

UNIVERZITA KARLOVA

FAKULTA HUMANITNÍCH STUDIÍ

Studium humanitní vzdělanosti



Klára Růžicková

**Vliv velikosti virtuálního a skutečného prostoru na
integraci dráhy**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Mgr. Lukáš Hejtmánek Ph.D.

Praha 2024

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci vypracovala 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 ráda poděkovala vedoucímu bakalářské práce Mgr. Lukáši Hejtmánkovi Ph.D., především za čas, který vynaložil pro tvorbu této práce. Dále bych ráda poděkovala i svým kolegům ze CyberspaceLab za podporu a pomoc s administrací experimentu. V neposlední řadě náleží velké díky také mé rodině, příteli a kolegům za jejich neutichající podporu.

Obsah

1	Úvod.....	6
2	Teoretická část.....	7
2.1	Navigace	7
2.1.1	Činitele ovlivňující navigaci	8
2.1.2	Buněčný základ navigace.....	10
2.1.3	Druhy navigačních vodítek a navigační strategie	13
2.1.4	Integrace dráhy	15
2.1.5	Výzkum navigace a moderní technologie.....	19
2.2	Shrnutí teoretické části.....	22
3	Praktická část	25
3.1	Cíl výzkumu.....	25
3.1.1	Hypotézy	25
3.2	Metody výzkumu	26
3.2.1	Experiment.....	26
3.2.2	Shrnutí a procedura experimentu	39
3.2.3	Sběr a zpracování dat.....	40
4	Výsledky	43
4.1	Výsledky navigační úlohy	43
4.1.1	Ušlá vzdálenost	43
4.1.2	Úhlová odchylka	43
4.1.3	Čas	44
4.2	Výsledky dotazníků	45
4.2.1	PSS-14	45
4.2.2	CSQ-VR.....	46
4.2.3	Vnímání bezpečnosti.....	46
5	Diskuse.....	48
5.1	Interpretace výsledků.....	48

5.2	Přínosy této práce.....	49
5.3	Limity práce.....	50
5.4	Další výzkum.....	50
6	Závěr.....	52
7	Reference.....	53
8	Seznam obrázků a tabulek.....	59
8.1	Obrázky.....	59
8.2	Tabulky.....	59

1 Úvod

V rámci výzkumu navigace se v posledních letech stále více využívají moderní technologie. Hojně využívané jsou například v psychologických a neuropsychologických výzkumech pro studium kognitivních procesů, jako jsou paměť a navigace. Příkladem technologií, využívaných ve výzkumu, jsou virtuální realita (VR) a funkční magnetická rezonance (fMRI). Především VR se stává stále více oblíbená díky svému interaktivnímu a tvárnému prostředí, které nabízí nepřeberné možnosti využití. VR začala jako výdobytek zábavního průmyslu, ale pro svůj široký záběr si mimo výzkum našla uplatnění i v lékařství, vzdělávání a dalších odvětvích.

Cílem této bakalářské práce je zkoumání vlivu velikosti virtuálního a skutečného prostoru na integraci dráhy participantů plnících úlohu o dokončení trojúhelníku. Konkrétně skrze experiment analyzuje, zda velikost virtuálního a skutečného prostoru a další doprovodné jevy, jako jsou stres, nevolnost a tendence riskovat, ovlivňují plnění navigační úlohy.

Navigační úloha je koncipována tak, aby participanté při plnění nemohli využít externí navigační vodítka, především zrak. Způsob navigace bez využití externích vodítek, tedy navigace založená pouze na základě interních signálů, se nazývá integrace dráhy. Způsob navigace na základě integrace dráhy je specifický tím, že bez externích navigačních vodítek mají zvířata i lidé tendenci preferovat návrat do známého a bezpečného prostředí, což následně ulehčuje orientaci po okolí a tvorbu vnitřní reprezentace prostoru.

V teoretické části této práce bude představena problematika navigace, integrace dráhy spolu s faktory ovlivňujícími navigační schopnost u lidí. Teoretická část bude dále doplněna o způsoby implementace moderních technologií do výzkumu navigace a integrace dráhy. V praktické části budou objasněny hypotézy, cíl výzkumu a jeho metodologie a nastíní zpracování dat. Po praktické části budou představeny výsledky a následně i diskuse spolu s přínosy a limity této práce.

2 Teoretická část

2.1 Navigace

I přes to, že se tato práce zaměřuje na jeden konkrétní způsob navigace, je zprvu nutné si zasadit teoretický rámec pro navigaci jako takovou. Konkrétně bude v následujících kapitolách rozebráno, co je navigace a její účel, co navigaci ovlivňuje a v neposlední řadě bude představen i její neurologický základ a co obnáší zpracovávání informací nutných k navigaci.

Navigace a reprezentace prostoru jsou komplexní kognitivní dovednosti důležité pro každodenní život (Moffat, 2009) a také pro přežití (Grieves & Jeffery, 2017; Widdowson & Wang, 2022). Navigace je lidmi i jinými živočichy využívána především k nalezení potravy, partnera či úkrytu (Grieves & Jeffery, 2017). Dále může být navigace využita k zajištění bezpečnosti, obcházení hranice oblasti, shromažďování informací nebo navštěvování již zapamatovaných míst (Yaski et al., 2011). Navigace zahrnuje řadu komplexních dovedností a složitých procesů, jako je aktualizace polohy, orientace během cesty, plánování tras a zohledňování okolností, jako je délka cesty, bezpečnost nebo časová náročnost a v případě, že se navigátor ztratí, zajišťuje i změnu orientace a obnovení cesty k cíli (Loomis et al. 1993).

I přes to, že se může zdát, že se může jedinec navigovat za různými účely, základním principem pro navigaci stále zůstává zajištění přežití. Komplexní navigační chování bylo pozorováno u řady živočišných druhů a každý z nich má pro navigaci jiné predispozice. Například oproti hlodavcům, kteří mají lepší schopnost navigace na základě interních navigačních vodítek, se lidé lépe orientují za využití zraku (Ekstrom, 2015). Dle Ekstroma et al. (2018) mají lidé unikátní zrakový systém s vysokým rozlišením a schopností integrace prostorových informací, což napomáhá zefektivnění navigace. Rozdíly mohou být patrné i u konkrétních jedinců stejného živočišného druhu, protože navigace je proces ovlivněný řadou okolností. I konkrétní jedinec může svými navigačními dovednostmi vynikat nad ostatní jedince stejného živočišného druhu. Z toho důvodu bude další kapitola této práce zaměřena na objasnění činitelů ovlivňující navigaci.

2.1.1 Činitele ovlivňující navigaci

Navigace je komplexní schopností živočichů, na kterou mohou působit různé činitele. Ti budou představeni na následujících řádcích spolu s vysvětlením, jak konkrétně schopnost navigace ovlivňují.

2.1.1.1 Zrak

Navigace, jakožto schopnost plánování a realizace tras, je často spojená se schopností vidět a poznávat známá místa posetá orientačními body (Etienne & Jeffery, 2004). Například oproti hlodavcům, kteří jsou často součástí studií navigace a jejich zrak se snaží zabrat co největší plochu pro zajištění bezpečnosti s ohledem na možné ohrožení predátory, je náš zrak uzpůsoben ke sběru co největšího množství informací z konkrétního místa, které pozorujeme (Ekstrom, 2015).

Vzhledem k tomu, jak moc se většina z nás spoléhá při navigaci na svůj zrak, bylo pozoruhodným zjištěním studie Loomise et al. (1993), že lidé, kteří ztratili zrak během života, zvládali navigační úkol stejně dobře, ne-li lépe než lidé bez zrakového postižení. Na druhou stranu, lidé nevidomí od narození si tak dobře nevedli. Dle Loomis et al. (1993) mohou mít lidé nevidomí od narození problém s vývojem prostorových schopností. Zrak je totiž spojený se zdravým vývojem navigačních schopností a má vliv na úspěšnost řešení navigačních úloh, ať už při konkrétním navigačním úkolu zrak využíváme, či nikoliv (Ekstrom, 2015). Je očividné, že si lidé značně usnadňují navigaci skrze vizuální vodítka. Příkladem vizuálních vodítek, které lidem usnadňují orientaci, mohou být například kartografické mapy, dopravní značky, rozcestníky a další. Které aspekty schopnosti navigace bez využití zraku a do jaké míry jsou ovlivněny předchozí zkušeností zprostředkovanou zrakem, je ale stále otázkou. Zrak ale není ani zdaleka jediným činitelem ovlivňující navigační schopnosti. Dle Stangl et al. (2020) jsou vlivy na chybovost v navigaci i integraci dráhy prozkoumány nedostatečně, na druhou stranu je ale vliv stárnutí naprosto zřejmý. Následující řádky proto budou věnované právě stárnutí.

2.1.1.2 Stárnutí

Dle Moffata (2009) jsou chyby v navigaci nedílnou součástí života a stejně tak je narůstání chybovosti součástí zdravého procesu stárnutí. Mezi kognitivní schopnosti, o nichž je známo, že se s věkem zhoršují, patří: výkonnost, rychlost zpracování informací, pozornost a paměť (Moffat, 2009). Dle Stangl et al. (2020), který se ve své studii zaměřil právě na stárnutí, vykazovali starší dospělí v průměru vyšší chybovost než mladí dospělí, a to při všech měřeních. Starším účastníkům studie tedy trvalo déle, než zadaný úkol splnili a také dělali více chyb (Stangl et al., 2020). I přes to, že jsou chyby v navigaci součástí procesu stárnutí, mohou být chyby také signálním jevem neurobiologických onemocnění, jako je demence nebo Alzheimerova choroba či být doprovodným jevem jiných onemocnění, například epilepsie, Parkinsonova choroba, roztroušená skleróza nebo mrtvice (Ekstrom, 2015).

Z předchozích řádků vyplývá, že pokles kognitivních schopností spojených s navigací ke stárnutí patří. Je ale na posouzení odborníka, zda je tato míra poklesu adekvátní vůči věku navigátora, nebo se jedná o patologický jev, který je třeba začít řešit.

2.1.1.3 Stres

Navigace se především v posledních desetiletích ukazuje jako složitý proces, který zahrnuje interakci mezi různými oblastmi mozku a specifickými typy neuronů. Jedním z řady buněk odpovědných za zpracovávání informací spojených s navigací jsou prostorové buňky, které jsou více rozebrány v kapitole *Prostorové buňky*. Ve zkratce jsou prostorové buňky specifické druhy neuronů, které reagují na konkrétní místo v prostoru (O'Keefe & Dostrovsky, 1971). Dle Kima a Yoona (1998) stres negativně ovlivňuje část mozku, kde se právě tyto buňky nacházejí. Konkrétně pak ve své práci Kim a Yoon (1998) popisují, že stres ovlivňuje tvorbu a uchovávání vzpomínek.

