého. Jak se mění poloha a orientace zvířete, mění se i prostorový vztah mezi zvířetem a okolním prostředím (Wang & Brockmole, 2003). Wang a Brockmole (2003) uvádí příklad šálku, který se před pozorovatelem při otáčení doprava posune doleva. Aby tedy mohl na šálek dosáhnout, musí při svém pohybu také sledovat polohu šálku.

Jedná se o správné sladění svého (egocentrického) prostorového rámce se svou skutečnou polohou vzhledem k prostředí a vykonávané činnosti. Pokud k tomuto sladění nedojde a egocentrická pozice reprezentovaná člověkem není stejná jako pozice vyžadovaná úkolem, výkonnost dané činnosti je zhoršena. Člověk se neustále pohybuje a egocentrická poloha se tak neustále mění. Je třeba ji neustále uvádět do souladu s novými prostorovými informacemi (Farrell & Robertson, 1998).

3.4 Výzkum prostorové paměti a prostorové aktualizace ve VR

Ve studii Wana et al. (2009) bylo zkoumáno, zda prostorová aktualizace probíhá ve virtuální realitě stejně jako ve skutečném prostředí. Účastníci se učili polohu zadaných míst ve skutečné místnosti a v místnosti virtuální. Poté se se zavázanýma očima otočili čelem k cílům buď v místnosti, nebo ve virtuální kuchyni, a před otočením a po něm ukazovali na polohu cílů. Dle výsledků účastníci této studie aktualizovali svou polohu v obou prostředích stejně efektivně. Výsledky také naznačují, že lidé automaticky aktualizují virtuální prostředí stejně jako prostředí skutečné, i když je virtuální prostředí postaveno proti prostředí reálnému (Wan et al., 2009).

4 Optický tok

Jedním ze systémů kontrolujících a určujících navigaci je zrak a s tím související optický tok. Optický tok definuje Gibson (1950) jako mapování pohybu okolí, při soustředění se na jeden bod při pohybu směrem k němu. Gibson znal a dále rozvedl hloubkové podněty (depth cues) a popsal texturové podněty (texture gradient cue) (Koenderink, 1986). Většina povrchů má určitou texturu. Vzdalováním se od předmětu se zjemňuje textura jeho povrchu. Bez ohledu na vzdálenost od objektu tato textura pokrývá stále stejnou plochu a pomáhá nám určit skutečnou velikost předmětu (Gibson, 1950; Koenderink, 1986).

Předměty v prostředí potom slouží jako obrazy, ze kterých získáváme optický tok. Z optického toku získáváme důležité informace o pohybu a uspořádání okolí. Pozorovatel navíc během pohybu optický tok řídí, a tyto informace pak dále aktualizuje (Koenderink, 1986).

4.1 Optický tok při pohybu

Lidé využívají nepřetržitou zpětnou vazbu z očí k tomu, aby mohli interagovat s neustále se měnícím prostředím. Zároveň s vizuálními vodítky také funguje senzorní aktivita způsobená samotným pohybem jedince (self-motion). Optický tok je průběžně zpracováván a umožňuje řešit různé úkoly. Například odhad pohybu navigátora (Bruss & Horn, 1983; Koenderink, 1986), segmentace obrazu na jednotlivé pohybující se prvky nebo jejich přesun do pozadí či do popředí (Koenderink, 1986; Weiss, 1997) Optický tok nám také dává informace o čase, který zbývá do střetu s objekty v prostředí (Alenya et al., 2009). Také zajišťuje odhad vzdáleností všech viditelných objektů. Dále přináší informace, které jsou důležité pro zachování egocentrické orientace a lokalizace. Optický tok nám také dodává informace z vnějšího prostředí o prostorové struktuře okolí, včetně relativního pohybu objektů (Koenderink, 1986).

James Gibson (1950) navrhl, že směřování k určitému cíli, a tedy i pohyb je založen na optickém toku. Když se pozorovatel pohybuje rovně, je podle Gibsona (1950) produkován radiální vzor optického toku s ohniskem expanze (FOE) v daném směru pohybu nebo směru hlavy. Je ale také možné, že se pohybujeme pouze směrem k vnímanému směru cíle (Warren et al., 2001).

4.2 Námitky proti optickému toku v navigaci

Někteří autoři jsou ale naopak proti myšlence, že optický tok kontroluje pohyb. Ve studii Rushtona et. al (1998) byly participantům nasazeny brýle s optickým hranolem. Tento hranol mění vnímanou egocentrickou polohu objektu vzhledem ke středové linii těla. Protože celý obraz je vychýlen hranolem, poloha FoE vzhledem k cíli a všem ostatním objektům v prostředí se nemění. Předpokladem této studie bylo, že pokud pohyb řídí vnímaná poloha (ne optický tok), pak by umístění optického hranolu před oči mělo narušit vnímání a navigační směr. Při pohybu s brýlemi s hranolem se participantů opravdu pohybovali po vychýlené dráze. Z výsledků tak vyšla chyba směru a autoři na základě tohoto výsledku usoudili, že dominantním vodítkem při pohybu je vnímaná poloha, a ne optický tok (Rushton et al., 1998).

Naopak se proti nim ohradili (Lappe & van Ben Berg, 1999). Ve svém reakčním článku sice souhlasí s tím, že pohyb není založen jen na teorii optického toku, ale také není založen pouze na vnímané poloze. Naopak je podle nich pohyb založen na kombinaci obou. Lappe & van Ben Berg (1999, s. 1) zároveň také vyvracejí výsledky ze studie s optickými hranoly:

Ačkoli vyrovnání FOE s cílem umožní pohyb směrem k cíli, není to v žádném případě dostatečná informace pro určení konkrétního požadovaného směru pohybu. K tomu je třeba všechny vizuální informace transformovat do egocentrického rámce, což zahrnuje i transformaci vizuálního směru, který je však ovlivněn optickým hranolem. Transformace do egocentrického rámce je nutná k tomu, abychom mohli řídit naši chůzi, a právě tato transformace musí být rekalibrována, když má navigátor nasazeny brýle s hranolem.

4.3 Výzkum optického toku ve VR

Studie Warrena et al. (2001) testovala vliv optického toku na navigaci ve virtuálním prostředí. Pomocí experimentu testovali, zda optický tok ovlivňuje navigaci směrem k určenému cíli. Ve studii stanovili dvě hypotézy – hypotézu optického toku (navigátor se pohybuje na základě optického toku a umísťuje FOE na cíl) a hypotézu egocentrického směřování (navigátor vnímá vizuální směr cíle vzhledem k poloze svého těla). Nejprve byl optický tok úplně odstraněn a účastníci se pohybovali po vychýlené dráze. Při postupném přidávání určitých prvků, které dodávaly optický tok do experimentu se křivka pohybu postupně zmenšovala. Z výsledků tedy vyplývá, že se navigátor pohybuje podle obou teorií,

ale pokud je k dispozici optický tok, zaměřuje se spíše na pohyb na jeho základě. A pokud optický tok není přítomen vůbec, pohybují se na základě egocentrického směřování (Warren et al., 2001). Tento výsledek souhlasí s výše zmíněným. Tedy za určitých podmínek lidé preferují pohyb na základě optického toku, ale také jsou schopni se pohybovat pouze pomocí egocentrické navigace.

Závěrem této kapitoly lze říci, že teorie optického toku není jedinou strategií navigace s použitím vizuálních vodítek. Zároveň však je optický tok velmi důležitou součástí kontroly pohybu. Optický tok informuje náš mozek o našem aktuálním směru pohybu a následně tuto informaci transformuje do egocentrického rámce. Optický tok je tak velmi důležitý, abychom mohli řídit naši chůzi (Lappe & van Ben Berg, 1999).

5 Virtuální realita

5.1 Virtuální prostředí

Virtuální prostředí (virtual environments – VE) je počítačové rozhraní, které simuluje 3D prostředí. V tomto simulovaném prostředí se můžeme pohybovat a zpravidla s ním můžeme nějakým způsobem interagovat, či ho manipulovat. VE mohou být zobrazeny na obrazovce počítače. V tomto případě se jako ovládání používá klávesnice a myš. Dalším typem VE je virtuální realita (VR). VR pro zobrazení simulovaného prostředí používá head mounted display (HMD) tedy jakousi podobu brýlí, které si uživatel nasadí na hlavu a pomocí binokulárních vodítek vidí prostředí přímo, jako by se v něm nacházel. Ovládají se obvykle pomocí ovladačů a umožňují tak uživateli lepší, pohodlnější a přirozenější kontrolu nad prostředím, než je tomu u myši a klávesnice. Dalším typem VE je také rozšířená realita (augmented reality – AR). AR používá dosazení digitálního objektu do reality pomocí 3D skenů okolí – obrazovkou daného zařízení pak můžeme prostor sledovat. Pro potřeby mého experimentu jsem použil VR. Lidé se ve VR mohou pohybovat ve velkých prostorách, ale zároveň mohou v realitě být v prostoru malém – pro simulaci VR nepotřebujeme velký prostor, stačí nám potřebný hardware a můžeme se do VR dostat, aniž bychom se pohnuli z místa.

5.2 Využití VR

Využití VR je zejména v herním průmyslu, ale používá se v psychologii i v neurovědách například pro studium kognitivních schopností jako je paměť a navigace. Dále se VR používá v lékařství – například k výcviku či přípravě na operaci – jakákoliv situace může být nasimulována a také může pomoci si představit lidské tělo. VR je také důležité u chirurgických robotů, kde je používána pro ovládání robotické ruky chirurgem. VR se také používá jako forma expoziční terapie (VRET) pro léčení úzkostných poruch (Powers & Emmelkamp, 2008), sociálně-úzkostných poruch, posttraumatických stresových poruch a panických poruch (Carl et al., 2019). S vývojem VR se začíná její využití implementovat do různých dalších odvětví - např. ve vzdělání, v obchodu, v automobilovém průmyslu atd.

5.3 Imerze a interaktivita

Důležitými pojmy ve VR jsou imerze a interaktivita. Imerze nebo presence (můžeme také říct ponoření) znamená ponoření do virtuálního světa – tedy jako bych v simulovaném světě opravdu byl. Ponoření se je objektivní úroveň smyslové věrnosti, kterou systém VR

poskytuje (Bowman & McMahan, 2007). Interaktivita znamená možnost s virtuálním světem interagovat (Zheng et al., 1998).

Novodobé VR systémy také často mívají zabudované sledování pohybu (motion-tracking), což do jisté míry umožňuje i případný pohyb reálným prostředím (záleží na typu používaného VR systému a potřebném prostoru). Velmi často již také bývá sledování pohybu i v ovladačích, což umožňuje lepší interakci s virtuálním prostředím. Uživatel může například ve virtuálním prostředí sbírat předměty, interagovat s nimi, otevírat dveře apod. Oba tyto faktory dále prohlubují míru imerze a interaktivity a zvyšují tak ekologickou validitu výzkumů ve VR.

5.4 Výhody použití VR v navigačních výzkumech

5.4.1 Navigace bez pohybu

Jednou z výhod použití VR při navigačních experimentech je možnost zkoumání participantů, aniž by se pohybovali. Vzhledem k tomu, že mnoho zobrazovacích metod v neurovědách (MRI, MEG, EEG...) nepohyblivost měřeného pacienta, není možné tyto metody použít při zkoumání navigace. VR naopak umožňuje simulaci navigace, bez toho, aniž by se participant v reálném světě musel pohybovat a umožňuje tak využití zobrazovacích metod (Fajnerová, 2017). Z toho také plyne další výhoda, a tou je možnost měření v menších prostorách. Ve virtualitě se dají nejenom napodobit reálné situace, ale také se zde dají vytvořit situace zcela nereálné, nebo neproveditelné v reálném světě. Můžeme například navrhnout celá města a uživatel je může procházet z pohodlí svého domova. Toto pak může být velkou výhodou v navigačních výzkumech. Stejně tak se tato výhoda projevila i v rámci mého experimentu. Pro experiment mi stačila malá místnost (prostor zhruba 3x3 metry) a účastníci měli možnost procházet bytové jednotky z místa stání.

5.4.2 Plná kontrola nad prostředím

Pokusy v reálném prostředí nám často způsobují problémy pro vytvoření ideálních experimentálních podmínek. Během experimentů v realitě může docházet ke zcela nečekaným problémům, které mohou narušit průběh pokusu. Tento problém ve VR zcela odpadá. VR nám umožňuje vytvářet experimenty blízké reálným situacím a zároveň nám poskytuje plnou kontrolu nad průběhem experimentu. “Virtuální realita tak může představovat jakousi realistickou laboratoř klinické psychologie, kde je možné studovat chování, emoce a myšlení lidí s možností budoucí intervence opět za jejího využití” (Fajnerová, 2017, s. 761).