Prostorové buňky ale nejsou jediné buňky odpovědné za navigaci. Pro podrobnější vysvětlení buněčného základu navigace je nutné si popsat, jaké buňky jsou za navigaci odpovědné. V následující kapitole budou právě tyto buňky krátce představeny.

2.1.2 Buněčný základ navigace

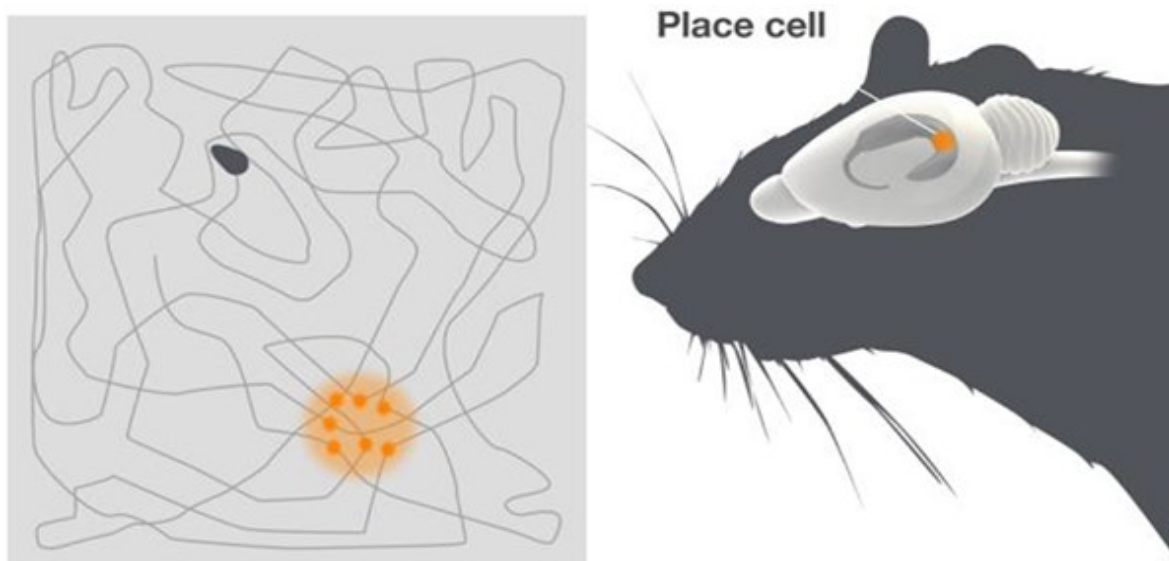
Jedním z předních objevů týkající se buněčného základu navigace a navigace všeobecně jsou prostorové buňky, známé také jako place cells, které byly objeveny v hipokampu hlodavců. V následující kapitole budou představeny a stručně rozebrány neurony a jejich buněčné mechanismy, které stojí za navigací. Mimo prostorové buňky se následující kapitola dotkne mřížkových buněk a buněk směru hlavy.

2.1.2.1 Prostorové buňky

Jak již bylo výše uvedeno, prostorové buňky jsou specifické druhy neuronů nacházející se v hipokampu reagující na konkrétní místo v prostoru (O'Keefe & Dostrovsky, 1971) viz *Obrázek 1* a *Obrázek 3*. Studie prostorových buněk byly prováděny především na hlodavcích, včetně myši a krysy. Nedávné výzkumy ale naznačují existenci podobných neuronů i u lidí. Dle Ekstroma (2018) je z evolučního hlediska logické se domnívat, že nás evoluce od společného předka, kterého sdílíme s hlodavci, v otázce navigace nijak dramaticky nezměnila. Výzkumné práce provedené pomocí funkční magnetické rezonance (fMRI) a elektrofyziologických technik naznačují, že existují určité oblasti mozku, které se aktivují v reakci na specifická místa nebo umístění v prostoru, což by mohlo odpovídat konceptu prostorových buněk (Ekstrom et al., 2003). Zajímavým zjištěním také bylo, že se tyto buňky aktivovaly i při pohledu na obrazovku se zobrazením konkrétního místa, a dokonce ani nezáleželo na tom, v jakém úhlu byl orientační bod zobrazený (Ekstrom et al., 2003). Zajímavým zjištěním také je, že umístění těchto buněk v hipokampu neodráží jejich umístění v prostředí. Jinými slovy mohou place cells blízko sebe reprezentovat sobě značně vzdálená místa (O'Keefe, 1976).

Obrázek 1

Aktivace prostorové buňky v hipokampu při reakci na konkrétní místo



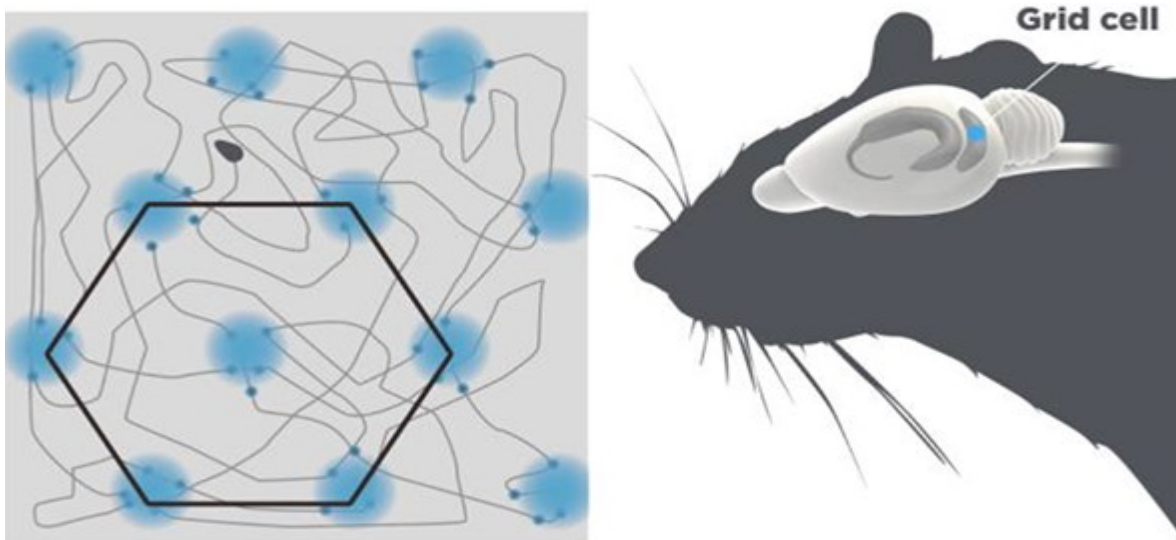
(Převzato z Wnuk, 2017)

2.1.2.2 Mřížkové buňky

Dalšími buňkami, které zabezpečují navigaci, jsou takzvané grid cells neboli mřížkové buňky. Tyto buňky byly objeveny a popsány na počátku druhého tisíciletí dvěma nezávislými skupinami vědců (Fyhn et al., 2004; Hafting et al., 2005). Mřížkové buňky jsou buňky, neustále se aktivující napříč navigovanou plochou v mřížce napodobující hexagonové obrazce (Fyhn et al., 2004; Hafting et al., 2005) viz *Obrázek 2 a Obrázek 3*. O vztahu mřížkových buněk a prostorových buněk se stále spekuluje. Nejpravděpodobnější je, že funkce mřížkových buněk je sledování metrických údajů o pohybu. Jednoduše řečeno, tyto buňky zaznamenávají, jak daleko se navigátor vydal (Grieves & Jeffery, 2017).

Obrázek 2

Aktivace mřížkové buňky v hipokampu při reakci na konkrétní místo



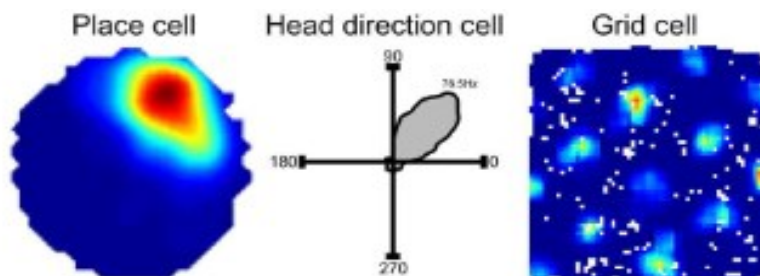
(Převzato z Wnuk, 2017)

2.1.2.3 Buňky směru hlavy

Objev head direction cells neboli buněk směru hlavy, se odvíjel od již zmíněných prostorových buněk (Grieves & Jeffery, 2017). Na rozdíl od prostorových buněk reagujících na konkrétní místo, se buňky směru hlavy aktivují, když hlava navigátora míří určitým směrem (Taube et al., 1990a, 1990b) viz *Obrázek 3*. Pro buňku preferovaný směr nezávisí na aktuálním chování, ani pozici navigátora. Rozdílné buňky směru hlavy tak mají dle Taube et al. (1990a) každá svůj preferovaný směr, který kontrolují.

Obrázek 3

Rozdíly jednotlivých výše popsanych buněk



(Převzato z Grieves & Jeffery, 2017)

2.1.3 Druhy navigačních vodítek a navigační strategie

V rámci předchozích kapitol bylo nastíněno, co je navigace, co ji ovlivňuje, a především jaké buňky v hipokampu jsou za navigaci odpovědné. Další část této práce bude zaměřena na představení dvou druhů informací, externích a interních, dopomáhajících k navigaci. Navigace, jakožto proces zpracování, kde jsme a kam chceme jít, má mnoho podob. Dle předešlých odstavců je jasné, že každý nemá stejné předpoklady k určení co nejefektivnějšího způsobu navigace a následném využití možností, které nám konkrétní způsob navigace nabízí. Z toho důvodu není žádná z níže popsaných navigačních strategií ideální ani univerzální, ale všechny se situačně podílejí na navigaci.

2.1.3.1 Externí navigační vodítka

Externí, vnější nebo také alothetická vodítka, vychází z okolního prostředí. U člověka se jedná zejména o vizuální podněty (Ekstrom et al. 2015), ale může jít i o podněty čichové, sluchové a hmatové (Loomis et al. 1993). Externí navigační vodítka mohou zahrnovat například hvězdy na obloze sloužící jako základní kompas, hrající hudba nebo vůně upečené bábovky. Externí navigační vodítka jsou použita například při tvorbě kognitivních map nebo navigační strategie nazývané pilotování (Ekstrom et al., 2018).

Pilotování

Piloting, v překladu pilotování, je způsob navigace, kterým se dostáváme k nebo od konkrétního externího navigačního vodítka nebo jej následujeme (Ekstrom et al. 2018). Takové vodítko může být zrakové, čichové, hmatové i sluchové. Z tohoto důvodu se pro tuto navigační strategii uchytil i název „beaconing“. Tento název je odvozen od anglického slova beacon neboli maják. Pilotování, jakožto způsob navigace, není pro navigátora nijak složitý, protože nezabírá tolik kognitivní kapacity, jako jiné navigační strategie (Ekstrom et al. 2018) protože k tomuto způsobu navigace není nic víc, než vizuální či jiný smyslový stimulus, který navigátor následuje, nebo se od něj vzdaluje (Wolbers & Wiener 2014; Mou & Wang 2015). Ekstrom et al. (2018) ve své práci uvádí, že tato navigační strategie je často jediným způsobem, jak se mohou lidé trpící Alzheimerovou chorobou navigovat, z důvodu oslabení kognitivních funkcí. Často pak můžeme u lidí s Alzheimerovou chorobou například pozorovat náchylnost k následování drátů vysokého napětí.

Kognitivní mapy

Jedna z navigačních strategií je využití tzv. kognitivní mapy. Tento termín by nás mohl vést k představě o běžných kartografických mapách, které máme v telefonech nebo si kupujeme na benzinových pumpách a knihkupectvích. Ekstrom (2015) tvrdí, že právě náš, pro živočišnou říši pozoruhodně výkonný, zrakový systém má na svědomí vznik kartografických map, díky kterým se můžeme lépe orientovat. Kognitivní mapy se ale od těchto map zásadně liší.

První, kdo se teorií kognitivních map zabýval, byl Edward Tolman v roce 1948. I přes to, že od prvních výzkumů zabývajících se kognitivními mapami uběhlo již necelých sto let, tak na jednotnou definici stále ještě čekáme. Na rozdíl od kartografických map, které nám ukazují pohled shora, nám kognitivní mapa umožňuje interpretovat prostředí z první osoby (Ekstrom et al., 2018). Vědci se ale shodují na to, že kognitivní mapa je, jednoduše řečeno, mentální reprezentací polohy a vztahů mezi různými orientačními body v prostoru (Grieves & Jeffery, 2017) a opravdu máme v mozku uložené něco, co připomíná námi známý koncept kartografických map (O'Keefe & Nadel, 1979).

2.1.3.2 Interní navigační vodítka

Interní, vnitřní nebo také idiotetická vodítka zahrnují odhady směru a ušlé vzdálenosti během cesty na základě našich interních pohybových vodítek z orgánů. Častým předpokladem je, že k navigaci je zásadní využívat orientační body, jak už během cesty, tak k označení polohy cíle (Etienne & Jeffery, 2004). Mnoho živočichů, včetně lidí, je ale schopno vrátit se zpátky na začátek své cesty a spoléhat se při tom pouze na interní navigační vodítka a externí smyslové podněty vůbec nevyužívat (Etienne & Jeffery, 2004).

Propriocepce a vestibulární systém

Jedním z našich vnitřních smyslů je propriocepce, což je schopnost nervového systému zaznamenat změny uvnitř těla ve svalech a kloubech vznikající pohybem a svalovou činností. Propriocepce je taktéž důležitá pro správnou koordinaci pohybu (Loomis et al. 1993).

Dalším činitelem v tvorbě naší interní představy o prostředí je náš vestibulární systém ve vnitřním uchu. Ekstrom et al. (2018) ve své práci přirovnává náš vestibulární systém k vodováze. Ten má totiž za úkol zaznamenávat zrychlení, změny polohy hlavy a udržení rovnováhy. Na základě interních navigačních vodítek se může následně navigátor navigovat na základě integrace dráhy (Sjolund et al., 2018).

2.1.4 Integrace dráhy

Po objasnění základních pojmů a fungování navigace je možné se zaměřit na navigační strategii, která byla v této konkrétní práci podrobena výzkumu. Jak již název této práce napovídá: následující odstavce budou zaměřené na popsání procesu a fungování integrace dráhy.

Častým předpokladem je, že je navigace možná především na základě orientačních bodů, které nám pomáhají lokalizovat polohu cíle (Etienne & Jeffery, 2004). Samotné vizuální signály ale zdaleka nejsou jediným důležitým vodítkem pro určení místa v prostoru. Systém integrace dráhy je navigační strategie, která nám umožňuje sledovat polohu a směr i bez těchto externích navigačních vjemů (Ekstrom et al., 2003) a to především na základě odhadu vlastní polohy za pomoci vestibulárního ústrojí a propioceptivní stimulace (Sjolund et al., 2018). Integraci dráhy si lze představit jako souhrn samostatných navigačních úkonů, například výpočet ušlé vzdálenosti nebo rotace (Chrastil et al., 2016). Jistou roli v integraci dráhy hrají i již dříve zmíněné prostorové buňky. Ty totiž pracovaly i ve tmě, což naznačuje, že se jim dostalo dostatek informací z interních vodítek pro jejich fungování (Quirk et al. 1990). Z výzkumů provedených na hlodavcích vyplývá, že součinnost při procesu integrace dráhy vykazovaly i mřížkové buňky (Fyhn et al., 2004; Hafting et al., 2005) a buňky směru hlavy (Sargolini et al., 2006; Taube et al., 1990a; Taube et al., 1990b).

Mnoho živočichů, včetně lidí, se díky integraci dráhy dokáže vrátit do výchozího bodu cesty nebo na jiná cílová místa pouze na základě vlastních interních pohybových signálů, což je například interní uvědomění polohy, rychlosti a směru pohybu (Zhang & Mou, 2019). Integrace dráhy je proces, při kterém navigátoři průběžně integrují senzorické podněty pro odhad své aktuální polohy při absenci informací o poloze vlastní, tak cíle (Etienne & Jeffery, 2004). Využitím integrace dráhy, tedy egocentrického referenčního rámce, vzniká proces, při kterém navigátor reprezentuje a aktualizuje svou polohu v prostředí pomocí svého vlastního interního referenčního systému, konkrétně skrze již zmíněnou propriocepci a vestibulární systém (Wang, 2015).

Integrace dráhy se považuje za systém, sloužící především pro navigaci k nedávno navštívenému místu. K integraci dráhy se dříve referovalo jako k takzvanému dead reckoningu (mrtvému odhadu trasy), což vzniklo z anglického slova deduction, tedy usuzování. Dead reckoning se v historii spojovalo především s námořnictvím a letectvím (Etienne & Jeffery, 2004), tedy v případech, kdy je navigace dle orientačních bodů nemožná či velmi omezená. Navigátor je tudíž odkázán na odhadování své polohy vzhledem k referenčnímu bodu, jako je například domov nebo jiný významný orientační bod (Etienne & Jeffery, 2004). Během pohybu z výchozího bodu mozek zpracovává informace o ušlých krocích a odbočkách a vypočítává vektor pro návrat zpět do výchozího místa (Etienne & Jeffery, 2004). Tento proces vypočítávání, i když zní složitě a náročně, je pro řadu živočichů, včetně člověka, základní formou navigace (Etienne & Jeffery, 2004; Chrastil & Warren, 2017). Schopnost integrace dráhy byla mimo lidí pozorována i u řady jiných živočišných druhů včetně hmyzu (Heinze, Narendra, Cheung, 2018), konkrétně i mravenců (Wehner & Srinivasan, 1981), ptáků (Mittelstaedt & Mittelstaedt, 1982), pískomilů (Mittelstaedt & Mittelstaedt, 1980), křečků (Etienne, 1987), myší domácích (Alyan & Jander, 1994), potkanů (Tolman, 1948), krys (O'Keefe & Dostrovsky, 1971), psů (Seguinot et al., 1998) a koček (Herrick, 1922).

Integrace dráhy je důležitým faktorem a jedním ze základních stavebních kamenů pro tvorbu prostorové reprezentace napříč živočišnou říší (Mittelstaedt & Mittelstaedt, 1980; Loomis et al., 1993; Wang, 2012; Wang, 2015). Integrace dráhy ale není, jako žádná navigační strategie, univerzální a její využití skýtá řadu omezení. Hlavní nevýhodou využití

integrace dráhy při navigaci je její náchylnost k velké kumulativní chybě, která se zvětšuje s rostoucí vzdáleností (Etienne et al., 1998; Etienne & Jeffery, 2004; Harootonian et al., 2020). Jednoduše řečeno – čím delší vzdálenost navigátor urazí, tím je větší pravděpodobnost, že se nevrátí přesně na výchozí bod. Existují dvě hlavní potenciální chyby, kterých se navigátor může dopustit – buď zvolí nesprávný směr návratu, nebo urazí nesprávnou vzdálenost. Tyto chyby mohou vzniknout z různých faktorů, jako jsou zkreslení rychlosti, ztráta paměti, kumulace chyb a další (Harootonian et al., 2020; Stangl et al., 2020).

Na integraci dráhy má vliv i samotné prostředí. Prostředí, ve kterém se pohybujeme, má ve valné většině případů nějakou hranici. Ať už se bavíme ve velkém měřítku o mezistátních hranicích nebo například o hranicích místnosti pomocí stěn, hrají v prostorové paměti důležitou roli (Mou & Wang, 2015). Vliv geometrie na navigaci zkoumal i Harootonian et al. v roce 2020. Z této studie vyplývá, že geometrie cesty, kterou účastníci studie absolvovali, neměla na úspěšnost účastníků žádný vliv. Při rostoucí vzdálenosti se ale zvyšovala chybovost, a to jak v podceňování úhlu, pod kterým se účastníci měli vracet k počátečnímu bodu své cesty, tak podceňování vzdálenosti, kterou měli k bodu urazit. Zde se nám ukazuje, že se účastníci mohli držet v bezpečném a známém prostředí, aby se vyhnuli nebezpečí, které na ně mimo známé a již navštívené místo mohlo čekat.

2.1.4.1 Výzkum navigace a integrace dráhy

I přes značné pokroky ve výzkumu navigace, a to především díky moderním technologiím, je studium navigace značně omezeno svými možnostmi zkoumání navigačního chování v laboratorních podmínkách (Grieves & Jeffery, 2017). My, jakožto lidé, jsme schopni se díky dostupným způsobům dopravy a moderním technologiím (jako například GPS) pohybovat v rámci větších oblastí než kdy dříve. Tato zkušenost se ale jen těžko implementuje do laboratorních podmínek, nejen z důvodu technologických omezení, ale i kvůli značnému ochuzení velikosti prostoru laboratorních výzkumů navigace, ve kterém jsme své nevídané navigační dovednosti schopni užít (Grieves & Jeffery, 2017).

Další překážkou je, že studium navigace u lidí, zejména jejího nervového základu, je velmi náročné. Hlavním důvodem je nedostatek přímých intrakraniálních záznamů, které se provádějí uvnitř lebky a jsou možné pouze v klinických podmínkách, kdy mají pacienti

implantované elektrody za účelem plánování chirurgického zákroku, například při léčbě epilepsie nebo odstranění nádoru (Ekstrom et al., 2018). Mnoho informací o navigaci bylo proto získáno z volné navigace hlodavců s implantovanými intrakraniálními elektrodami. V roce 1971 John O'Keefe a Jonathan Dostrovsky při výzkumu navigace u hlodavců objevili, v této práci již zmíněné, neurony nazvané prostorové buňky (O'Keefe & Dostrovsky, 1971), za což byl prof. John O'Keefe v roce 2014 oceněn Nobelovou cenou za fyziologii a lékařství, protože spolu s kolegy zaplnili dosud chybějící mezery v porozumění, jak nervová aktivita souvisí s poznáváním míst (Ekstrom, 2015).