5.4.3 Přesné zaznamenávání

Další velkou výhodou je možnost přesného zaznamenání celého průběhu experimentu. Máme tedy možnost podrobného záznamu chování dané osoby (Fajnerová, 2017). V případě mého experimentu stačilo dokončit experiment a stáhnout sesbíraná data z VR brýlí.

5.5 Nevýhody

5.5.1 Nevolnost vyvolaná VR

Zároveň je ale absence reálného pohybu i nevýhodou. Navigace ve VR je založena zejména na zrakových a sluchových vodítcích. Ve VR se tedy obvykle pohybujeme jen imaginárně a v reálném světě se nemusíme hýbat. Dostáváme tak rozporuplné informace, které matou naše smysly – liší se informace z externích a interních zdrojů. Tento senzorický konflikt může způsobovat nevolnost (motion sickness), která je ve VR častým problémem (Bonato et al., 2009). Vyskytují se problémy jako kinetóza s projevy ospalosti, bolesti hlavy, poruchy rovnováhy a poruchy koordinace pohybů (Bonato et al., 2009; Fajnerová, 2017). Dále může docházet například k točení hlavy, nevolnosti od žaludku, rozmazanému vidění a v nejhorších případech potom ke zvracení. Symptomy se podobají symptomům mořské nemoci.

Záleží zejména na délce pobytu ve VR. Studie Stanney et al. (2003) zkoumala dopad doby strávené ve virtualitě na způsobenou nevolnost. Participanti byli náhodně rozděleni a doba strávená ve VR byla 15, 30, 45 a 60 minut. Na vzorku 960 participantů (142 muselo z důvodu nevolnosti experiment úplně přerušit) se ukázalo, že delší doba strávená ve VR způsobuje větší míru nevolnosti.

Další faktory jsou vybraný typ pohybu, správné nastavení VR brýlí a také hraje roli uživatelské BMI (Stanney et al., 2003). Pro nové uživatele VR je doporučeno zpočátku trávit ve virtualitě méně času s častými pauzami. Délka pobytu by u začátečníků určitě neměla přesáhnout 20-30 minut.

5.5.2 Etický problém

S nevolností potom také souvisí etický problém. Nevolnost vyvolaná VR způsobuje nejen určité zdravotní problémy, ale pokud se včas nezachytí, tak způsobuje neustále se zvyšující diskomfort. Je tak nutné participanty experimentů s tímto problémem před začátkem experimentu seznámit, nejlépe pak v písemné formě. Participantům by také mělo být zdůrazněno, že účast v experimentu mohou kdykoliv přerušit a také bychom se v průběhu

měření měli průběžně ptát na míru nepohodlí a diskomfortu a v případě zpozorovaného problému přerušit experiment sami.

5.5.3 Problém s ovládáním, funkčností

Dalším problémem mohou být potíže participantů s ovládáním. V mém experimentu jsem se proto snažil zakomponovat co nejjednodušší ovládání. Bylo potřeba používat pouze jedno tlačítko a joystick na ovladačích. Participant tak obvykle s ovládáním neměli větší problém. V každém případě je však nutné účastníky danému ovládání naučit a nejlépe do experimentu zařadit nějaké testovací prostředí, kde si participant ovládání může vyzkoušet.

Naopak jsme při měření občas měli problém s funkčností VR brýlí. Například se občas náhodně vypnuly, nebo zčernal obraz. Potom je nutné dané měření započít znovu.

5.5.4 Nepřirozený pohyb

Dalším problémem specificky u mého experimentu mohl být nepřirozený pohyb prostředím. Účastníci experimentu obvykle neměli větší zkušenost s VR, a tak pro ně toto nové prostředí a pohyb v něm mohlo být zpočátku zmatečné. Proto jsem do experimentu zakomponoval testovací úroveň pro oba zkoumané typy pohybů, aby si participant mohli zvyknout jak na vzhled a chování virtuálního prostředí, tak i na ovládání a samotný pohyb prostředím.

5.5.5 Cena

Dalším problémem je poměrně vysoká cena VR systémů. Tethered VR headsets (připojené VR headsety) také musí být připojeny k počítači. Tím se cena dále zvyšuje – je nutné mít dostatečně výkonný (a tím pádem dražší) počítač, který dokáže zvládnout grafické a výpočetní nároky VR. Tyto headsety ale díky připojení k počítači umožňují nejvyšší kvalitu zážitku a nejmenší zkreslení. Dalším problémem těchto systémů je nutnost neustálého připojení k počítači – to znamená omezení pohybu – bývají připojeny kabelem přímo k počítači, a tak uživatelé mohou mít problém s pohybem nebo otáčením. Nejznámějším výrobcem je HTC s brýlemi HTC Vive pro.

Dalším typem je standalone VR headset neboli all in one HMDs. Tedy headset, který nevyžaduje propojení s počítačem. Tyto systémy mají zabudované procesory, senzory, baterii, úložiště i display. Nevýhodou těchto headsetů je menší kvalita obrazu a nižší obnovovací frekvence. Další nevýhodou může být omezená doba použití vzhledem k nutnosti nabíjení. Naopak výhodou je neomezený pohyb – nejsme omezeni délkou kabelu. Populární headsety jsou Oculus Quest, HTC Vive Focus a Lenovo Mirage Solo.

Dalším cenovým omezením jsou různé přídavné systémy. Pro použití v navigačních experimentech se jedná zejména o “treadmilly” (běžecké pásy), které mohou být použity pro simulaci pohybu, nebo VR boty, které také slouží k simulaci pohybu. Další mohou být motion tracking kamery, židle s různými funkcemi, haptické rukavice apod.

Pro potřeby mého experimentu jsem používal pouze standalone VR headset Oculus Quest 2 bez přídavných systémů.

5.6 Je navigace ve VR reálná navigace?

Předtím, než se přesunu do praktické části práce, bych se chtěl ještě krátce zmínit o problematice navigace ve VR. Již jsem zmiňoval pravděpodobně hlavní problém a tím jsou chybějící idiohnetická vodítka při používání některých metod pohybů ve VR. Velmi často bývá zanedbán optický tok a zpracování vizuálních orientačních bodů (Schöberl et al., 2020). Problematice optického toku se specificky věnuji ve výzkumné části práce. Toto omezení lze také do jisté míry překonat pomocí stále více imerzivních a realistických nastavení VR systémů (Schöberl et al., 2020).

Podle Taube et al. (2013) prostorová orientace a navigace do značné míry závisí na pohybu a s ní spojené aktivaci motorických, vestibulárních a proprioceptivních systémů, které při stacionárních metodách pohybu ve VR mohou chybět. Avšak tento problém nastává zejména při použití zobrazovacích metod mozku, kdy navigátor opravdu musí leže nebo sedět bez hnutí, což není případ mého experimentu. Experiment byl prováděn ve stoje a účastníkům byla také umožněna určitá míra pohybu (jednalo se zejména o otáčení, ale bylo možné dělat také krátké kroky) tedy pohyb byl při výzkumu přítomný.

6 Praktická část

6.1 Metody pohybů

Hlavním problémem výzkumu navigace ve VR je zvolení vhodné metody pohybu. Nejlepším způsobem je samozřejmě reálný pohyb prostředím, zatímco je participant ve VR. Ten ovšem není vždy možný například z důvodu omezeného prostoru. Potom je nutné zvolit některou z metod pohybu (Folmer et al., 2021). Volí se zejména metody, které by umožňovaly efektivní pohyb prostředím a typy pohybů bez rizika způsobení nevolnosti. Jednotlivých metod je mnoho. Nejčastěji je potom využívána teleportace a její různé variace. Dále je možné používat například různé treadmilly, pohyb rukou a nohou jako simulaci reálného pohybu případně také chůzi na místě, pokud to daný hardware umožňuje.

6.2 Cíle výzkumu

Cílem experimentu bylo porovnání dvou typů pohybů ve VR – teleportace a teleportace s optickým tokem v prostředí virtuálních bytů.

6.3 Aplikační potenciál

Vzhledem k tomu, že VR často způsobuje nevolnost, se využívají stále nové způsoby emulace pohybu ve VR. Ale není jisté, jak tyto způsoby ovlivňují vnímání prostoru a jestli neovlivňují i vnímání prostoru (Li et al., 2021). Tato práce je tedy důležitá pro použití v budoucích výzkumech. Se stále častějším využíváním VR nejen ve vědě je důležité vědět, které způsoby pohybu ovlivňují orientaci, navigaci a vzdálenostní odhady – respektive, které je ovlivňují nejméně. Výzkumníci, herní návrháři, urbanisté, architekti a designéři (a další) si potom díky podobným studiím mohou vybrat typ pohybu, který by nejlépe vyhovoval jejich účelům.

6.4 Zkoumané typy pohybů

Pro můj experiment jsem zvolil dvě metody pohybu – *Teleportaci* a metodu pohybu nazvanou *Dash* – pro tuto metodu v této práci používám termín *Teleportace s optickým tokem*.

6.4.1 Teleportace

Teleportace je nejpoužívanějším typem pohybu ve VR. Při teleportaci si uživatel vybere místo, na které se chce přesunout a pomocí stisknutí daného tlačítka se na místo přesune – pohled (tedy navigátorova poloha ve VR) se okamžitě změní na pohled v cílové destinaci. V mém experimentu jsem používal point and click metodu teleportace – to

znamená, že participant ukáže ovladačem na místo, kam se chce přemístit. Pro provedení pohybu musí stisknout joystick na daném ovladači. Po stisknutí vidí zelenou čáru (červenou v případě, že se chce přesunout někam, kde to není možné) se zeleným kruhem, který značí místo, na které se přesune. Po puštění joysticku obraz na chvíli zčerná a po chvíli se objeví na zvoleném místě.

Vzhledem k okamžitému přesunu negeneruje teleportace optický tok – což může být výhodou (Folmer et al., 2021). Optický tok totiž simuluje pohyb, ale pokud při tomto pohybu chybí vestibulární podněty, může to zmást smysly, a vyvolat tak nevolnost způsobenou VR (Bonato et al., 2009). Vzhledem k tomu, že nevolnost je jedním z velkých problémů VR, je teleportace považovaná za “bezpečnou” a díky tomu také často využívána (Folmer et al., 2021). Další z výhod teleportace je také snadné naučení této metody a vysoká míra imerze. “Teleportace se stala hlavní metodou pohybu pro mnoho VR zážitků a často se používá jako měřítko pro porovnávání nových způsobů pohybu.” (Folmer et al., 2021, s. 3) Absence optického toku, ale také může být nevýhodou. Bez optického toku uživatel přichází o důležitá vodítka pro navigaci. Mnoho studií se zaměřuje také na problematiku teleportace a velmi často teleportace vychází jako dezorientující oproti ostatním typům pohybu.

6.4.2 Výzkumy teleportace

V této části se zaměřím na zmíněné výhody metody pohybu teleportace (její bezpečnost a využití) a také na její nevýhody (dezorientace, horší prostorová orientace apod.) na základě relevantních studií.

Ve studii Bozgeyikli et al. (2019) bylo zkoumáno a porovnáváno několik typů pohybů v menší místnosti (2,5 metrů na 2,5 metrů). Úkolem participantů byla navigace k několika bodům. Výsledky této studie ukázaly, že metoda pohybu teleportace je jednou z vhodných technik pro použití na menším prostoru. Teleportace pak ze zkoumaných metod vedla k nejrychlejšímu času splnění úkolu bez překážek a nejnižšímu počtu kolizí s překážkami. Účastníci také hodnotili teleportaci nejvýše ze všech testovaných metod.

V další ze studií (Loup & Loup-Escande, 2019) byla porovnávána metoda *Armswinger* s teleportací. Úkolem bylo hledání a interagování s předměty ve virtuálním prostředí. Efektivita v plněných úkolech nebyla rozdílná a teleportace se zároveň ukázala jako preferovanější metoda. Také způsobovala menší míru nevolnosti a u metody *Armswinger* se projevila větší kognitivní zátěž.

Ve studii Frommel et al. (2017) byly porovnány čtyři metody pohybů (jedním z nich byla teleportace). Pohyby byly porovnávány ve virtuální zoo, kterou si účastníci procházeli

a na základě dotazníků potom byly měřeny jednotlivé aspekty pohybů. Z výsledků potom vyšlo, že teleportace způsobuje nejmenší míru nevolnosti, je pro participanty nejoblíbenější a také měla nejvyšší míru imerze.