Významné jsou také teoretické i experimentální výzkumy integrace dráhy a jejího kognitivního základu. Výzkum integrace dráhy je důležitý pro své úzké propojení s tvorbou kognitivní mapy (Tolman, 1948; Wang, 2015), která se často považuje, napříč způsoby navigace, za nejpokročilejší formu (He & McNamara, 2017). I přes to, že byla napříč touto prací integrace dráhy vykreslována jako navigační strategie nevyužívající externí navigační signály, existují důkazy o dopomáhání si využitím externích referenčních rámců pro prostorovou aktualizaci (Gramann et al., 2005; Kelly et al., 2008; Mou et al., 2004). Výzkumníci se proto často setkávají s problémem nedostatečné izolace těchto navigačních strategií, protože navigace vzniká na základě spolupráce několika složitých procesů zároveň.

Jednou z nejvýznamnějších studií, která se zabývala integrací dráhy, byla studie z devadesátých let minulého století, pro kterou byl vytvořen úkol o dokončení trojúhelníku (*triangle completion task*, TCT). Úkol dokončení trojúhelníku je od té doby hojně používaný v navigačních výzkumech. Výzkumy zabývající se integrací dráhy se ale nemusí zaměřovat pouze na úlohu TCT. Studie se dají rozdělit do dvou dominantních skupin – buďto se jedná o alternativní formu úkolu dokončení trojúhelníku (*triangle completion task*, TCT) (Loomis et al., 1993; Klatzky et. al., 1998), nebo se jedná o výzkumy s komplexními navigačními úlohami. Základem obou výzkumných kategorií je, že se účastníci vracejí na počátek navigátorovy cesty.

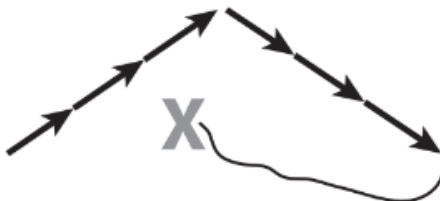
Úkol dokončení trojúhelníku

Triangle completion task (TCT) neboli úkol dokončení trojúhelníku, je úloha, jejíž průkopníky byl Jack Loomis a jeho kolegové (Loomis et al., 1993; Klatzky et. al., 1998). Při této úloze měli účastníci zavázané oči a byli vedeni podél dvou ramen trojúhelníku. Poté měli za úkol odhadnout úhel a vzdálenost, kterou urazit, aby trojúhelník dokončili (viz *Obrázek 4*). Zásadní je, že účastníci tuto úlohu prováděli bez vizuálních informací, tudíž museli svůj odhad toho, jakou vzdálenost urazili a pod jakým úhlem zatočili, založit pouze na odhadu odvozeného na základě interních navigačních signálů.

Pozoruhodné je, že trajektorie účastníků silně korelovaly s ideální cestou (přímo zpět k počátku), a to jak z hlediska lineární, tak úhlové vzdálenosti. Studie však zaznamenala, že účastníci měli tendenci podceňovat jak úhel, který potřebovali k zatočení, tak vzdálenost, kterou potřebovali ujít (Loomis et al., 1993; Klatzky et. al., 1998).

Obrázek 4

Schematické znázornění cesty při úloze TCT



Poznámka: Jedná se o jednoho z účastníků experimentu triangle completion task (Loomis et al. 1993). Znázorněn je špatný odhad úhlu zabočení zpět k cíli, tak i podcenění vzdálenosti potřebné k dosažení cíle. (Převzato z Ekstrom et al., 2018)

2.1.5 Výzkum navigace a moderní technologie

Studium navigace je značně provázáno s příchodem nových moderních technologií, které zároveň přináší nové možnosti ve výzkumu. Od roku 1979, kdy O'Keefe a Nadel publikovali knihu *The Hippocampus as a Cognitive Map*, v překladu Hipokampus jako kognitivní mapa, založenou především na poznacích získaných na hlodavcích, došlo k velkým pokrokům v oblasti výzkumu lidské prostorové navigace a jejího nervového základu. Jednou z hlavních překážek, které vědci ještě donedávna při studiu navigačních

dovedností a jejich základu čelili, je skutečnost, že hodnocení těchto dovedností je složité. Jak již bylo v úvodu o navigaci zmíněno, lidé se často orientují ve velkém prostoru s mnoha orientačními body, což následnou replikaci v laboratorních podmínkách značně komplikuje. S postupným příchodem moderních technologií se ale tato překážka bourá (Moffat, 2009). Doprovodným jevem těchto pokroků je také zdokonalování technologií schopných zkoumat navigaci – konkrétně se jedná například o funkční magnetickou rezonanci (fMRI) a virtuální realitu (VR) (Ekstrom, 2018).

2.1.5.1 Virtuální realita a headsety

Virtuální realita (VR) je interaktivní 3D prostředí, které může napodobovat naši realitu, nebo realitu uměle vytvořenou. Lidé se ve VR mohou například pohybovat na malém prostoru, ale zároveň mohou být v realitě v prostoru velkém. Dle Zheng et al. (1998) jde o prostředí, které si lze prohlédnout z různých úhlů, sáhnout do něj, uchopit jej a přetvářet dle libosti. Není zde nic podobně limitujícího, jako malá obrazovka nebo nutnost zadávat příkazy, aby se míněné změny měly možnost projevit do alterovaného prostředí. Virtuální realitu, dle Zheng et al. (1998), nelze chápat jako samostojné technologické odvětví. Je totiž výsledkem spojení řady oborů. Virtuální realita si vzala něco z elektronického a strojního inženýrství, kybernetiky, návrhů databází, simulací, počítačové grafiky, ergonomie, anatomie člověka, a dokonce i z umělé inteligence (AI) (Zheng et al., 1998).

2.1.5.2 Využití virtuální reality nejen v navigačních výzkumech

Do VR vstupujeme skrze speciální headsety (viz *Obrázek 5* a *Obrázek 10*), které promítají obraz pro každé oko zvlášť. Jde tedy o stereoskopické promítání obrazu. Právě headsety se ve výzkumech, zabývajících se navigací a integrací dráhy, hojně využívají k simulaci ideálního prostředí s možností zaznamenávat pohyb participantů. Velká výhoda používání VR a headsetů při navigačních výzkumech je ta, že dovoluje výzkumníkům sledovat a měřit navigační chování a zároveň, jak bylo již zmíněno, poskytuje plnou kontrolu nad experimentálním prostředím. Vědec má tedy plně ve svých rukách, jaké prostředí a interakce jsou účastníkům studie promítány, díky čemuž má VR široké využití od rekreace (herní průmysl), komunikaci až po vědecké a zdravotnické výzkumy (Zheng et al., 1998).

Využití virtuální reality a headsetů není omezeno pouze na výzkum navigace a integrace dráhy. VR se stává stále populárnější i v jiných oblastech výzkumu, například v neurovědách, medicíně či architektuře. V těchto oblastech umožňuje vytvářet realistické simulace různých situací a interakcí, které by byly jinak těžko přístupné či nerealizovatelné. VR lze využít i pro vzdělávání a trénink, například pro simulaci pracovních situací, pilotního výcviku nebo pro trénink zdravotnických postupů. Virtuální realita také nachází široké uplatnění v herním průmyslu, protože umožňuje hráčům se zcela ponořit do virtuálního světa. Lze tedy konstatovat, že virtuální realita a headsety jsou užitečnými nástroji pro výzkum a experimentování a jejich možnosti užití se stále rozšiřují.

Obrázek 5

Příklad použití headsetu a ovladačů pro VR



(Převzato od Bc. Ondřeje Trojana)

Cybersickness

I přes nevídané možnosti využití VR ve výzkumech navigace se řada výzkumníků potýká s riziky specifické právě pro práci s tímto médiem. Hlavním rizikem při práci s VR je tzv. cybersickness kvůli svému výraznému vlivu na kognitivní a motorické schopnosti (Kourtesis et al., 2023). Cybersickness se symptomaticky projevuje obdobně jako kinetóza.

Dle Kourtesis et al. (2023) cybersickness doprovází v různých intenzitách nevolnost, dezorientaci a okulomotorické příznaky. Cybersickness i kinetóza vznikají, když mozek dostává protichůdné informace z vestibulárního ústrojí a zraku. Existuje mezi nimi ale zásadní rozdíl. Cybersickness je vyvolaná vizuální stimulací, zatímco kinetóza je vyvolána pohybem (Kourtesis et al., 2023). Ačkoli neexistuje žádný ucelený teoretický rámec popisující cybersickness, nejpřijímanější teorií je, že dochází ke konfliktu mezi tím, co vidíme a co bychom měli vidět dle našeho vestibulárního ústrojí (Kourtesis et al., 2023). Přesné příčiny vzniku ale nejsou známy, s čímž souvisí to, že nevíme, jak cybersickness léčit.

Vzhledem k riziku cybersickness je důležité, aby výzkumníci, kteří používají VR technologie v experimentech, věnovali pozornost preventivním opatřením a informovali participanty o potenciálních rizicích a způsobech, jak snížit pravděpodobnost výskytu cybersickness.

2.2 Shrnutí teoretické části

Navigace je klíčovou schopností umožňující živočichům orientaci v prostředí, hledání úkrytu, potravy a partnera (Grieves & Jeffery, 2017) a je ovlivněna řadou faktorů. Například stárnutí s sebou přináší zhoršení kognitivních schopností, což značně ovlivňuje i navigační schopnosti (Stangl et al., 2020). Chybovost v navigaci, přicházející s narůstajícím věkem, je sice přirozená (Moffat, 2009), ale také může signalizovat řadu neurobiologických onemocnění (Ekstrom, 2015). Dále může naši schopnost navigace ovlivňovat i stres. Stres negativně ovlivňuje hipokampus, který je místem vzniku a uchovávání nervových buněk odpovědných za navigační schopnosti u řady živočišných druhů (Kim & Yoon, 1998; O'Keefe & Dostrovsky, 1971).

Dále byl v podkapitole *Činitele ovlivňující navigaci* rozebrán i zrak. Zrak je nejen pro člověka významným navigačním činitelem, protože umožňuje rozpoznávání orientačních bodů. Kartografické mapy, dopravní značky a rozcestníky jsou nedílnou součástí života člověka. Tyto pomůcky vděčí za svůj vznik právě zraku a jeho hojnému využívání pro navigaci. Pokud vizuální vodítka chybí, jsou lidé schopni se zdárně navigovat i na základě interních navigačních vodítek. Mnoho živočichů, včetně lidí, se dokáže vrátit do výchozího bodu díky interním signálům (Zhang & Mou, 2019). Integrace dráhy je navigační strategií

využívaná k odhadu vlastní polohy navigátora, která nám právě takový způsob navigace zprostředkovává za využití vestibulárního ústrojí a propriocepce (Sjolund et al., 2018). Dále integrace dráhy zahrnuje i výpočet ušlé vzdálenosti a úhel rotace (Chrastil et al., 2016). Integrace dráhy je také klíčovým faktorem pro tvorbu prostorové reprezentace, ale její přesnost se zhoršuje s rostoucí vzdáleností kvůli kumulativní chybě (Harootonian et al., 2020).

I přes to, že je integrace dráhy často vnímána jako strategie nezávislá na externích navigačních signálech, existují důkazy, že může být externími navigačními vodítky značně ovlivněna nebo jsou externí navigační vodítka využita jako kontrolní médium (Gramann et al., 2005; Kelly et al., 2008; Mou et al., 2004). Právě kvůli tomuto přesahu se studium integrace dráhy, či navigace všeobecně, potýká s výzvami spojenými s izolací různých navigačních strategií, protože navigace je výsledkem spolupráce různých navigačních procesů.

Studium lidské prostorové navigace se značně rozvinulo s příchodem moderních technologií. Významnou průkopnickou prací byla kniha "The Hippocampus as a Cognitive Map" od O'Keefe a Nadel z roku 1979, která byla založena na výzkumu navigace hlodavců. Studium navigace u lidí, zejména jejího nervového základu, jsou oproti hlodavcům náročné kvůli nedostatku přímých intrakraniálních záznamů, které se provádějí pouze v klinických podmínkách s implantovanými elektrodami (Ekstrom et al., 2018).

Moderní technologie, zejména funkční magnetická rezonance (fMRI) a virtuální realita (VR), ale mají ambice mezery ve vědomostech v navigaci zaplnit. Například VR výrazně přispěla k pokroku ve studiu navigace tím, že rozšířila možnosti výzkumu a poskytla možnost využít přesnější a lépe kontrolované prostředí pro experimenty (Ekstrom, 2018). Mimo výzkum navigace je VR využívána v neurovědách, medicíně, architektuře, vzdělávání a herním průmyslu (Zheng et al., 1998).

S využitím VR se ale také pojí rizika. Jedním z hlavních rizik spojených s používáním VR je cybersickness, což je stav podobný kinetóze. Symptomy zahrnují nevolnost, dezorientaci a okulomotorické příznaky. Tento jev vzniká v důsledku konfliktu mezi vizuálními vjemy a informacemi z vestibulárního systému (Kourtesis et al., 2023).

Přesné příčiny cybersickness nejsou dosud zcela objasněny. Z toho důvodu jsou k dispozici pouze preventivní opatření zahrnující omezení intenzity pohybu ve VR, zkrácení doby strávené ve VR a zajištění dostatečného příjmu tekutin (Kourtesis et al., 2023).

3 Praktická část

3.1 Cíl výzkumu

Cílem této práce je pomocí experimentu zjistit, zda má velikost prostoru vliv na plnění úkolu TCT ve VR, při kterém bylo participantům zamezeno k plnění využít externích navigačních vodítek. Při plnění navigačního úkolu *triangle completion task* (TCT, úkol dokončení trojúhelníku) se tedy museli spolehnout pouze na vodítka interní. Způsob navigace bez externích podnětů se nazývá integrace dráhy.

Předchozí výzkumy, citované napříč touto prací, naznačují, že se geometrie místa a cesty navigátora odráží v navigačním chování. Vzhledem k tomu, že není jisté jakým způsobem a jestli vůbec velikost prostoru ovlivňuje úspěšnost plnění TCT, popřípadě i dalších navigačních úloh, bude tato práce stěžejní pro případné vyzdvižení důležitosti volby správné velikosti prostoru, která bude adekvátní vzhledem k povaze budoucích výzkumů a nebude zkreslovat jejich výsledky. Zkoumaní budou i činitele ovlivňující navigaci. Konkrétně se jedná o stres, tendenci riskovat a nevolnost.

3.1.1 Hypotézy

- I Velikost místnosti, ve které byla prováděna úloha TCT ve VR, má vliv na participantům úhel návratu, ušlou vzdálenost a čas.
- II Skóre dotazníku *PSS-14* bude korelovat s úhlem návratu, ušlou vzdáleností a časem měřeným při plnění úlohy TCT ve VR.
- III Skóre dotazníku *CSQ-VR* bude korelovat s úhlem návratu, ušlou vzdáleností a časem měřeným při plnění úlohy TCT ve VR.
- IV Skóre dotazníku *Vnímání bezpečnosti* bude korelovat s úhlem návratu, ušlou vzdáleností a časem měřeným při plnění úlohy TCT ve VR.

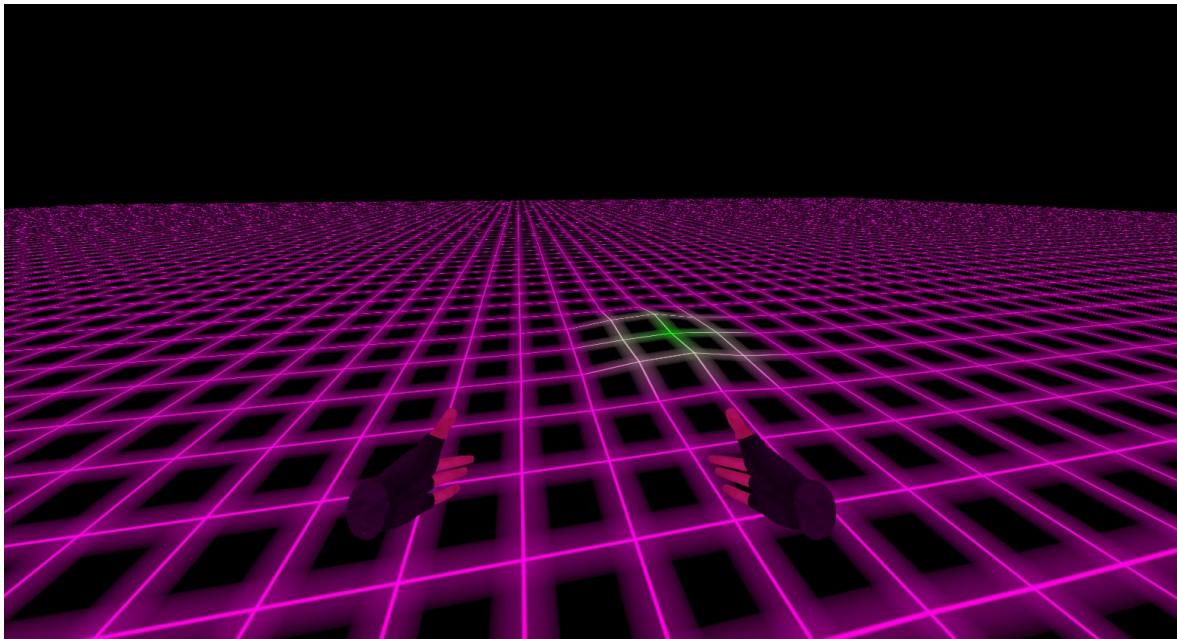
3.2 Metody výzkumu

3.2.1 Experiment

Experiment pro tuto práci byl převzat z hojně využívaného úkolu TCT, který je podrobně popsán v kapitole *Úkol dokončení trojúhelníku*. Oproti původnímu experimentu byl jeden zásadní rozdíl: participant nedokončoval trojúhelník se zavázanýma očima, ale měl na hlavě VR headset. VR headset skrze aplikaci, navrženou pro tento specifický experiment, participantovi promítal tmavý prostor s vyobrazenou mřížkou purpurové barvy (viz *Obrázek 6 a Obrázek 7*) a zbytek místnosti úplně zatemnil. Nebylo tedy možné se orientovat dle externích navigačních vodítek, a to především dle vizuálních.

Obrázek 6

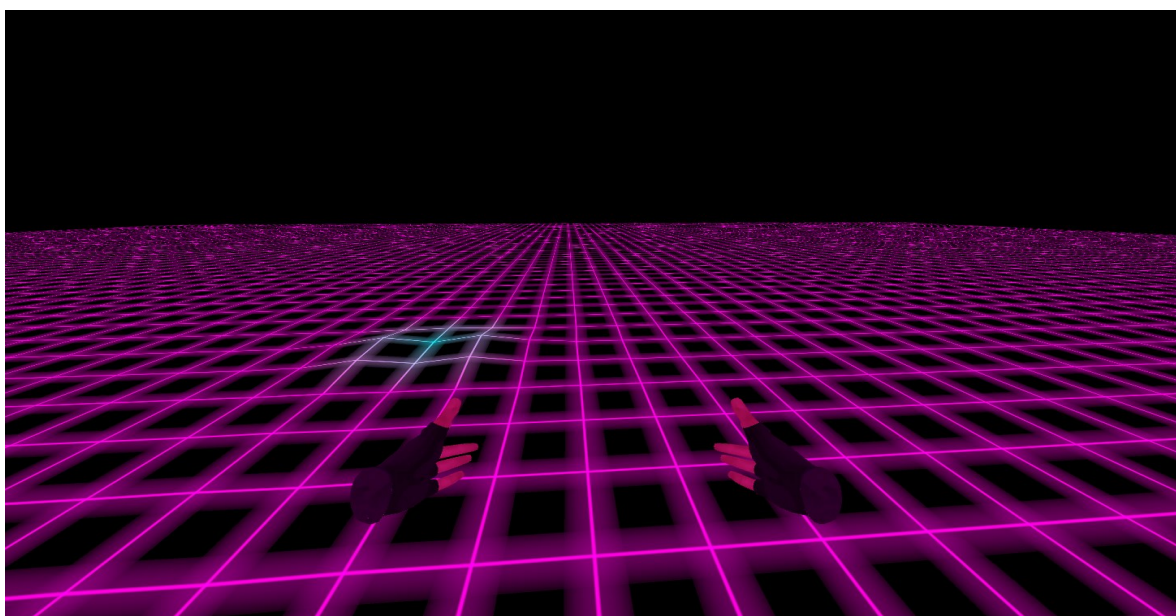
Ukázka virtuálního prostředí I.



Poznámka: Na obrázku je zobrazení počátečního bodu experimentu. Po příchodu na počáteční bod se zobrazil bod následující.

Obrázek 7

Ukázka virtuálního prostředí II.



Poznámka: Na obrázku je vyznačen bod pro dokončení prvního nebo druhého ramene trojúhelníku. Předešlý bod se vždy po odchodu z místa přestal zobrazovat, aby se participant nemohl orientovat dle vizuálních vodítek.