Ve studii Coomera et. al. (2018) byly porovnávány čtyři typy pohybů. V experimentu bylo za úkol hledání předmětů. Dle výsledků se teleportace opět ukázala jako bezpečná, ale také jako nejvíce dezorientující.

Studie Bowmana et al. (1997) ukazuje, že náhlý přesun (jako je tomu u teleportace) může způsobovat dezorientaci, a že hladký přesun (se zachovaným optickým tokem) vede k lepší prostorové orientaci. Ve třetím experimentu v rámci této studie byl zkoumán vliv rychlosti a akcelerace pohybu na prostorovou orientaci. Úkolem bylo hledání předmětů a ukázalo se, že teleportace (v této studii nazvána jako skákací metoda) zhoršuje prostorovou paměť.

Ve Studii Parise et al. (2019) byly porovnávány čtyři metody pohybu na základě triangulačního testu. V tomto případě se ukázala největší chybovost integrace dráhy při teleportaci a využití tohoto typu pohybu tedy vedlo k prostorové dezorientaci.

Na základě mnoha studií tedy vychází, že teleportace je opravdu bezpečnou metodou pohybu a je také vhodná jako jedna ze stacionárních metod. Zároveň je však nutné reflektovat i nevýhody tohoto typu pohybu zejména v horší prostorové orientaci než u dalších používaných typů pohybu. Absence optického toku zmírňuje nevolnost vyvolanou VR, ale také omezuje správnou funkci integraci dráhy, což zvyšuje prostorovou dezorientaci (Folmer et al., 2021).

6.4.3 Teleportace s optickým tokem

Metoda teleportace s optickým tokem se od teleportace liší zejména v tom, že při přesunu zůstává navigátorovi optický tok. V mém experimentu jsem pro tuto metodu použil stejné ovládání jako pro teleportaci, aby nedocházelo ke zmatení participantů. Opět tedy musí ukázat (se stisknutým joystickem) na místo, kam se chce přesunout. Pomocí zelené čáry (červená v případě, že přesun není možný) vidí, kam se přesouvá. Jediným rozdílem je, že místo zčernání obrazovky po dobu přesunu získá tunnel vision – tedy jakési zaostření na cílovou destinaci a samotný pohyb prostředím tak stále vidí.

6.4.4 Studie používající podobnou metodu

Ve studii Bhandari et. al (2018). Byla porovnána metoda nazvaná Dash – v této studii ji popisují jako modifikovanou verzi teleportace – při které se rychle, ale kontinuálně změní

pohled (tedy poloha ve VR) uživatele a zároveň generuje malé množství optického toku. V této studii, byla tato metoda porovnávána s běžnou teleportací pomocí triangulačního úkolu a bylo zjištěno, že Dash způsobuje výrazně lepší integraci dráhy než klasická teleportace a nedošlo přitom ani k výraznému zvýšení VR nevolnosti.

V dalším experimentu od Bolte et al. (2011). byla porovnávána Jumper technika s teleportací a způsoby napodující reálnou chůzi. Jumper technika je v podstatě rychlý přesun prostředím, při kterém uživatelům zůstává optický tok – v tomto případě museli účastníci pro zahájení pohybu v realitě „skočit“ daným směrem. Výsledky ukázaly, že při použití Jumper techniky trvalo účastníkům splnění úkolu méně času. Při zakreslování map byli účastníci přesnější po použití této Jumper metody než po použití teleportace. Výsledkem této studie je tedy zkrácenější prostorová orientace při použití teleportace oproti ostatním použitým pohybům. Účastníci také preferovali „jumper“ techniku před teleportací.

Vzhledem k zachovanému optickému toku předpokládám větší míru způsobené nevolnosti u tohoto typu pohybu. Optický tok totiž simuluje pohyb, ale pokud při tomto pohybu chybí vestibulární podněty, může to zmást smysly, a vyvolat tak nevolnost způsobenou VR (Bonato et al., 2009).

6.5 Výzkumná otázka

Výzkumná otázka této práce zní: “Jaký budou mít zkoumané metody pohybů dopad na navigaci a prostorovou paměť?”

Tento cíl lze rozdělit do několika podskupin:

- a) Porovnat uvedené typy pohybů ve formě experimentu a zjistit, jak se liší navigační schopnosti a prostorová paměť (odhady polohy předmětů, délka plnění úkolu, ušlá vzdálenost) u obou typů pohybu.
- b) Zjistit, který pohyb je uživatelsky méně náročný, přirozenější a preferovanější pomocí dotazníkového šetření.
- c) Zjistit, který z vybraných pohybů pravděpodobněji způsobí nevolnost pomocí dotazníkového šetření.

6.5.1 Hypotézy

I. Při použití pohybu *Teleportace s optickým tokem* budou navigační schopnosti lepší než při použití *Teleportace*.

II. Použití typu pohybu *Teleportace s optickým tokem* povede k lepší prostorové paměti.

III. Typ pohybu *Teleportace s optickým tokem* spíše způsobí nevolnost než typ pohybu *Teleportace*.

IV. Typ pohybu *Teleportace s optickým tokem* bude pro participanty přirozenější a budou tento pohyb preferovat.

6.6 Metoda výzkumu

6.6.1 Hardware

Pro potřeby experimentu jsem používal VR brýle Oculus Quest 2 (obr. 1). Oculus Quest 2 (od listopadu 2021 Meta Quest 2) je VR headset vytvořený firmou Oculus (nově Meta) pod Facebook Technologies, LLC. Byl vydán 13. října 2020 jako druhý v sérii Oculus Quest. Jedná se o standalone headset s možností připojení k PC přes USB nebo Wi-Fi. Brýle váží 503 gramů. Používají procesor Qualcomm Snapdragon XR2 SoC s 6 GB RAM (operační paměť). Displej je fast-switch LCD s rozlišením 1832×1920 na jedno oko. Obnovovací frekvence byla při vydání 72 Hz, při softwarovém updatu v listopadu 2020 umožnil obnovovací frekvenci 90 Hz a další update v dubnu 2021 umožňuje experimentální obnovovací frekvenci 120 Hz. Čočky mají 3 nastavitelné polohy. Operační systém je na založen bázi Androidu 10 a nazývá se Quest system software. Uložiště má 128 GB. Také obsahuje integrovaný reproduktor, který umožňuje prostorový zvuk a mikrofon. Ovladače jsou Oculus touch třetí generace. Baterie vydrží 2-3 hodiny a podobnou dobu zabere i nabití.

Obrázek 1 *Headset Oculus Quest 2*



Převzato od Boumen Japet / Shutterstock

6.6.2 Procedura

Měření probíhalo v budově Fakulty humanitních studií a v psychologickém ústavu Akademie věd ČR v Hybernské. Experiment jsem administroval ve spolupráci s Viktorií

Račkovou, která také píše bakalářskou práci pod vedením Mgr. Lukáše Hejtmánka Ph.D. - naše práce spolu úzce souvisí. Oba typy pohybů jsou stacionární, participant se tedy nemusí v realitě pohybovat (jen otáčet), a tak pro potřeby výzkumu stačila menší učebna. Nejprve proběhl pilotní test experimentu, který jsme uspořádali v rámci dni otevřených dveří FHS. V tomto testu jsme se mohli lépe seznámit s administrováním VR experimentů a naučit se všechno potřebné. Také jsem díky tomuto zkušebnímu měření získal důležité poznatky o nedostacích experimentu, na které jsme se potom mohl zaměřit. Zde experiment probíhal jen v jednom z virtuálních bytů a sesbíraná data v této práci nebudu používat. První měření proběhlo 6.4. 2022 na FHS, další měření na FHS proběhlo 20.4. 2022, 27.4. 2022 a 4.5. 2022. V psychologickém ústavu jsme měřili 28.4. 2022 a 5.5. 2022. Měření bylo rozdělené na hodinové bloky. Průměrná doba měření jednoho participanta byla zhruba půl hodiny, a tak jsme měli možnost brýle průběžně nabíjet.

6.6.3 Vzorek

Výběr participantů nejprve probíhal přes sociální sítě a přes známé a přátele. Dále se potom přihlásilo několik studentů Mgr. Lukáše Hejtmánka Ph.D. Při měření v psychologickém ústavu AV ČR, se připojili i studenti z jiných fakult. Všichni participanti tedy byli vysokoškolští/středoškolští studenti. Jeden z participantů z experimentu odstoupil z důvodu nevolnosti. Celkově jsme naměřili 48 participantů. Bohužel jsme z technických důvodů ztratili část dat. Pro analýzu mi tedy zůstal vzorek 33 participantů. Průměrný věk participantů byl 21,5. Celkový počet mužů byl 11 a žen 21.

6.6.4 Popis experimentu

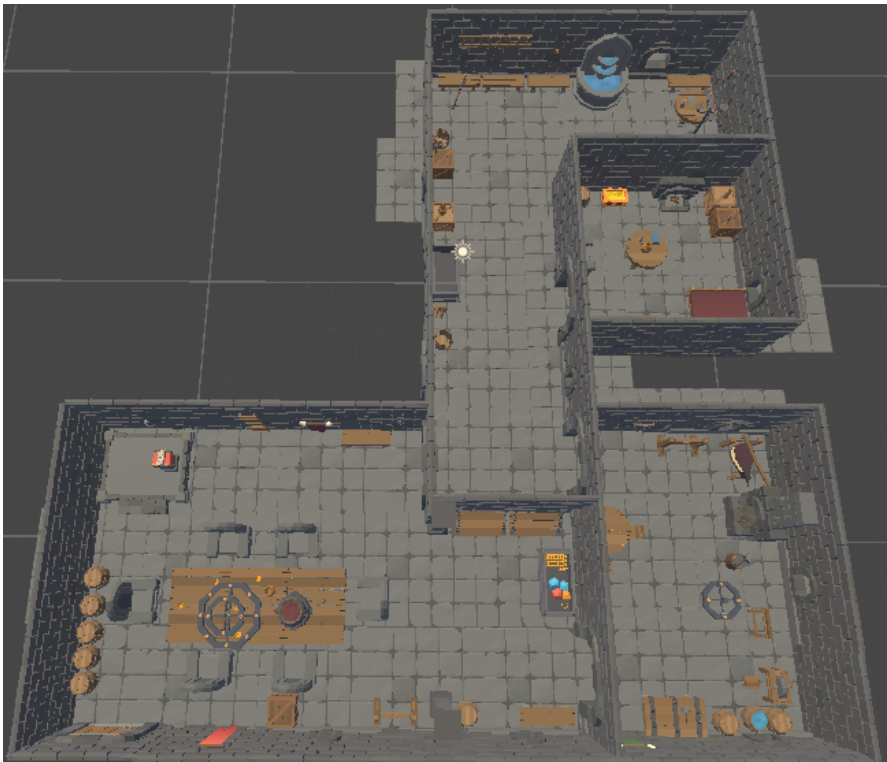
Pro experiment jsem navrhl čtyři různé virtuální byty v programu Unity (obr. 2-5). Tyto byty kopírují podobu bytů reálných. Pro návrh bytů byl použit balíček Low Poly Cartoon House Interiors (obr. 6). Každý z bytů měl nějaký určující prvek, aby nedocházelo ke zmatení participantu. Programování experimentu bylo zajištěno vedoucím mé bakalářské práce Mgr. Lukášem Hejtmánkem Ph.D.

Obrázek 2 *Byt ApartmentHouse*



Na obrázku 2 můžeme vidět rozložení a vzhled prvního z bytů s názvem *ApartmentHouse*. V tomto bytu bylo za úkol hledat lednici, televizi, vanu a strom.

Obrázek 3 *Byt Dungeon*



Na obrázku 3 vidíme další z bytů s názvem *Dungeon*. V tomto případě bylo úkolem najít oltář, fontánu, kovadlinu a postel.

Obrázek 4 *Byt GreenHouse*



Na obrázku 4 můžeme vidět byt nazvaný *GreenHouse*. V tomto bytu účastníci hledali záchod, kancelářskou židli, krb a toaster.

Obrázek 5 *Byt Demo-Oculus*



Na obrázku 5 můžeme vidět poslední z bytů *Demo-Oculus*. Zde bylo úkolem hledat lampu, terč, sekáček a pračku.

Obrázek 6 Ukázka z balíčku *Low Poly Cartoon House Interiors*



Na obrázku 6 můžeme vidět ukázkou z používaného balíčku *Low Poly Cartoon House Interiors*. Takto potom vypadalo, ve kterém se participant pohyboval.

Participantovi se zvolila kombinace typů pohybu a virtuálních bytů. Dále proběhlo seznámení s experimentem a s rizikem VR nevolnosti. Účastník potom podepsal informovaný souhlas a zvolil si heslo pro své výsledky.