Experiment byl situován ve dvou druzích a velikostech místností, kdy vždy byla jedna reálná, buďto velká nebo malá, a druhá byla ve VR zprostředkovaná headsetem. Headset mimo projekci VR zároveň posloužil k zaznamenávání pohybu. Zbytek zůstal nezměněn – participant byl veden podél dvou ramen trojúhelníku a na konci se snažil vrátit do počátečního bodu, ze kterého vyrazil a následně možný počátek cesty označil. V našem případě participant počáteční bod označoval zmáčknutím tlačítka na ovladači headsetu, který následně přesnou polohu participanta zaznamenal. Úkol participantů plnili v obou velikostech místností, tj. velká i malá v náhodném pořadí.

Pro experiment byla zvolena dvě nastavení pro náhodné zobrazení trojúhelníku. Nastavení se nelišilo dle velikosti prostoru, ale ve výběru trialů. Jednotlivé trialů obsahovaly souřadnice pro zobrazení vrcholů trojúhelníku pro participanta. Participantů plnili úlohu ve dvou sériích, v každé místnosti jednou. Jedna série obsahovala 25 souřadnic pro trojúhelníky. Každý participant plnil obě série v obou místnostech.

Experiment doplnil dotazník na stres, tendenci riskovat a dotazník hodnotící cybersickness. Podoba dotazníků a podrobnější informace k dotazníkům jsou k nalezení v podkapitole *Dotazníkové metody*.

3.2.1.1 Výběr místností pro experiment

Vzhledem k parametrům experimentu a požadavkům pro výběr místa byly zvoleny dvě učebny na Fakultě humanitních studií Univerzity Karlovy v Praze. Zvolené učebny měly oproti jiným místům, která připadala v úvahu, zásadní výhodu ve své snadné dostupnosti pro účastníky experimentu i administrátory. Velkou výhodou byla také dostupnost zásuvek pro nabíjení headsetů.

První zvolenou místností byla učebna číslo 2.32 v budově Fakulty humanitních studií Univerzity Karlovy. Tato místnost byla zvolena jako větší. Po odsunutí všech stolů a židlí k okrajům učebny nám vznikl prostor o rozměrech 8,5 m na 7 m. Jako druhá menší místnost byla využita audiovizuální místnost (učebna číslo 0.32), taktéž v budově Fakulty humanitních studií Univerzity Karlovy. Po odsunutí všech překážek zde vznikl prostor 5 na 5 m.

Obrázek 8

Velký prostor pro experiment



Poznámka: Učebna 2.32 v budově Fakulty humanitních studií Univerzity Karlovy (Převzato od Bc. Pavla Srpa, 2023).

Obrázek 9

Malý prostor pro experiment



Poznámka: Učebna 0.32 v budově Fakulty humanitních studií Univerzity Karlovy.

3.2.1.2 Dotazníkové metody

Jak bylo již avizováno, experiment doplnily tři dotazníky:

- Škála vnímaného stresu (Perceived stress scale, PSS-14) (Cohen, Kamarck, & Mermelstein, 1983).
- Cybersickness ve virtuální realitě (Cybersickness in Virtual Reality Questionnaire, CSQ-VR) (Kourtesis et al., 2023)
- Vnímání bezpečnosti (Safety cognitions) (Westaby et al., 2003).

Škála vnímaného stresu

Dotazník Perceived stress scale (PSS), v překladu *Škála vnímaného stresu*, je uzpůsobený k hodnocení pociťovaného stresu. Tento dotazník byl zvolen pro své jednoduché vyhodnocování, obstojné psychometrické schopnosti a oblíbenost napříč dotazníky měřící množství vnímaného stresu. Je taktéž velmi oblíbený z důvodu obecnosti otázek, které se nevztahují k žádným konkrétním událostem. Dotazník vyhodnocující míru stresu byl zvolen především kvůli prokazatelnému vlivu stresu na oslabení kognitivních funkcí viz kapitola *Činitele ovlivňující navigaci*, konkrétně podkapitola *Stres*.

Pro hodnocení otázek měli participanti k dispozici škálu od nikdy (0) po velmi často (4). Dotazníku PSS jsou dohledatelné a využívané tři verze lišící se počtem položek. Konkrétně jsou dohledatelné verze PSS-14, PSS-10 a PSS-4. Pro účely této práce byla využita verze PSS-14, která obsahuje čtrnáct položek, z toho je sedm pozitivních (položky 1, 2, 3, 8, 11, 12, 14), doplněných o položky (4, 5, 6, 7, 9, 10, 13), které se skórují reverzně (0=4; 1=3; 2=2; 3=1; 4=0) (Cohen, Kamarck, & Mermelstein, 1983).

Tabulka 1

Překlady otázek dotazníku PSS (Figalová, 2019)

ZNĚNÍ V ANGLIČTINĚ	ZNĚNÍ V ČEŠTINĚ
1. In the last month, how often have you been upset because of something that happened unexpectedly?	1. Jak často jste v posledním měsíci byl/a rozrušen/a něčím neočekávaným?
2. In the last month, how often have you felt that you were unable to control the important things in your life?	2. Jak často jste v posledním měsíci měl/a pocit, že nemáte kontrolu nad důležitými věcmi ve svém životě?
3. In the last month, how often have you felt nervous and "stressed"?	3. Jak často jste se v posledním měsíci cítil/a nervózní a ve stresu?
4. In the last month, how often have you dealt successfully with irritating life hassles?	4. Jak často jste v posledním měsíci úspěšně vyřešil/a rozčilující nepříjemnosti ve svém životě?
5. In the last month, how often have you felt that you were effectively coping with important changes that were occurring in your life?	5. Jak často jste v posledním měsíci měl/a pocit, že se zvládáte efektivně vyrovnávat s důležitými změnami, které se objevily ve Vašem životě?
6. In the last month, how often have you felt confident about your ability to handle your personal problems?	6. Jak často jste v posledním měsíci věřil/a, že dokážete sebejistě zvládat své osobní problémy?
7. In the last month, how often have you felt that things were going your way?	7. Jak často Vám v posledním měsíci přišlo, že jdou věci podle plánu?
8. In the last month, how often have you found that you could not cope with all the things that you had to do?	8. Jak často jste v posledním měsíci zjistila/a, že nezvládáte všechny věci, které musíte dělat?
9. In the last month, how often have you been able to control irritations in your life?	9. Jak často jste v posledním měsíci cítil/a, že dokážete kontrolovat nepříjemné situace ve svém životě?
10. In the last month, how often have you felt that you were on top of things?	10. Jak často jste v posledním měsíci cítil/a, že máte věci pod kontrolou?
11. In the last month, how often have you been angered because of things that were outside your control?	11. Jak často jste byl/a v posledním měsíci rozzlobený/á kvůli věcem, které jste nemohl/a ovlivnit?
12. In the last month, how often have you found yourself thinking about things that you have to accomplish?	12. Jak často jste se v posledním měsíci přistihl/a přemýšlet nad věcmi, které ještě musíte udělat?

13. In the last month, how often have you been able to control the way you spend your time?	13. Jak často jste v posledním měsíci byl/a schopen/a kontrolovat, jakým způsobem trávíte svůj čas?
14. In the last month, how often have you felt difficulties were piling up so high that you could not overcome them?	14. Jak často jste v posledním měsíci cítil/a, že se potíže hromadí tak moc, že je nedokážete zvládnout?

Dotazník Cybersickness ve virtuální realitě

Dotazník Cybersickness ve virtuální realitě (Cybersickness in Virtual Reality Questionnaire, CSQ-VR) (Kourtesis et al. 2023) je relativně nový, validovaný nástroj pro hodnocení nepříjemných symptomů, které se mohou objevit při pobytu ve VR. Dotazník má ambice nahradit dotazníky, které se hojně při práci s VR používaly doposud, například Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) nebo Virtual reality sickness questionnaire (VRSQ). Tento dotazník byl zvolen pro podchycení případné nevolnosti participantů. Jakýkoliv nepříjemný pocit, který participanti pociťovali při pohybu ve VR, mohl mít vliv na jejich výsledky při plnění zadaného úkolu viz podkapitola *Cybersickness*.

Dotazník se skládá ze šesti otázek, které se zaměřují na tři kategorie symptomů, kterými jsou nevolnost, rovnováha a okulomotorika. Účastníci hodnotili pociťování různých druhů symptomů od vůbec nepociťují (1) po extrémně pociťují (7).

Tabulka 2

Překlady otázek dotazníku CSQ-VR (Kourtesis et al. 2023)

ZNĚNÍ V ANGLIČTINĚ	ZNĚNÍ V ČEŠTINĚ
Nausea A: Do you experience nausea? (e.g., stomach pain, acid reflux, or tension to vomit)	Nevolnost A: Pociťujete nevolnost? (např. bolest žaludku, pálení žáhy nebo máte pocit na zvracení)
Nausea B: Do you experience dizziness? (e.g., light-headedness or spinning feeling)	Nevolnost B: Pociťujete malátnost? (např. pocit na omdlení nebo točení hlavy)
Vestibular A: Do you experience disorientation? (e.g., spatial confusion or vertigo)	Rovnováha A: Pociťujete dezorientaci? (např. zmatenost nebo závrať)
Vestibular B: Do you experience postural instability? (i.e., imbalance)	Rovnováha B: Pociťujete potíže s posturální nestabilitou? (tj. nerovnováhou)
Oculomotor A: Do you experience a visually induced fatigue? (e.g., feeling of tiredness or sleepiness)	Okulomotorika A: Pociťujete zrakovou únavu? (např. pocit únavy nebo ospalosti)
Oculomotor B: Do you experience visually induced discomfort? (e.g., eyestrain, blurred vision, or headache)	Okulomotorika B: Pociťujete zrakový diskomfort? (např. únavu očí, rozmazané vidění nebo bolest hlavy)

Dotazník Vnímání bezpečnosti

Dotazník Vnímání bezpečnosti (Safety cognition) (Westaby et al., 2003) původně obsahuje tři části, ze kterých byly v tomto výzkumu využity dvě: první část se nazývá Povědomí o bezpečnosti (Safety consciousness) a druhá část Stupnice nebezpečného riskování (The dangerous risk-taking scale). Třetí část neboli Stupnice znalostí o bezpečnosti (The safety knowledge scale) nebyla použita pro její zaměření na učení se konkrétních bezpečnostních postupů a jejich pochopení.

První část dotazníku má sedm otázek, druhá pět. V tomto dotazníku respondenti hodnotili každou položku na pětibodové škále od rozhodně nesouhlasím (1) po rozhodně souhlasím (5).

Tabulka 3

Překlady otázek dotazníku Vnímání bezpečnosti (Westaby et al., 2003)

ZNĚNÍ V ANGLIČTINĚ	ZNĚNÍ V ČEŠTINĚ
Safety consciousness	Povědomí o bezpečnosti
a) I always take extra time to do things safely.	a) Vždycky věnuji extra čas tomu, abych dělal věci bezpečně.
b) People think of me as being an extremely safety-minded person.	b) Lidé o mně smýšlí, jako o člověku velmi dbajícím na bezpečnost.
c) I always avoid dangerous situations.	c) Vždy se vyhýbám nebezpečným situacím.
d) I take a lot of extra time to do something safely even if it slows my performance.	d) Bezpečnosti věnuji spoustu času navíc, i když to zpomaluje můj výkon.
e) I often find myself making sure that other people do things that are safe and healthy.	e) Často se mi stává, že se přistihnu při dohlížení nad ostatními lidmi, aby dělali věci, které jsou bezpečné a zdravé.
f) I get upset when I see other people acting dangerously.	f) Rozčílí mě, když vidím, že se ostatní lidé chovají nebezpečně.
g) Doing the safest possible thing is always the best thing.	g) Udělat tu nejbezpečnější možnou věc je vždy to nejlepší.
The dangerous risk taking scale	Stupnice nebezpečného riskování
(a) I would rather take risks than be overly cautious.	(a) Raději budu riskovat, než abych byl přehnaně opatrný.
(b) In the past month, I have done some exciting things that other people think are dangerous.	(b) V uplynulém měsíci jsem udělal několik zajímavých věcí, které ostatní lidé považují za nebezpečné.
(c) I love to take risks even when there is a small chance I could get hurt.	(c) Rád riskuji, i když je zde malá šance, že bych se mohl zranit.
(d) Sometimes people get on my nerves when they tell me how to act "more safely".	(d) Někdy mi lidé lezou na nervy, když mi říkají, jak se chovat "bezpečněji".
(e) I value having fun more than being safe.	(e) Zábava je pro mě přednější než bezpečnost.

Dotazník měřící participantovu tendenci riskovat a kognici bezpečnosti byl vybrán s ohledem k hypotéze, že se participantova tendence riskovat odrazí v jeho tendenci mířit vně trojúhelník. Tímto dotazníkem chceme zjistit, zda se tendence riskovat projeví i v plnění úlohy TCT.

3.2.1.3 Hardware

Pro měření navigačního chování participantů a projekci virtuálního prostředí byly využity VR brýle Meta Quest 2 (viz *Obrázek 5* a *Obrázek 10*). Jedná se o virtuální headset vyvinutý společností Oculus. Na trh byl Meta Quest 2 uveden v říjnu 2020. Nyní je headset pod záštitou společnosti Meta Platforms, Inc. Z toho důvodu byl také přejmenován z původního Oculus Quest 2 na nynější název Meta Quest 2.

Headset je dle oficiálních stránek Meta poháněn procesorem Qualcomm Snapdragon XR2 s vestavěným úložištěm 128 GB nebo 256 GB u dražší verze. Displej brýlí je fast-switch LCD s rozlišením 1832×1920. Pro každé oko projektuje headset obraz zvlášť, tedy stereoskopicky. Headset podporuje obnovovací frekvence 60, 72 a 90 Hz.

Čočky lze nastavit ve třech různých polohách. Každý uživatel si taktéž může upravit popruhy pro pohodlné nošení headsetu dle svých preferencí a potřeb. Dle oficiálních stránek meta je headset lehký a vhodný i pro nositele brýlí.

Meta Quest 2 obsahuje také integrovaný reproduktor pro prostorový zvuk a mikrofon, který ale nebude, vzhledem k naší snaze zamezit orientaci dle externích navigačních vodítek, využit. Výdrž baterie se odhaduje na necelé tři hodiny. V praxi se výdrž baterie odvíjí od zátěže vyvíjené na přístroj vzhledem ke spuštěné aplikaci. Z tohoto důvodu byly využívány přístroje dva, jeden v každé místnosti, aby se v mezičase mohl nepoužívaný headset dobít.

Obrázek 10

Headset Meta Quest 2 využitý při experimentu



Poznámka: Fotografie z oficiálních stránek společnosti Meta Platforms, Inc. popisující jeho rozměry. (Převzato z meta.com, 2024)

3.2.1.4 Software

Aplikace pro tento experiment byla vytvořena školitelem Mgr. Lukášem Hejtmánkem Ph. D. a byla uzpůsobena přímo k tomuto konkrétnímu experimentu.

Úkolem aplikace bylo projektovat souřadnice jednotlivých vrcholů trojúhelníku na purpurovou mřížku, měřit okolnosti participantova pohybu a hlavně zaznamenat, kde došlo k označení počátečního bodu. Zaznamenávaná data jsou dále popsána v podkapitole *Sběr dat z navigační úlohy*.

Ovládání aplikace bylo navrženo, aby bylo co nejintuitivnější. Po spuštění aplikace stačilo administrátorovi zadat kód participanta, vybrat jedno ze dvou nastavení a aplikace následně započala úlohu. Samotný trial poté začal vstupem na první vyznačený bod (viz *Obrázek 6 a Obrázek 11*).

3.2.1.5 Výběr vzorku

O možné účasti na experimentu se potenciální účastníci dozvěděli ze zvacího e-mailu zaslaného studentům navštěvujícím některé psychologické kurzy na Fakultě humanitních studií Univerzity Karlovy v Praze. Zvací e-mail obsahoval krátký popis experimentu, jeho účel, možná rizika, časovou náročnost experimentu a také informace o odměně za účast, za kterou byly participantovi nabídnuty bonusové body do plnění vybraných kurzů na FHS UK. K experimentu se mohli participanté zapsat přes jednoduchý formulář. Ten dále obsahoval výběr námi zvolených měřících dnů a hodin, které byly pro participanta ještě k dispozici k zamluvení.

Vzhledem k povaze výzkumu nezáleželo na věku ani pohlaví participantů, značnou část ale tvořili studenti FHS UK. Časová náročnost experimentu se podepsala na počtu participantů. Z původně 21 přihlášených se dostavilo pouze 16. Průměrný věk participantů byl 22,56 let. Věk nejmladšího participanta byl 19, nejstaršího 43. Výzkumu se zúčastnilo celkem 11 žen a 5 mužů.

3.2.1.6 Rizika

Hlavním rizikem při práci s VR je tzv. cybersickness projevující se unaveností, nevolností, bolestí hlavy, dezorientací a závratěmi (Kourtesis et al., 2023). Přesné příčiny vzniku nejsou známy, s čímž souvisí to, že nevíme, jak cybersickness léčit. Bližší specifikace cybersickness je k nalezení ve stejnojmenné kapitole *Cybersickness*. Existuje však řada tipů, jak příznaky zmírnit. Participantům experimentu bylo v instruktážním e-mailu doporučeno, aby k experimentu přišli odpočatí a najedení. V opačném případě by se riziko projevu cybersickness mohlo zvyšovat. Participanté byli také informováni o tom, že pokud pocítí jakýkoliv z výše uvedených příznaků, budou moci účast na experimentu přerušit, či z výzkumu úplně vystoupit.

Dále je zde riziko, nebyla zvolena strategie, která by dostatečně izolovala pozorované kognitivní procesy. Navigace zahrnuje několik různých dynamických kognitivních procesů, což vytváří vážné překážky pro výzkumy, které se pokouší izolovat specifické kognitivní

procesy během navigace, jako je například integrace dráhy. Nelze tedy s jistotou říct, že byla izolována a zkoumána jedna konkrétní navigační strategie.

Existuje také riziko nedostatku participantů. Při nižším počtu participantů snadněji dochází ke zkreslení dat. Může se stát, že několik participantů může být v plnění navigační úlohy výrazně lepší či horší než ostatní, čímž ovlivní celkové výsledky všech zúčastněných.

Dále je zde riziko, že zvolené místnosti neměly dostatečný velikostní rozdíl. Původní záměr byl zvolit malou místnost a otevřené prostranství, například parkoviště nebo tělocvičnu. K těmto volbám se ale váže složitá administrace experimentu, a to především omezené možnosti pro dobíjení headsetů. Ve většině případů by bylo také nutné řešit pronájem těchto prostor nebo omezení skrze průchodnost těchto míst. Vybrané místnosti číslo 0.32 a číslo 2.32 byly pro experiment Fakultou humanitních studií Univerzity Karlovy poskytnuty bez nutnosti pronájmu.

3.2.1.7 Etické otázky výzkumu

Před začátkem experimentu byl participantům k podpisu předložen informovaný souhlas, ve kterém se seznámili s tématem a cílem výzkumu. S veškerými informacemi předloženými v informovaném souhlasu se měli možnost seznámit již skrze zvací e-mail odeslaný spolu s pozvánkou. Součástí informovaného souhlasu byly zároveň informace o účelu výzkumu, jeho formě a o způsobu zacházení se získanými daty, například jejich následné využití pro budoucí výzkum. Všechna data byla anonymizována.

Dále byla uvedena i možná rizika účasti na výzkumu. Stává se, že lidem bývá ve virtuálním prostředí nevolno viz podkapitola *Cybersickness*. Z tohoto důvodu byli participanté na experimentu v průběhu experimentu dotazováni na jejich stav a byli již skrze zvací e-mail informováni o doporučeních, které se již osvědčily při jiných výzkumech využívajících VR. Participanté měli možnost experiment v jakékoli fázi ukončit, ať už z důvodu nevolnosti a jiných nepříjemných symptomů, nebo již nechtěli z nějakého důvodu v experimentu pokračovat.

Vždy byla participantům k dispozici voda a lehké občerstvení. Výhodně také bylo, že participanté měli při přechodu mezi místnostmi dostatek prostoru k odpočinku. Všichni

administrátoři byli taktéž instruováni ke kontrole kvality vzduchu v místnostech, tudíž ve většině případů běžela klimatizace a mezi jednotlivými participanty se větralo.

3.2.2 Shrnutí a procedura experimentu

Dle předem připraveného rozpisu započal experiment buďto v malé nebo ve velké místnosti. Bylo tak učiněno z důvodu zamezení vlivu pořadí místností na výsledky. Výhodou střídání místa začátku experimentu bylo také to, že bylo vždy k dispozici delší časové okno pro nabíjení headsetů. Střídání bylo koncipováno tak, že se začínalo tam, kde předchozí participant skončil.

Před začátkem každého experimentu byl podepsán informovaný souhlas, jehož součástí bylo seznámení s tématem a cílem výzkumu, informace o účelu výzkumu, jeho formě a o způsobu zacházení se získanými daty, například jejich následné využití pro budoucí výzkum a také, že data budou anonymizována. Dále byla uvedena i možná rizika vyvstávající pro participanta při účasti na výzkumu, které jsou podrobně popsány v kapitole *Cybersickness*. Z tohoto důvodu byli participanti v průběhu experimentu dotazováni na jejich stav.