Nejprve proběhl trénink daného typu pohybu v testovacím prostředí. V tomto prostředí si účastníci vyzkoušeli, jak bude test probíhat a naučili se ovládnání daného typu pohybu. V reálném světě se mohli volně otáčet a také provádět malé kroky (primárně se však museli pohybovat pomocí daného typu pohybu). Úkolem bylo projít prostředím a najít zadané předměty. V testovacím prostředí bylo úkolem najít dva předměty (studnu a barel) a následně se vrátit na začáteční polohu (ke skleníku). Poté byli participant přemístěni do prázdného prostředí, kde zůstal jen skleník jako referenční bod. Objevili se na jiném místě, než na kterém skončili a podle polohy skleníku se pomocí ukazování pokusili určit směr barelu a studny.

Po testovacím prostředí přišel na řadu samotný experiment. Participant si nejprve sundal brýle a administrátor zvolil příslušný byt s příslušným typem pohybu. V bytech byl úkol stejný jako v testovacím prostředí – projít byty a hledat zadané předměty. V tomto případě však participant hledá čtyři různé předměty (například krb, postel, pračku apod.). Po nalezení zadaných předmětů bylo úkolem vrátit se na začátek (tentokrát ke vstupním

dveřím). Po návratu ke dveřím byli participanti opět přemístěni do prázdného prostoru, kde jsou vidět jen dveře. Opět bylo úkolem ukázat směr předmětů, které v bytech hledali. Po dokončení prvního bytu si opět na chvíli sundali brýle a administrátor nastavil další byt se stejným typem pohybu. Procedura se pak opakuje. Po dokončení prvního testovacího prostředí a dvou bytů s daným typem pohybu se participant přesunul k vyplnění dvou dotazníků. První dotazník se týkal míry způsobené nevolnosti daným pohybem a druhý dotazník se, se týkal pohodlnosti a preference používání daného typu pohybu. Po vyplnění těchto dotazníků se účastník opět přesunul do VR. Procedura je opět stejná jen s druhým typem pohybu. Nejprve proběhl trénink pohybu v testovacím prostředí, které bylo stejné jako v prvním případě. A následují další dva byty, kde byl úkol stejný, tedy najít čtyři různé předměty a následně ukazovat jejich polohu. Po dokončení participanti vyplní stejné dva dotazníky pro druhý typ pohybu a následně vyplňují ještě dotazník o hráčských zkušenostech, který byl přidán na základě spolupráce mojí bakalářské práce a bakalářské práce kolegyně Viktorie Račkové rovněž pod vedením Mgr. Lukáše Hejtmánka Ph.D.

6.6.5 Změna verze experimentu

Během prvních dvou měření jsem zpozoroval, že někteří z účastníků dost dobře nepochopili smysl ukazovacího úkolu – tedy že se objeví na jiném místě, než na kterém skončili, a že dveře (v testovací úrovni skleník), které v prázdném prostředí zůstávají, slouží jako referenční bod. Po konzultaci s vedoucím práce jsme tedy do ukazovací části experimentu přidali ještě ukazování na tyto dveře, aby si participanti lépe uvědomili svoji polohu.

6.6.6 Ztráta dat

Myšlenka tedy byla taková, že budeme měřit dále zhruba 20-30 dalších participantů a následnou analýzu budu provádět jen na měření z druhé verze. Avšak po dalším měření, kterého se zúčastnilo dalších 15 participantů jsem bohužel přišel o všechna data. Brýle Oculus Quest 2, které jsem při tomto měření používal vedoucí práce v ten den předával mému kolegovi, který také bude psát bakalářskou práci pod vedení Mgr. Lukáše Hejtmánka Ph.D. Bohužel nikomu z nás nedošlo, že při změně uživatele tyto brýle smažou veškerá data, která se na nich nachází. A protože jsem tato data ještě nestihl z brýlí stáhnout, nenávratně jsem o ně přišel. Od těchto 15 participantů mi tedy zbyla jen data z dotazníků, která ovšem bez dat z experimentu ztrácí váhu, a tak jsem je nemohl použít v analýzách. Následně proběhlo ještě jedno dvoudenní měření. Nastala tedy otázka, které z dat využít. Po konzultaci

s vedoucím práce jsem se rozhodl použít všechna zbylá data jako jeden vzorek. S tím pak přichází případný problém zkreslení dat. K tomuto problému se vrátím v sekci Výsledků.

6.6.7 Dotazníkové metody

Jak jsem již zmiňoval, při měření jsem také použil tři různé dotazníky. Prvním z nich je *Simulator sickness questionnaire* (Kennedy, 1993). Tedy dotazník, který měří míru způsobené nevolnosti simulátorem (v mém případě VR brýle) Tento dotazník jsem používal u obou způsobů pohybu. Pomocí tohoto dotazníku zjišťuji, který ze zkoumaných pohybů může spíše způsobit nevolnost. Dalším z dotazníků je *VR Locomotion Experience Questionnaire* (Boletsis, 2020) který jsem také použil pro oba způsoby pohybu. Tento dotazník zkoumá použitelnost, preferenci a další aspekty jednotlivých metod pohybů. A jako poslední byl použit dotazník o herních zkušenostech, který jsem použil ve spolupráci s jinou bakalářskou prací, kterou také vede můj vedoucí práce Mgr. Lukáš Hejtmánek Ph. D. Tento dotazník v této práci analyzovat nebudu.

6.6.8 Etické otázky výzkumu

Účastníci dostali před zahájením měření k podepsání informovaný souhlas, ve kterém byli seznámeni s experimentem, s rizikem způsobení nevolnosti a diskomfortu a s rizikem vyvolání epileptického záchvatu.

Vzhledem k častému problému nevolnosti ve VR jsme se participantů během testu každých 5 minut ptali na míru diskomfortu, kterou jim VR způsobuje. Participantů měli možnost experiment kdykoliv přerušit. S nevolností jsme během měření neměli velký problém. Pobyt ve VR obvykle nebyl delší než dvacet minut a po každé splněné úrovni si participantů sundávali brýle, abychom mohli nastavit další úroveň, což do určité míry riziko nevolnosti snižuje. Jen jeden participant experiment přerušil z důvodu způsobené nevolnosti.

Data byla anonymizována. Každý participant si zvolil heslo pro případ, že by chtěl vidět specifické své vlastní výsledky.

6.7 Analýza

Pro veškeré analýzy byl použit program JASP.

6.8 Předzpracování dat

Z experimentu jsem získal dvě sady dat. Data z první části úkolu, kde participanti navigují prostředím a hledají zadané předměty a data z druhé části úkolu, kde ukazují směry těchto předmětů.

6.8.1 Data z první části experimentu

Vzhledem k tomu, že jednotlivé byty jsou rozdílně velké a mají jinou strukturu, bylo nejprve nutné provést normalizaci dat, aby vzdálenost a čas byly porovnatelné v rámci celého vzorku. Pro analýzu času potřebného ke splnění navigačního úkolu a ušlé vzdálenosti v tomto úkolu potom používám jejich minimální normované hodnoty. Tedy u vzdálenosti je to *ušlá trasa daného účastníka v daném levelu/nejkratší ušlá trasa v daném levelu*. Pro představu, pokud by minimální normovaná vzdálenost v bytě *Dungeon* nabyla hodnoty 2, znamenalo by to, že daný účastník ušel v této úrovni dvakrát delší vzdálenost, než byla nejkratší ušlá vzdálenost v tomto bytě. Stejně tak u času potřebného ke splnění úkolu.

Před prací s daty jsem po konzultaci s vedoucím práce vyřadil z dat z první části experimentu extrémní hodnoty. Filtroval jsem tedy již normované hodnoty. Filtr byl nastaven takto: *normovaná ušlá vzdálenost < 3 a normovaná ušlá vzdálenost > -3*. Druhý filtr byl nastaven takto: *normovaný čas potřebný pro splnění úkolu < 3 a normovaný čas potřebný pro splnění úkolu > -3*. Dále jsem ze vzorku vyfiltroval úroveň *Test*, tedy první zkušební úroveň, kde si účastník nejprve zkouší daný typ pohybu.

6.8.2 Data z druhé části experimentu

V analýze druhé části budu porovnávat odchylky úhlu ukazovaných předmětů. Kromě odchylky úhlů budu také porovnávat čas, který účastníkům trval pro učinění rozhodnutí ukázání směru. V experimentu bylo jedním kliknutím na ovladači nutné nejprve směr ukázat a poté dalším kliknutím potvrdit. Získal jsem tak tedy dvě rozdílné hodnoty a budu porovnávat obě z nich. Nejprve bylo nutné převést hodnoty *odchylek úhlů* do absolutních hodnot, pro následné analýzy potom používám tyto hodnoty. Úroveň *Test* opět není do analýzy zahrnuta. Také bylo nutné z dat vyfiltrovat předmět ukazování *Start*. Tento předmět byl do experimentu přidán během změny verze aplikace/experimentu a není tedy u všech účastníků.

6.8.3 Simulator sickness questionnaire

Simulator sickness questionnaire (Kennedy, 1993) je dotazník, který zkoumá míru nevolnosti způsobenou používáním simulátoru (v mém případě VR brýle). Dotazník má čtyřstupňovou škálu - 1 (Vůbec), 2 (Mírně), 3 (Středně), 4 (Velmi). Otázka byla položena takto: “Zaznačte, do jaké míry pociťujete následující symptomy/příznaky.” Výsledky se dále dělí do tří podkategorií – *Nevolnost*, *Okulomotorické nepohodlí a Deorientace* a z těchto podkategorií se poté spočítá skóre celkové. Pro analýzu jsem použil jednotlivá skóre.

Jednotlivé položky potom byly následující:

1. *Obecné nepohodlí*
2. *Únava*
3. *Bolest hlavy*
4. *Namáhání očí*
5. *Problém věnovat věcem pozornost*
6. *Zvýšené slinění*
7. *Pocení*
8. *Nevolnost*
9. *Problém se soustředit*
10. *Pocit těžké hlavy*
11. *Rozmazané vidění,*
12. *Závratě s otevřenýma očima,*
13. *Závratě s otevřenýma očima*
14. *Ztráta rovnováhy*
15. *Nevolnost od žaludku*
16. *Říhání*

Nejprve bylo nutné vypočítat skóre z daných tří kategorií, které dotazník zkoumá a poté skóre celkové. Skóre jednotlivých kategorií jsem počítal dle původní studie (Kennedy, 1993) následovně:

Nevolnost - [součet daných položek této kategorie – *Obecné nepohodlí* + *Zvýšené slinění* + *Pocení* + *Nevolnost* + *Problém věnovat věcem pozornost* + *Říhání* + *Nevolnost od žaludku*] × 9.54

Okulomotorické nepohodlí- [součet daných položek této kategorie – *Obecné nepohodlí* + *Únava* + *Bolest hlavy* + *Namáhání očí* + *Problém věnovat věcem pozornost* + *Rozmazané vidění*] × 7.58

Dezorientace - [součet daných položek této kategorie – *Problém věnovat věcem pozornost* + *Nevolnost* + *Pocit těžké hlavy* + *Rozmazané vidění* + *Závratě s otevřenýma očima* + *Závratě se zavřenýma očima* + *Ztráta rovnováhy*] × 13.92.

Celkové skóre je počítáno jako ([*Nevolnost*] + [*Okulomotorické nepohodlí*] + [*Dezorientace*]) × 3.74.

6.8.4 VR Locomotion Experience Questionnaire

VR Locomotion Experience Questionnaire (Boletsis, 2020) je dotazník, který zkoumá několik aspektů použitých metod pohybu ve VR. Pro mé potřeby jsem využil jen poslední část dotazníku (otázky 17-26), která specificky zkoumá vnímanou použitelnost a preference použitých metod pohybu. Otázky jsem přeložil do češtiny. Dotazník má pětistupňovou škálu: 1 (rozhodně souhlasím), 2 (spíše souhlasím), 3 (ani souhlasím, ani nesouhlasím), 4 (spíše nesouhlasím), 5 (rozhodně nesouhlasím). Otázka byla položena takto: “*Do jaké míry souhlasíte s následujícími výroky?*” Jednotlivé položky potom byly následující:

1. *Rád bych tuto metodu pohybu ve VR používal častěji,*
2. *Tento způsob pohybu ve VR mi přišel zbytečně složitý,*
3. *Tento způsob pohybu ve VR byl pro mě snadný na používání,*
4. *Myslím si, že bych potřeboval pomoc odborníka, pokud bych chtěl tento typ pohybu ve VR používat,*
5. *Různé funkce tohoto VR pohybu byly dobře propojené,*
6. *Přišlo mi, že tento typ VR pohybu byl příliš komplikovaný,*
7. *Myslím si, že většina lidí by se naučila tento způsob pohybu ve VR používat velmi rychle a bez problémů,*
8. *Tento způsob VR pohybu mi připadal těžkopádný/nehodný,*
9. *Při pohybu ve VR jsem si připadal/a sebejistě,*
10. *Bylo nutné si osvojit mnoho věcí, než jsem se naučil ve VR pohybovat.*

Před práci s daty bylo vzhledem ke znění některých otázek nutné invertovat jejich hodnoty. Jednalo se o otázky 2, 4, 6, 8 a 10. Pomocí součtu jednotlivých hodnot jsem vypočítal celkové skóre dotazníku, které jsem používal pro analýzu.

6.9 Výsledky

Data byla zpracovávána v programu JASP. Pro všechny analýzy byla použita metoda studentova t-testu. Hodnota alfa pro všechny statistické analýzy 0.05.

6.9.1 Porovnání verzí

Vzhledem k tomu, že jsem používal data ze dvou různých verzí aplikace (kde se i mírně změnil zadaný úkol), bylo nejprve nutné provést analýzu, těchto dvou vzorků, abych zjistil, zda mezi nimi není signifikantní rozdíl.

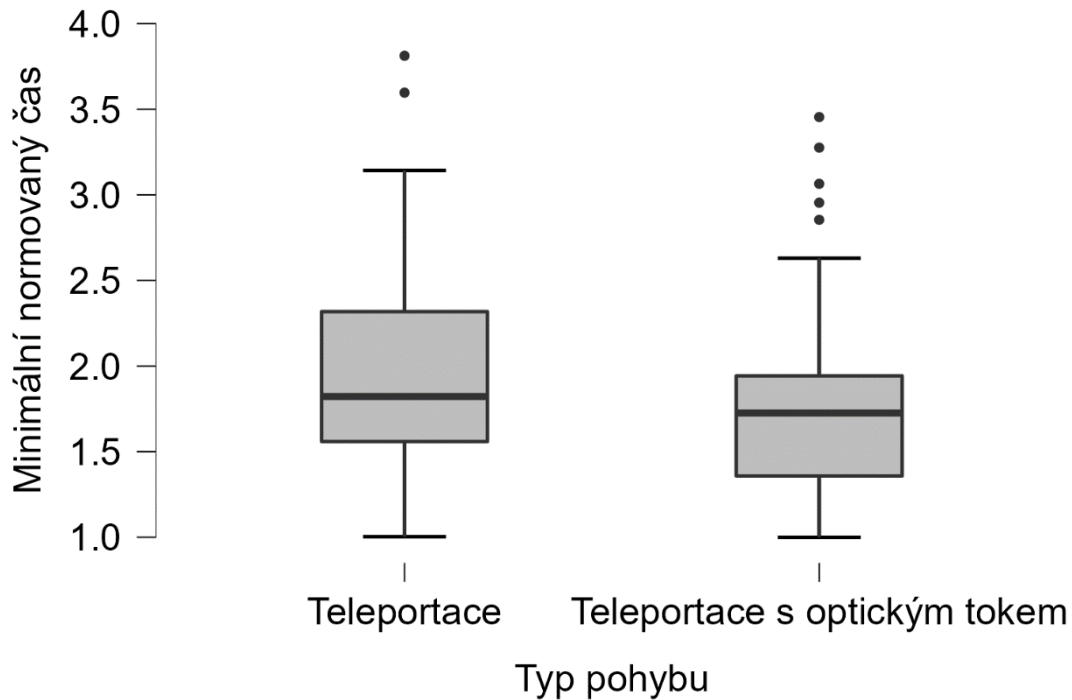
V navigační fázi experimentu jsem porovnal čas potřebný ke splnění úkolu a ušlou vzdálenost pomocí studentova t-testu. V čase potřebném pro splnění úkolu se mezi verzemi 0.2 ($M = 114.720$, $SD = 38.819$) a 0.3 ($M = 109.925$, $SD = 42.311$) neprojevil statisticky významný rozdíl ($t(124) = 0.663$, $p = 0.508$). Statisticky významný rozdíl mezi verzí 0.2 ($M = 297.601$, $SD = 94.654$) a verzí 0.3 ($M = 306.440$, $SD = 115.478$) porovnávaný na základě ušlé vzdálenosti se také neprojevil ($t(124) = -0.472$, $p = 0.638$). Ani v chybě ukazování se mezi verzí 0.2 ($M = 48.053$, $SD = 45.600$) a verzí 0.3 ($M = 47.917$, $SD = 45.408$) neprojevil statisticky významný rozdíl ($t(526) = 0.034$, $p = 0.973$.)

Na základě těchto výsledků jsem usoudil, že mezi vzorky není významný rozdíl, a tak jsem mohl následující analýzy provádět na vzorku celkovém z obou verzí aplikace zároveň.

6.9.2 Navigační rozdíl mezi typy pohybu

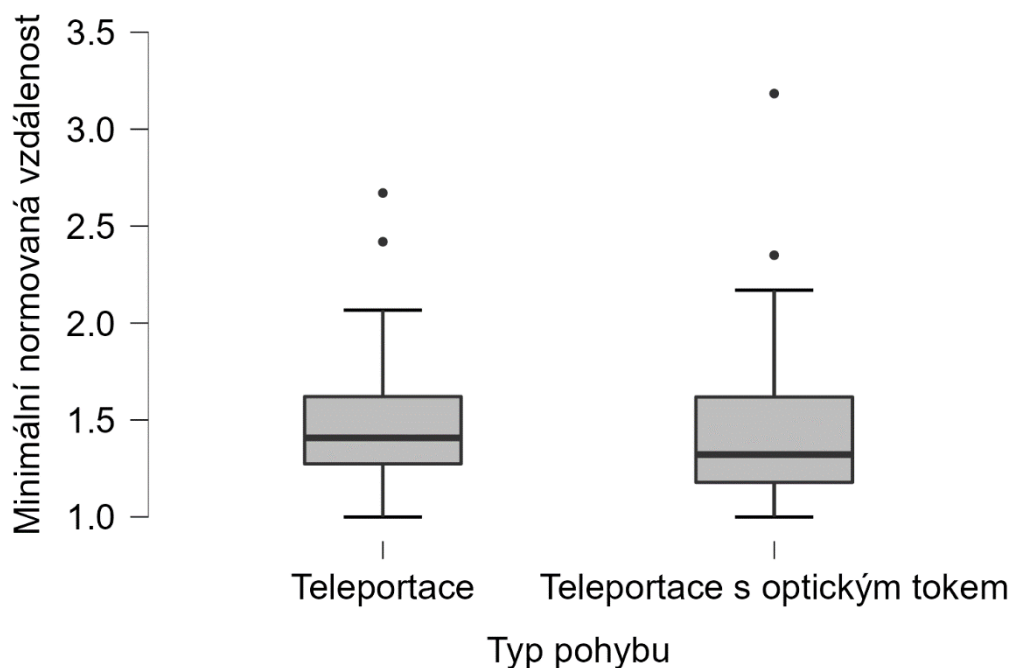
V této části výsledků budu analyzovat data z experimentu. Tedy z navigační a ukazovací úkolu.

Nejprve jsem porovnal čas potřebný ke splnění navigačního úkolu podle typu pohybu. Z výsledku vyplývá statisticky signifikantní rozdíl ($t(124) = 2.108$, $p = 0.037$) mezi *teleportací* ($M = 1.973$, $SD = 0.611$) a *teleportací s optickým tokem* ($M = 1.753$, $SD = 0.563$) (viz Graf 1).



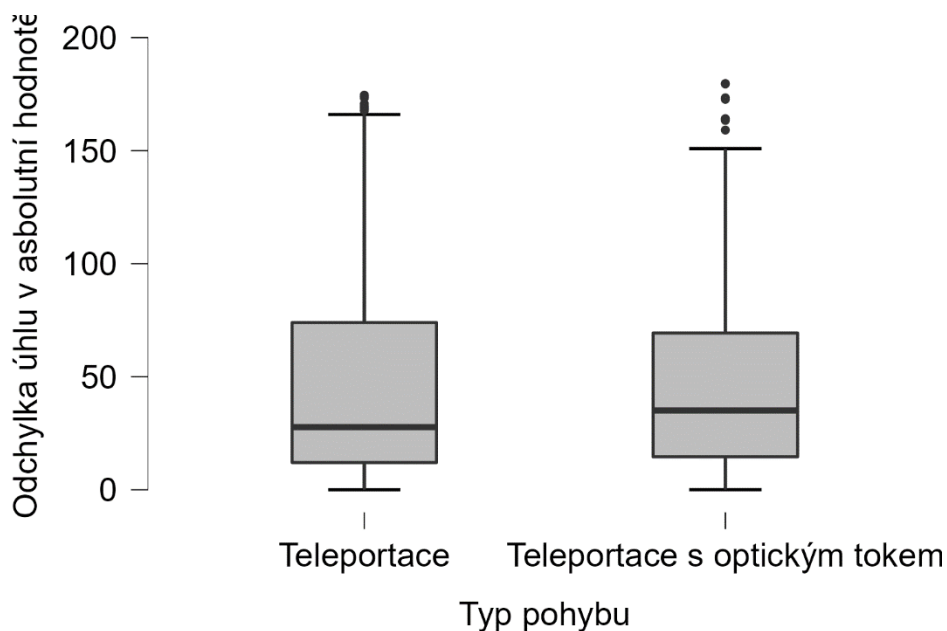
Graf 1 Minimální normovaný čas pohybu *Teleportace* a *Teleportace s optickým tokem*

Avšak mezi *teleportací* ($M = 1.493$, $SD = 0.329$) a *teleportací s optickým tokem* ($M = 1.444$, $SD = 0.382$) porovnaných na základě ušlé vzdálenosti v navigačním úkolu statisticky signifikantní rozdíl nevyplývá ($t(124) = 0.760$, $p = 0.449$) (viz Graf 2).



Graf 2 Minimální normovaná vzdálenost pohybu Teleportace a Teleportace s optickým tokem

Dále jsem porovnal typy pohybů podle *přesnosti ukazování* – tedy jak se lišily odchylky úhlů ukazovaných předmětů. V tomto případě se opět neprokázal statisticky významný rozdíl ($t(526) = -0.106$, $p = 0.916$) mezi *teleportací* ($M = 47.778$, $SD = 47.96$) a *teleportací s optickým tokem* ($M = 48.196$, $SD = 42.951$) (viz Graf 3).



Graf 3 Odchylka úhlu v absolutní hodnotě pohybu Teleportace a Teleportace s optickým tokem

Kromě odchylky úhlů jsem také porovnával čas, který participantům trval pro učinění rozhodnutí ukázání směru. V experimentu bylo nutné jedním kliknutím nejprve směr ukázat a poté dalším kliknutím potvrdit. Získal jsem tak tedy dvě rozdílné hodnoty a porovnával jsem obě z nich. Po porovnání času potřebného k prvotnímu rozhodnutí se mezi *teleportací* ($M = 7.067$, $SD = 5.897$) a *teleportací s optickým tokem* ($M = 7.010$, $SD = 4.998$) neukázal statisticky významný rozdíl ($t(526) = 0.121$, $p = 0.903$). A ani po porovnání času potřebného k potvrzení rozhodnutí se mezi *teleportací* ($M = 6.457$, $SD = 5.290$) a *teleportací s optickým tokem* ($M = 6.716$, $SD = 4.990$) neukázal statisticky významný rozdíl ($t(526) = -0.512$, $p = 0.609$).

6.9.3 Vliv pohlaví

Dále jsem porovnával celkový vzorek na základě pohlaví. Mezi *Muži* ($M = 1.978$, $SD = 0.624$) a *Ženy* ($M = 1.621$, $SD = 0.471$) se projevil statisticky významný rozdíl v době potřebné k navigaci v první části úkolu ($t(121) = 3.282$, $p = 0.001$). Podle porovnání ušlé vzdálenosti v navigačním úkolu na základě pohlaví se však mezi *Muži* ($M = -0.183$, $SD = 0.671$) a *Ženy* ($M = -0.131$, $SD = 0.673$) statisticky významný rozdíl neprojevil ($t(121) = -0.411$, $p = 0.682$). Další statisticky významný rozdíl se projevil v přesnosti ukazování ($t(510) = 2.543$, $p = 0.011$), kde *Muži* ($M = 40.540$, $SD = 41.079$) ukazovali na cíle přesněji než *Ženy* ($M = 51.310$, $SD = 47.667$).

Dále jsem porovnával čas potřebný k prvotnímu rozhodnutí a čas potřebný k potvrzení rozhodnutí ukázání na zadané předměty na základě pohlaví. Jak můžeme vidět v tabulce 1 ani v jednom případě se neprokázal statisticky významný rozdíl.

Tabulka 1 Výsledky porovnání prvotního rozhodnutí a potvrzení rozhodnutí mezi pohlavími

Parametr	Muži		Ženy		t(510)	p
	M	SD	M	SD		
Prvotní rozhodnutí	6.885	5.236	7.309	5.630	0.829	0.408
Potvrzení rozhodnutí	6.807	5.282	6.663	5.127	-0.299	0.765

Další analýzu experimentu jsem prováděl pro muže a ženy samostatně. Analýzu jsem opět prováděl na základě typu pohybu a porovnával jsem ušlou vzdálenost, čas potřebný pro splnění úkolu a přesnost ukazování. Analýza provedená na základě *přesnosti ukazování* ze

vzorku mužů mezi *teleportací* ($M = 35.227$, $SD = 38.836$) a *teleportací s optickým tokem* ($M = 45.853$, $SD = 42.767$) neukázala statisticky signifikantní rozdíl ($t(174) = -1.726$, $p = 0.086$). V tabulce 2 potom můžeme vidět výsledky pro ušlou vzdálenost a čas, kde se opět

Tabulka 2 *Výsledky porovnání ušlé vzdálenosti a času trvání úkolu ze vzorku mužů*

Parametr	Teleportace		Teleportace s optickým tokem		t(41)	p
	M	SD	M	SD		
Ušlá vzdálenost	1.515	0.334	1.417	0.290	1.036	0.306
Čas trvání úkolu	1.742	0.535	1.505	0.377	1.689	0.099

statisticky významný rozdíl neprojevil.

Stejně tak u žen jsem provedl stejné tři analýzy na základě typu pohybu a také se zde ani u jedné neukázal statisticky signifikantní rozdíl. Analýza provedená na základě přesnosti ukazování mezi *teleportací* ($M = -5.342$, $SD = 70.752$) a *teleportací s optickým tokem* ($M = 0.825$, $SD = 62.627$) neukázala statisticky signifikantní rozdíl ($t(374) = -0.895$, $p = 0.371$). U dalších dvou analýz se opět neprojevila statisticky signifikantní změna viz. Tabulka 3.

Tabulka 3 *Výsledky porovnání ušlé vzdálenosti a času trvání úkolu ze vzorku žen*

Parametr	Teleportace		Teleportace s optickým tokem		t(78)	p
	M	SD	M	SD		
Ušlá vzdálenost	1.483	0.333	2.091	0.310	1.180	0.241
Čas trvání úkolu	2.091	0.628	1.866	0.108	1.628	0.108

6.9.4 Výsledky Simulator sickness questionnaire

Pro analýzu SSQ dotazníku, který měří míru nevolnosti vyvolanou VR jsem použil vypočítané skóre jednotlivých kategorií (*Nevolnost*, *Okulomotorické nepohodlí* a *Dezorientace*) a skóre celkové. Analýzu jsem prováděl pro celkový vzorek na základě

metody pohybu. V celkovém skóre se mezi *teleportací* (M = 121.040, SD = 24.126) a *teleportací s optickým tokem* (M = 116.620, SD = 29.751) neprojevil statisticky významný rozdíl ($t(64) = 0.663$, $p = 0.510$). V tabulce 4 potom můžeme vidět výsledky porovnání jednotlivých kategorií dotazníku. Ani v jedné kategorii se neprojevil statisticky významný rozdíl.

Tabulka 4 *Výsledky porovnání dílčích kategorií dotazníku SSQ*

Parametr	Teleportace		Teleportace s optickým tokem		t(64)	p
	M	SD	M	SD		
Nevolnost	97.135	18.697	93.665	28.863	0.579	0.564
Okulomotorické nepohodlí	90.271	20.790	85.907	25.116	0.769	0.445
Dezorientace	142.996	33.428	139.622	31.797	0.420	0.676

Také jsem porovnával výsledky z dotazníku na základě pohlaví. Analýzu jsem provedl na celkovém skóre dotazníku. Mezi celkovým skóre se mezi *Muži* (M = 120.870, SD = 20.627) a *Ženami* (M = 116.296, SD = 29.249) opět neprojevil statisticky významný rozdíl ($t(62) = 0.652$, $p = 0.517$).

Dále jsem z výsledků tohoto dotazníku provedl analýzu na základě typu pohybu pro muže a ženy zvlášť. V tomto případě jsem opět porovnával celkové skóre dotazníku. Ze vzorku mužů se po analýze celkového skóre dotazníku mezi *teleportací* (M = 124.785, SD = 18.677) a *teleportací s optickým tokem* (M = 116.308, SD = 22.369) neprojevil statisticky významný rozdíl ($t(20) = 0.965$, $p = 0.346$). Ani ze vzorku žen se po analýze celkového skóre dotazníku na základě typu pohybu neprojevil statisticky významný rozdíl ($t(40) = 0.039$, $p = 0.969$) - *teleportace* (M = 116.163, SD = 24.325) a *teleportace s optickým tokem* (M = 115.808, SD = 33.951).

Také jsem provedl analýzu jednotlivých otázek zvlášť. V tabulce 5 můžeme vidět, že se ani u jedné z otázek neprojevil statisticky významný rozdíl.

Tabulka 5 Výsledky porovnání jednotlivých otázek dotazníku SSQ

Parametr	Teleportace		Teleportace s optickým tokem		t(64)	p
	M	SD	M	SD		
1. otázka	1.818	0.683	1.576	0.830	1.296	0.200
2. otázka	1.394	0.556	1.394	0.704	0.000	1.000
3. otázka	1.515	0.566	1.273	0.626	1.650	0.104
4. otázka	1.848	0.667	1.758	0.708	0.537	0.593
5. otázka	1.848	0.906	1.879	0.820	-0.142	0.887
6. otázka	1.121	0.331	1.182	0.392	-0.679	0.500
7. otázka	1.667	0.777	1.606	0.747	0.323	0.748
8. otázka	1.424	0.561	1.364	0.653	0.405	0.687
9. otázka	1.879	0.820	1.788	0.893	0.431	0.668
10. otázka	1.848	0.755	1.576	0.708	1.513	0.135
11. otázka	1.606	0.747	1.667	0.692	-0.342	0.734
12. otázka	1.182	0.465	1.152	0.442	0.272	0.787
13. otázka	1.152	0.364	1.152	0.364	0.000	1.000
14. otázka	1.212	0.415	1.242	0.435	-0.289	0.773
15. otázka	1.273	0.517	1.273	0.626	0.000	1.000
16. otázka	1.030	0.000	1.030	0.174	∅	∅

6.9.5 Výsledky VR Locomotion Experience Questionnaire

Mezi celkovým skóre *Teleportu* ($M = 21.909$, $SD = 6.356$) a *teleportu s optickým tokem* ($M = 20.939$, $SD = 6.647$) se podle výsledků z dotazníku v celkovém vzorku neprojevil statisticky významný rozdíl ($t(64) = -0.606$, $p = 0.547$).

Mezi celkovým skóre mužů ($M = 20.636$, $SD = 5.712$) a celkovým skóre žen ($M = 21.808$, $SD = 6.848$) se opět neukázal statisticky významný rozdíl ($t(64) = -0.697$, $p = 0.489$).

Dále jsem analýzu provedl opět na vzorku mužů a žen zvlášť. V celkovém skóre mužů se mezi *teleportací* ($M = 21.909$, $SD = 5.612$) a *teleportací s optickým tokem* ($M = 19.364$, $SD = 5.784$) neprojevil statisticky významný rozdíl ($t(20) = -1.048$, $p = 0.307$). A v celkovém skóre u žen se taktéž mezi *teleportací* ($M = 21.909$, $SD = 6.824$) a *teleportací s optickým*

tokem ($M = 21.727$, $SD = 7.032$) neprojevilo statisticky významný rozdíl ($t(42) = -0.087$, $p = 0.931$).

V tabulce 6 můžeme vidět výsledky analýzy jednotlivých otázek zvlášť. Opět se ani v jednom případě neukázal statisticky významný rozdíl.

Tabulka 6 *Výsledky porovnání jednotlivých otázek dotazníku VRLEQ*

Parametr	Teleportace		Teleportace s optickým tokem		t(64)	p
	M	SD	M	SD		
1. otázka	2.667	1.315	2.333	1.137	-1.102	0.275
2. otázka	1.970	0.918	1.970	0.951	0.000	1.000
3. otázka	2.121	0.857	1.939	0.899	-0.841	0.404
4. otázka	2.061	1.059	1.939	0.998	-0.479	0.634
5. otázka	2.303	0.918	2.242	0.830	-0.281	0.779
6. otázka	1.848	0.755	1.939	1.059	0.402	0.689
7. otázka	1.848	0.870	1.758	0.792	-0.444	0.659
8. otázka	2.424	1.251	2.455	1.227	0.099	0.921
9. otázka	2.545	0.938	2.333	1.080	-0.852	0.398
10. otázka	2.121	0.927	2.030	0.918	-0.400	0.690

7 Diskuze

7.1 Výsledky experimentu

Z výsledků navigačního úkolu se zčásti potvrdila **Hypotéza I:** *Při použití pohybu Teleportace s optickým tokem budou navigační schopnosti lepší než při použití Teleportace.* Splnění navigačního úkolu experimentu trvalo participantům kratší dobu při použití metody pohybu *Teleportace s optickým tokem*, nicméně rozdíl v ušlé vzdálenosti nebyl signifikantní.

Dle výsledků ukazovacího úkolu se nepotvrdila **hypotéza II:** *Použití typu pohybu Teleportace s optickým tokem povede k lepší prostorové paměti.* Mezi porovnávanými pohyby se neukázal statisticky rozdíl v porovnávaných odchylkách úhlů ukazování na předměty.

Neukázal se tedy rozdíl v prostorové paměti mezi dvěma zkoumanými typy pohybů. Na základě literatury teleportace často oproti jiným způsobům pohybu způsobuje dezorientaci. Například ve studii Parise et. al (2019) byl použit triangulační úkol pro porovnání dvou různých druhů pohybu. Jednou ze zkoumaných metod byla teleportace a oproti zkoumaným metodám, které byly kontinuální (optický tok tak byl do určité míry zachován jako v mém experimentu) se v ukazovacím triangulačním úkolu se projevila jako signifikantně horší. V další z relevantních studií Bhandari et al., (2018) byla použita metoda *Dash*, která se velmi podobá mnou použité metodě *Teleportace s optickým tokem*. V této studii byl také použit ukazovací úkol a metoda byla také porovnávána s teleportací. Na základě porovnávané odchylky úhlů po ukazování se opět ukázala horší prostorová orientace u teleportace.

Nulový rozdíl v chybě ukazování mezi typy pohybů je tedy překvapivý výsledek vzhledem k literatuře na toto téma. Předpokladem bylo, že nejenže zachovaný optický tok při *Teleportaci s optickým tokem* zapříčiní lepší celkovou navigaci prostředím, ale že povede k lepší prostorové paměti.

7.2 Rozdíly v navigačním úkolu mezi pohlavími

Muži plnili navigační úkol podstatně rychleji. Zároveň se ale neprojevil signifikantní rozdíl mezi vzdálenostmi (dokonce byla u mužů ušlá vzdálenost lehce vyšší, ne však signifikantně), což je podobný výsledek jako u analýzy na základě typu pohybu. Možná interpretace tohoto faktu taková, že muži měli v tomto experimentu lepší prostorovou orientaci než ženy, což potvrzuje i výsledek ukazovacího úkolu, porovnaný na základě

pohlaví, kde se také ukázal lepší výsledek u mužů. Druhým možným vysvětlením by bylo, že muži nevěnovali úkolu dostatečnou pozornost, a proto jim jeho splnění trvalo kratší dobu. Tomuto vysvětlení ale odporuje výsledek z ukazovacího úkolu, kde si muži vedli lépe. Tento výsledek také souhlasí s dosavadním výzkumem. Ukazuje se, že muži si vedou lépe v úkolech zaměřených na prostorovou paměť nejen ve VR (např. Astur et al. 2014; Cánovas et al. 2008; León et al. 2016) ale také v realitě (Bosco, Longoni, & Vecchi, 2004) (Bosco et al., 2004). Ve studii Astura et. al (2014) byli ve VR porovnáváni muži a ženy pomocí morrisova vodního bludiště, pomocí rotačního úkolu a osmiramenného radiálního bludiště. Výkonnost ve vodním bludišti a v rotačním úkolu byla u mužů signifikantně vyšší. Ve studii Bosco et. al. (2004), která proběhla v realitě se také ukázal rozdíl v prostorové paměti. Na základě několika úkolů zaměřených na prostorovou paměť se ukázala lepší výkonnost mužů.

U porovnávání na základě pohlaví v mém experimentu je však nutno ještě reflektovat nerovnoměrnost vzorku. Nicméně rozdíl byl signifikantní a zároveň souhlasí se souvisejícími výzkumy.

7.3 Výsledky dotazníku o způsobené nevolnosti

Dle výsledků dotazníku Simulator sickness questionnaire, který měří míru nevolnosti ve VR, se mezi zkoumanými typy pohybů neprojevil rozdíl ve způsobené nevolnosti. Nepotvrdila se tedy ani **Hypotéza III.:** *Typ pohybu Teleportace s optickým tokem spíše způsobí nevolnost než typ pohybu Teleportace.*

V tomto případě to ale mohlo být způsobeno délkou samotného experimentu. Na základě rozsáhlé studie Stanney et al. (2003) se ukázalo, že delší strávená doba ve VR způsobuje horší příznaky VR nevolnosti. Trvání jednotlivých částí mého experimentu (splnění daného úkolu v jednotlivých bytech a následné ukazování na předměty) bylo poměrně krátké – maximální doba strávená ve VR při navigačním úkolu najednou byla u jednoho z participantů zhruba šest minut, zatímco průměrná doba strávená ve VR byla zhruba dvě minuty. Do tohoto času se sice nepočítá doba strávená ve VR při ukazovacím úkolu, ale v této části experimentu už se participant vůbec nepohybuje (jen otáčí) a je také velmi krátká. V průměru tak participant ve VR najednou nestrávil více než čtyři minuty. Takto krátká doba strávená ve VR snižuje riziko způsobení nevolnosti. Také si účastníci brýle po každé splněné úrovni sundávali, abychom mohli nastavit další úroveň. A po splnění testového úkolu a dvou následujících bytů pro daný typ pohybu participant také vyplňovali dotazníky, což dále zvýšilo čas odpočinku a snížilo tak pravděpodobnost způsobení nevolnosti.

Z důvodu nevolnosti musela experiment přerušit pouze jedna participantka. U ostatních participantů se neprojevil žádný problém související s nevolností ani během průběžného dotazování na míru diskomfortu během plnění experimentu. Ačkoliv jsem tedy z tohoto pozorování nezískal signifikantní výsledky, je to samozřejmě pozitivní fakt a v podstatě jsme se tak během měření nemuseli potýkat s žádnými problémy (kromě těch technických).

Tento výsledek ale také do jisté míry souhlasí se související literaturou. Teleportace je nejčastěji používaným typem pohybu na základě její „bezpečnosti“ v souvislosti s tím, že méně pravděpodobně vyvolá nevolnost (Folmer et al., 2021). S tím potom souhlasí i dosavadní výzkum. Studie Frommela et al. (2017) například zkoumala čtyři různé metody pohybu ve virtuální zoo. Zaměřili se zejména na způsobenou nevolnost a teleportace z tohoto experimentu vyšla nejlépe. Další ze studií Loup & Loup-Escande (2019) porovnávala teleportaci s metodou pohybu *Armswinger*. Úkolem bylo hledání barevných štítů a interagování s nimi v prostředí virtuální hry. Ukázalo se, že teleportace působí menší míru nevolnosti než druhá metoda *Armswinger*.

Avšak v mém experimentu byl tento fakt dán spíše krátkou dobou strávenou ve virtualitě vzhledem k tomu, že se neprojevila významná míra nevolnosti ani u druhého typu pohybu *Teleportace s optickým tokem*.

7.4 Výsledky dotazníku o preferenci pohybu

Z výsledků dotazníku VR Locomotion Experience Questionnaire porovnávacího metody pohybu podle funkčnosti, pohodlnosti a preference se také neprojevil významný rozdíl. Nepotvrdila se **Hypotéza IV.:** *Typ pohybu Teleportace s optickým tokem bude pro participanta přirozenější a bude tento pohyb preferovat.*

V tomto případě to není překvapivý výsledek. Porovnávané pohyby byly v podstatě totožné, aby nedocházelo ke zmatení participantů a nevznikla tak nutnost učit účastníky úplně novému typu pohybu. Ovládání i funkce pohybu byly u obou případů totožné. Jediný (ale zároveň velmi důležitý) rozdíl je potom při samotném pohybu, kdy při pohybu *Teleportace s optickým tokem* zůstává navigátorovi optický tok ve formě zaostření na cílové místo, a vidí tedy pohyb prostředím. Dle znění většiny otázek je ale tento dotazník zaměřen spíše na technickou stránku pohybů a ta byla u obou typů pohybu totožná. Několik otázek se například zabývá náročností používání daného typu pohybu, a ta bylo u obou typů pohybů velmi podobná. Část otázek samozřejmě míří i na ostatní aspekty zkoumaných pohybů, ale na rozdíl se to nijak neprojevilo. Neprojevil se ani významný rozdíl mezi jednotlivými

položkami dotazníku, ačkoli je zde alespoň náznak rozdílu u některých otázek. Tedy v tomto případě mohlo jít spíše o špatné zvolení dotazníku.

7.5 Celková diskuze

Bohužel tedy nemohu přijmout ani jednu stanovenou hypotézu. Avšak část výsledků experimentu opravdu naznačují rozdíl (byť ne statisticky signifikantní). Nejvíce překvapující jsou potom výsledky z ukazovacího úkolu, kde byl rozdíl mezi oběma pohyby nulový. Navigace prostředím byla rychlejší při použití *Teleportace s optickým tokem* (zároveň ale účastníci ušli stejnou vzdálenost, jako při použití *Teleportace*), ale tento fakt se nijak nepromítl do lepšího si zapamatování polohy předmětů v prostředí. Také se neprojevil rozdíl mezi mírou nevolnosti způsobenou danými pohyby ani rozdíl v preferenci zkoumaných pohybů.

Prvním z vysvětlení může být poměrně malá velikost vzorku účastníků. Pro své případné budoucí výzkumné projekty bych proto zvolil větší počet účastníků. Dalším možným důvodem je celková podobnost zkoumaných typů pohybu. Technicky byly opravdu stejné a měly úplně stejné ovládání. Předpokládal jsem, že přidáním optického toku do teleportace se projeví rozdíl mezi zkoumanými pohyby. Některé výsledky rozdíl opravdu naznačují, bohužel ne statisticky signifikantně. Míra způsobené nevolnosti byla nízká u obou typů pohybu. V tomto případě to bylo pravděpodobně zapříčiněno krátkou dobou strávenou ve virtualitě.

8 Limity

Hlavní limitací mé práce byla pravděpodobně ztráta části dat a tím pádem podstatné zmenšení zkoumaného vzorku. Taktéž bylo nutné v průběhu experimentu lehce změnit jeho podobu. Někteří participanti dost dobře nechápali, jakým směrem mají ukazovat. V původní verzi experimentu v prázdném “ukazovacím” prostředí zůstaly dveře (skleník v testovacím levelu) jako referenční bod. Někteří účastníci to dost dobře nepochopili, a tak mohou být některé získané hodnoty zkreslené. Proto se do experimentu v ukazovacím úkolu přidalo ukazování na dveře jako první úloha při ukazování, aby si participanti lépe uvědomili svou polohu. Prvních 18 participantů tedy dělalo původní verzi experimentu a zbylých 30 dělalo verzi druhou. Bohužel jsem přišel o data z prvních dvou měření druhé verze experimentu a zbyla mi tak data 18 participantů z první verze experimentu a data 15 participantů z verze druhé. Nakonec jsem zvolil postup analýzy všech těchto dat společně (bez ukazování na dveře), což mohlo také vést k určitému zkreslení výsledků. Podle provedené analýzy se ale významný rozdíl mezi verzemi neukázal, a tak jsem následné analýzy mohl provádět na celkovém vzorku. Celkový vzorek byl také poměrně malý (i bez ztracených dat).

Občasným problémem během jednotlivých měření byly také výpadky VR brýlí Oculus, které jsem používal pro potřeby experimentu. Participantům občas například zčernal pohled a museli jsme tak jednotlivá měření začínat znovu, aby nedošlo ke zkreslení výsledků. U dvou participantů se brýle samovolně vyply, a tak jsme opět museli začínat úroveň znovu. Před každým měřením bylo nutné nastavit „guardian“ tedy oblast místnosti, ve které se musí uživatel nacházet, aby viděl/nacházel se ve virtualitě. Poměrně často jsme při administrování experimentu museli tuto oblast nastavovat opakovaně. Účastníci také z této oblasti často vycházeli a museli jsme je tedy korigovat. V ovládní byla také možnost návratu do menu a také přeskočení jednotlivých částí úkolu pro lepší administraci. Participanti při průběhu experimentu používali jen dvě tlačítka, ale občas se stalo, že stisknuli tlačítko určené pro menu, případně se omylem přímo do menu dostali, nebo omylem přeskočili navigační část úkolu. V těchto případech bylo samozřejmě opět nutné začít úroveň znovu.

Ze zmíněných limitů ale také vychází jistá pozitiva. Tato bakalářská práce byla mou první výzkumnou prací a rád bych se podobným směrem ubíral i během magisterského studia. Tato práce mi tedy poskytla velmi cennou zkušenost. Získal jsem mnoho znalostí i zkušeností a vím, čemu bych se měl vyvarovat. Otevírá to tedy otevírá cestu k mým

případným dalším výzkumným projektům. Rád bych se navigačními výzkumy zabýval dále a tato bakalářská práce pro mě byla něco jako odrazový můstek.

9 Závěr

V této bakalářské práci jsem se zabýval metodami VR pohybů a jejich dopadem na navigaci a prostorovou paměť. Cílem této bakalářské práce bylo zkoumání těchto metod pohybů ve VR.

V teoretické části bylo nejprve přiblíženo téma navigace, navigačních strategií a vodítek, které k navigaci využíváme. Dále jsem se zaměřil na témata prostorové paměti a optického toku, které úzce souvisejí s výzkumnou otázkou. V závěru teoretické části jsem se zabýval VR a výhodami a nevýhodami experimentů prováděných ve VR.

Zpočátku praktické části bylo nejprve uvedeno do problematiky výběru způsobu pohybů a dále zde byl představen experiment, který jsem prováděl v rámci této práce. Konkrétně byly pomocí experimentu a dotazníkových šetření porovnány metody VR pohybů *Teleportace* a *Teleportace s optickým tokem*. Experiment probíhal v prostředí virtuálních bytů. Prvním úkolem bylo projít toto prostředí a najít zadané předměty. V druhé části úkolu byli participanti přesunuti do prázdného prostředí a ukazovali na polohu hledaných předmětů za pomoci jediného referenčního bodu. Mezi porovnávanými typy pohybů se projevil signifikantní rozdíl jen v čase potřebném pro splnění první části úkolu. V ušlé vzdálenosti a v odchylce úhlů ukazovaných předmětů se významný rozdíl neukázal. Také jsem zkoumal další aspekty těchto pohybů. Prvním byla VR způsobená nevolnost a ani v tomto případě se mezi zkoumanými typy pohybů neprojevil významný rozdíl. Druhým byla preference pohybů. V tomto případě se mezi zkoumanými typy pohybů také neprokázal signifikantní rozdíl. Z výsledků tak nebylo možné přijmout ani jednu ze stanovených hypotéz.

Ačkoliv se neprokázal významný rozdíl mezi typy pohybů ve většině zkoumaných aspektů, můžeme mezi nimi určité rozdíly zpozorovat. Zejména je to potom signifikantní rozdíl v čase potřebném pro splnění navigační fáze úkolu. Předpokladem bylo, že zachování optického toku povede k větším rozdílům mezi zkoumanými typy pohybu. To pak otvírá otázku, proč tomu tak v mém experimentu nebylo. Rád bych se na tuto problematiku zaměřil dále v mém případném budoucím výzkumném projektu.

10 Bibliografie

- Alenya, G., Nègre, A., & Crowley, J. L. (2009). A comparison of three methods for measure of time to contact. *2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, (stránky 4565-4570).
- Astur, R. S., Tropp, J., Sava, S., Constable, R. T., & Markus, E. J. (2004). Sex differences and correlations in a virtual Morris water task, a virtual radial arm maze, and mental rotation. *Behavioural brain research*, *151(1-2)*, stránky 103-115.
- Bhandari, J., MacNeilage, P. R., & Folmer, E. (2018). Teleportation without Spatial Disorientation Using Optical Flow Cues. *Graphics interface*, stránky 162-167.
- Boletsis, C. (2020). A User Experience Questionnaire for VR Locomotion: Formulation and Preliminary Evaluation. *International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics*, (stránky 157-167).
- Bolte, B., Steinicke, F., & Bruder, G. (2011). The jumper metaphor: an effective navigation technique for immersive display setups. *Proceedings of Virtual Reality International Conference (Vol. 1, No. 2)*.
- Bonato, F., Bubka, A., & Palmisano, S. (2009). Combined pitch and roll and cybersickness in a virtual environment. *Aviation, space, and environmental medicine*, *80(11)*, stránky 941-945.
- Bosco, A., Longoni, A. M., & Vecchi, T. (2004). Gender effects in spatial orientation: Cognitive profiles and mental strategies. *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*, *18(5)*, stránky 519-532.
- Bouton, M. E. (1993). Context, time, and memory retrieval in the interference paradigms of Pavlovian learning. *Psychological bulletin*, *114(1)*, str. 80.
- Bowman, D. A., & McMahan, R. P. (2007). Virtual reality: how much immersion is enough? *Computer*, *40(7)*, stránky 36-43.
- Bowman, D. A., Koller, D., & Hodges, L. F. (1997). Travel in immersive virtual environments: An evaluation of viewpoint motion control techniques. *In Proceedings of IEEE 1997 Annual International Symposium on Virtual Reality*, (stránky 45-52).

- Bozgeyikli, E., Raij, A., Katkooori, S., & Dubey, R. (2019). Locomotion in virtual reality for room scale tracked areas. *International Journal of Human-Computer Studies*, *122*, stránky 38-49.
- Bruss, A. R., & Horn, B. K. (1983). Passive navigation. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, *21(1)*, stránky 3-20.
- Burgess, N. (2006). Spatial memory: how egocentric and allocentric combine. *Trends in cognitive sciences*, *10(12)*, stránky 551-557.
- Cánovas, R., Espínola, M., Iribarne, L., & Cimadevilla, J. M. (2008). A new virtual task to evaluate human place learning. *Behavioural Brain Research*, *190(1)*, stránky 112-118.
- Carl, E., Stein, A. T., Levihn-Coon, A., Pogue, J. R., Rothbaum, B., Emmelkamp, P., & Powers, M. B. (2019). Virtual reality exposure therapy for anxiety and related disorders: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of anxiety disorders*, *61*, stránky 27-36.
- Colombo, D., Serino, S., Tuena, C., Pedroli, E., Dakanalis, A., Cipresso, P., & Riva, G. (2017). Egocentric and allocentric spatial reference frames in aging: A systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *80*, stránky 605-621.
- Coomer, N., Bullard, S., Clinton, W., & Williams-Sanders, B. (2018). Evaluating the effects of four VR locomotion methods: joystick, arm-cycling, point-tugging, and teleporting. *Proceedings of the 15th ACM symposium on applied perception*, (stránky 1-8).
- Dukas, R. (1999). Costs of memory: ideas and predictions. *Journal of theoretical biology*, *197(1)*, stránky 41-50.
- Etienne, A. S., & Jeffery, K. J. (2004). Path integration in mammals. *Hippocampus*, *14(2)*, stránky 180-192.
- Fagan, W. F., Lewis, M. A., Auger-Méthé, M., Avgar, T., Benhamou, S., Breed, G., & Mueller, T. (2013). Spatial memory and animal movement. *Ecology letters*, *16(10)*, stránky 1316-1329.
- Fajnerová, I. (2017). Virtuální realita jako nástroj pro testování a remediaci kognitivních funkcí. V P. Kulišťák, *Klinická neuropsychologie v praxi* (stránky 761-775).
- Farrell, M. J., & Robertson, I. H. (1998). Mental rotation and automatic updating of body-centered spatial relationships. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *24(1)*, str. 227.

- Folmer, E., Adhanom, I. B., & Prithul, A. (2021). Teleportation in Virtual Reality; A Mini-Review. *Frontiers in Virtual Reality*, str. 138.
- Frommel, J., Sonntag, S., & Weber, M. (2017). Effects of controller-based locomotion on player experience in a virtual reality exploration game. *Proceedings of the 12th international conference on the foundations of digital games*, (stránky 1-6).
- Geva-Sagiv, M., Las, L., Yovel, Y., & Ulanovsky, N. (2015). Spatial cognition in bats and rats: from sensory acquisition to multiscale maps and navigation. *Nature Reviews Neuroscience*, *16*(2), stránky 94-108.
- Gibson, J. J. (1950). *The perception of the visual world*.
- Grieves, R. M., & Jeffery, K. J. (2017). The representation of space in the brain. *Behavioural processes*, *135*, stránky 113-131.
- He, Q., McNamara, T. P., & Kelly, J. W. (2016). Environmental and idiothetic cues to reference frame selection in path integration. *Spatial cognition X*, stránky 137-156.
- Jeffery, K. J., & O'Keefe, J. M. (1999). Learned interaction of visual and idiothetic cues in the control of place field orientation. *Experimental brain research*, *127*(2), stránky 151-161.
- Kaplan, S. (1976). Adaptation, structure and knowledge. V G. T. Moore, *Environmental knowing: Theories, research and methods*.
- Kennedy, R. S. (1993). Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *The international journal of aviation psychology*, *3*(3), stránky 203-220.
- Kitchin, R. M. (1994). Cognitive maps: What are they and why study them? *Journal of environmental psychology*, *14*(1), stránky 1-19.
- Koenderink, J. J. (1986). Optic flow. *Vision research*, *26*(1), stránky 161-179.
- Lappe, M. B., & van Ben Berg, A. V. (1999). Reply to harris and rogers. *Trends in Cognitive Sciences* *3.12*, str. 450.
- León, I., Tascón, L., & Cimadevilla, J. M. (2016). Age and gender-related differences in a spatial memory task in humans. *Behavioural Brain Research*, *306*, stránky 8-12.
- Li, H., Mavros, P., Krukar, J., & Hölscher, C. (2021). The effect of navigation method and visual display on distance perception in a large-scale virtual building. *Cognitive Processing*, stránky 1-21.

- Loup, G., & Loup-Escande, E. (2019). Effects of travel modes on performances and user comfort: a comparison between ArmSwinger and teleporting. *International Journal of Human-Computer Interaction*, *35*(14), stránky 1270-1278.
- Marchette, S. A., Bakker, A., & Shelton, A. L. (2011). Cognitive mappers to creatures of habit: differential engagement of place and response learning mechanisms predicts human navigational behavior. *Journal of neuroscience*, *31*(43), stránky 15264-15268.
- Milinski, M. (1994). Long-term memory for food patches and implications for ideal free distributions in sticklebacks. *Ecology*, *75*(4), stránky 1150-1156.
- Mittelstaedt, M. L., & Mittelstaedt, H. (1980). Homing by path integration in a mammal. *Die Naturwissenschaften*, *67*(11), stránky 566-567.
- Montello, D. R. (2005). Navigation. V P. Shah (Ed.) & A. Miyake, *The Cambridge Handbook of Visuospatial Thinking* (257–294). Cambridge University Press.
- Morris, R. (1984). Developments of a water-maze procedure for studying spatial learning in the rat. *Journal of neuroscience methods*, *11*(1), stránky 47-60.
- O'keefe, J., & Nadel, L. (1978). *The hippocampus as a cognitive map*. Oxford university press.
- Olton, D. S. (1977). Spatial memory. *Scientific American*, *236*(6), stránky 82-99.
- Paris, R., Klag, J., Rajan, P., Buck, L., McNamara, T. P., & Bodenheimer, B. (2019). How video game locomotion methods affect navigation in virtual environments. *ACM Symposium on Applied Perception 2019*, (stránky 1-7).
- Powers, M. B., & Emmelkamp, P. M. (2008). Virtual reality exposure therapy for anxiety disorders: A meta-analysis. *Journal of anxiety disorders*, *22*(3), stránky 561-569.
- Rushton, S. K., Harris, J. M., Lloyd, M. R., & Wann, J. P. (1998). Guidance of locomotion on foot uses perceived target location rather than optic flow. *Current Biology*, *8*(21), stránky 1191-1194.
- Samsonovich, A., & McNaughton, B. L. (1997). Path integration and cognitive mapping in a continuous attractor neural network model. *Journal of Neuroscience*, *17*(15), stránky 5900-5920.
- Schöberl, F., Zwergal, A., & Brandt, T. (2020). Testing navigation in real space: contributions to understanding the physiology and pathology of human navigation control. *Frontiers in Neural Circuits*, *14*, str. 6.

- Stangl, M., Kanitscheider, I., Riemer, M., Fiete, I., & Wolbers, T. (2020). Sources of path integration error in young and aging humans. *Nature communications*, *11(1)*, stránky 1-15.
- Stanney, K. M., Hale, K. S., Nahmens, I., & Kennedy, R. S. (2003). What to expect from immersive virtual environment exposure: Influences of gender, body mass index, and past experience. *Human factors*, *45(3)*, stránky 504-520.
- Stepankova, K., Pastalkova, E., Kalova, E., & Kalina, M. B. (2003). A battery of tests for quantitative examination of idiothetic and allothetic place navigation modes in humans. *Behavioural brain research*, *147(1-2)*, stránky 95-105.
- Stickgold, R. (2005). Sleep-dependent memory consolidation. *Nature*, *437(7063)*, stránky 1272-1278.
- Stuchlík, A. (2003). Prostor a prostorová orientace. *Československá fyziologie*, *52(1)*, 22-33.
- Taube, J. S., Valerio, S., & Yoder, R. M. (2013). s navigation in virtual reality with fMRI really navigation? *Journal of cognitive neuroscience*, *25(7)*, stránky 1008-1019.
- Tolman, E. C. (1948). Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*, *55(4)*, 189–208.
- Tolman, E. C., Ritchie, B. F., & Kalish., a. D. (1946). Studies in spatial learning. I. Orientation and the short-cut. *Journal of experimental psychology* *36.1*, 13.
- van der Kooij, H., Jacobs, R., Koopman, B., & van der Helm, F. (2001). An adaptive model of sensory integration in a dynamic environment applied to human stance control. *Biological cybernetics* *84(2)*, stránky 103-115.
- Wan, X. I., Wang, R. F., & Crowell, J. A. (2009). Spatial updating in superimposed real and virtual environments. *Perception & Psychophysics*, *71(1)*, stránky 42-51.
- Wang, R. F., & Brockmole, J. R. (2003). Simultaneous spatial updating in nested environments. *Psychonomic bulletin & review*, *10(4)*, stránky 981-986.
- Wang, R. F., & Spelke, E. S. (2002). Human spatial representation: Insights from animals. *Trends in cognitive sciences*, *6(9)*, stránky 376-382.
- Warren, W. H., Kay, B. A., Zosh, W. D., Duchon, A. P., & Sahuc, S. (2001). Optic flow is used to control human walking. *Nature neuroscience*, *4(2)*, stránky 213-216.
- Weiss, J. N. (1997). The Hill equation revisited: uses and misuses. *The FASEB Journal*, *11(11)*, stránky 835-841.

Zheng, J. M., Chan, K. W., & Gibson, I. (1998). Virtual reality. *Ieee Potentials*, 17(2),
stránky 20-23.

11 Seznam obrázků, tabulek a grafů

Seznam obrázků

Obrázek 1 Headset Oculus Quest 2.....	23
Obrázek 2 Byt AppartmentHouse	25
Obrázek 3 Byt Dungeon.....	25
Obrázek 4 Byt GreenHouse	26
Obrázek 5 Byt Demo-Oculus	26
Obrázek 6 Ukázka z balíčku Low Poly Cartoon House Interiors	27

Seznam tabulek

Tabulka 1 Výsledky porovnání prvotního rozhodnutí a potvrzení rozhodnutí mezi pohlavími	37
Tabulka 2 Výsledky porovnání ušlé vzdálenosti a času trvání úkolu ze vzorku mužů	38
Tabulka 3 Výsledky porovnání ušlé vzdálenosti a času trvání úkolu ze vzorku žen	38
Tabulka 4 Výsledky porovnání dílčích kategorií dotazníku SSQ.....	39
Tabulka 5 Výsledky porovnání jednotlivých otázek dotazníku SSQ	40
Tabulka 6 Výsledky porovnání jednotlivých otázek dotazníku VRLEQ	41

Seznam grafů

Graf 1 Minimální normovaný čas pohybu Teleportace a Teleportace s optickým tokem	35
Graf 2 Minimální normovaná vzdálenost pohybu Teleportace a Teleportace s optickým tokem.....	36
Graf 3 Odchylka úhlu v absolutní hodnotě pohybu Teleportace a Teleportace s optickým tokem.....	36