Před začátkem samotného experimentu byl participantům předložen dotazník PSS-14 (Cohen, Kamarck, & Mermelstein, 1983) a dotazník Vnímání bezpečnosti (Westaby et al., 2003). Po vyplnění se přešlo k instruktáži a nasazení headsetu, který si každý participant zkontroloval, zda sedí pohodlně a zda vidí vše ostře. Participant si následně sám zvolil, kdy bude úloha spuštěna. Po dokončení první sady trojúhelníků po 25 trialech se mohl participant přesunout do druhé místnosti, kde si prošel druhou sadu trojúhelníků o stejném počtu úloh.

Po sundání headsetu se přístroj připravil pro dalšího participanta, což znamenalo především vyčištění a dezinfekce přístroje. Mezitím se přešlo k vyplnění posledního dotazníku CSQ-VR (Kourtesis et al. 2023), což byl také poslední úkon celého experimentu a participant poté odcházel.

3.2.3 Sběr a zpracování dat

Sběr dat proběhl ve čtyřech dnech, konkrétně v pátek 5.5.2023, pátek 12.5.2023, sobotu 13.5.2023 a neděli 14.5.2023. Pro každého participanta bylo rezervována jedna hodina času, v rámci které bylo nutné stihnout vše, co bylo naplánováno. Každému participantovi byl přiřazen kód, pod kterým se ukládala data z navigační úlohy a z dotazníků. Kód byl vždy zadán administrátorem, aby se předešlo chybám, které mohly při zapisování přiděleného kódu samotným účastníkem nastat.

3.2.3.1 Sběr dat z navigační úlohy

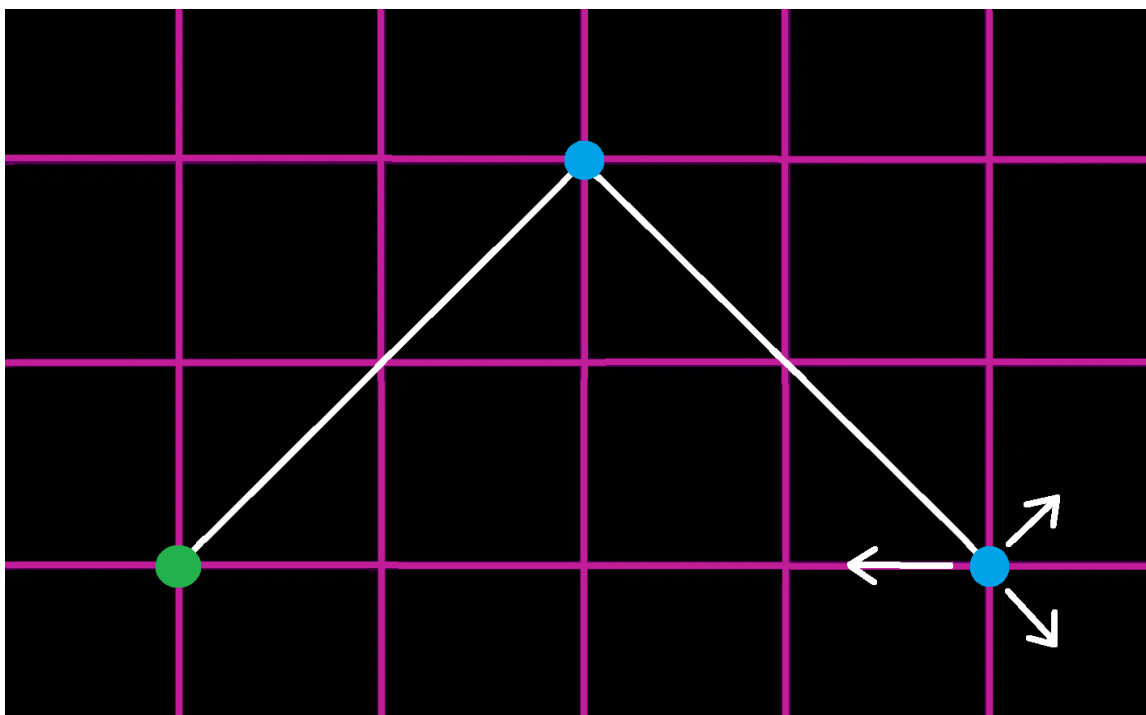
Data z plnění navigační úlohy byla sbírána skrze VR headset, který zaznamenává informace o pozici participanta v prostoru. Data byla sbírána ze dvou místností, tj. velké a malé. V těchto místnostech participanti plnili dvě sady trojúhelníků. Po dokončení navigační úlohy (viz *Obrázek 11*) v první místnosti se přešlo do druhé místnosti, kde participant navigační úlohu opakovával s jinou sadou trojúhelníků, tedy s druhým nastavením, které ještě neabsolvoval.

Konkrétní údaje, které byly zaznamenávány při navigační úloze jsou:

- **distance_to_goal:** Znamená vzdálenost od potvrzeného místa jakožto cílového ke skutečnému cíli (0,0) v metrech.
- **distance_to_second:** Označuje vzdálenost počátečního bodu (0,0) k druhému bodu v metrech.
- **distance_goal_second:** Je vzdálenost mezi třetím a cílovým bodem (0,0) v metrech.
- **guided_duration:** Vyznačuje, jak dlouho byl participant naváděný, tj. ze startu (0,0) do druhého a třetího bodu.
- **final_duration:** Vypočítává, jak dlouho trvalo participantovi dostat se svépomocí zpět na počáteční bod z druhého bodu.
- **triangle_angle:** Je úhel zlomu trojúhelníku.
- **triangle_turn:** Zaznamenává zabočení trojúhelníku buďto doprava nebo doleva.
- **chosen_angle_deviation:** Označuje úhlovou odchylku od zvoleného úhlu.

Obrázek 11

Příklad projekce mřížky s body



Poznámka: První bod zleva (zelený) označuje startovní pozici. První bod je zároveň i bodem, na který se měl participant vracet. Druhý a třetí bod zleva (modrý) označují body, ke kterým byl participant veden. Po vstoupení na druhý bod se vždy rozsvítil bod následující a předchozí zmizel. Ze třetího bodu se měl následně participant vracet zpět na první bod (zelený), který je zároveň i cílem.

3.2.3.2 Sběr dat z dotazníků

V rámci této bakalářské práce byly pro sběr dat z dotazníků využity online podoby těchto dotazníků. Konkrétně šlo o dotazníky PSS-14 a Vnímání bezpečnosti. Dotazníky obsahovaly pouze uzavřené otázky, s možností výběru z nabízených odpovědí. Všechny otázky byly koncipovány tak, aby vyžadovaly hodnocení položek na bodové škále.

Přístup ke sběru dat skrze online dotazník, umožnil snadnou a efektivní kvantifikaci a analýzu získaných dat. Uzavřené otázky s předem definovanými možnostmi zajistily konzistentní a snadněji srovnatelné odpovědi od všech participantů. Všechny dotazníky byly vytvořeny přes web, kde jsou nyní i archivované.

3.2.3.3 Vymezení metrik zájmu pro navigační úlohu

Vzhledem k hypotézám byly při analýze plnění TCT podrobně sledovány proměnné popsané na následujících řádcích.

final_duration: Ve sledovaných datech byla final_duration proměnnou, která udávala dobu trvání od dokončení druhého ramene trojúhelníku až do bodu, který participant označil za počáteční. Tento údaj byl měřený v sekundách a posloužil k analýze času.

chosel_angle_deviation: Další sledovanou proměnnou byla chosel_angle_deviation, což je úhlová odchylka od zvoleného úhlu. Kladná hodnota u této měřitelné hodnoty naznačovala, že participant mířil vně trojúhelník. Záporná hodnota značila, že mířil dovnitř trojúhelníku a kladná značila pohyb vně trojúhelník. Tato proměnná sloužila k analýze úhlové odchylky.

distance_goal_second: Třetí sledovanou proměnnou je vzdálenost mezi třetím a cílovým bodem (0,0) v metrech. Tato proměnná posloužila spolu s následující proměnnou k analýze ušlé vzdálenosti.

distance_to_goal: Poslední sledovanou proměnnou byla distance_to_goal, což je vzdálenost bodu, který participant označil za počáteční, k cíli, tedy souřadnici (0,0). Tento údaj byl měřený v metrech.

3.2.3.4 Předzpracování dat

Při předzpracování dat z navigační úlohy TCT byli odstraněni outlineři. Tímto způsobem bylo odstraněno vše, co mělo hodnoty za směrodatnou odchylkou 3. Dle deskriptiv se jedná o normální rozdělení dat. Pro analýzy dat z navigační úlohy tedy může být použit Studentův T-Test. I přes to, že se jednalo o stejné participanty, tak participanti nedělali v každé místnosti stejné trialy trojúhelníků. K testování **Hypotézy I** byl tedy využit nepárový T-Test. Pro porovnání vzdálenosti byla vytvořena nová proměnná, konkrétně final_distance_against_ideal. Tato proměnná je rozdílem mezi distance_goal_second a distance_to_second. Pro testování **Hypotézy II, III a IV** bylo nutné zprůměrovat výsledky navigační úlohy pro každého participanta a následně je spojit s výsledky příslušných dotazníků, na které odkazuje konkrétní hypotéza.

4 Výsledky

Všechna data byla analyzována v programu JASP. Dle oficiálních stránek aplikace se jedná o open-source projekt podporovaný Amsterdamskou univerzitou (Universiteit van Amsterdam, UvA). Při analýzách byla hodnota signifikance stanovena na 0,05.

4.1 Výsledky navigační úlohy

Porovnávané byly tři proměnné: úhel, čas a vzdálenost. Podrobný popis těchto proměnných je k nalezení v podkapitole *Vymezení metrik zájmu pro navigační úlohu*.

4.1.1 Ušlá vzdálenost

Hodnota Studentova t-testu pro ušlou vzdálenost není statisticky významná ($t(596) = 0,659$, $p = 0,510$), což naznačuje, že neexistuje signifikantní rozdíl v ušlé vzdálenosti mezi velkou a malou místností. Hodnota Cohenova d je 0,054, což indikuje velmi malý efekt. Tento výsledek není statisticky významný a naznačuje, že velikost místností nemá vliv na ušlou vzdálenost účastníků v plnění navigační úlohy TCT.

4.1.2 Úhlová odchylka

Hodnota t-testu pro úhlovou odchylku je statisticky významná ($t(596) = 2,169$, $p = 0,030$), což naznačuje, že mezi velkou a malou místností existuje rozdíl v úhlové odchylce. Pro úhel našel Studentův t-test mezi velkou a malou místností signifikantní rozdíl – v průměru o $2,903^\circ$. Hodnota Cohenova d je 0,177, což indikuje malý efekt. Tento výsledek je statisticky významný a naznačuje, že velikost místností má vliv na úhlovou odchylku, kterou participanti volili při plnění navigační úlohy TCT. V rámci sledování úhlové odchylky byla sledována i tendence chodit vně prostor trojúhelníku ve velké a malé místnosti. Rozdíl v počtu záporných a kladných úhlů ale není statisticky významná ($p = 0,061$).

Tabulka 4

Kontingenční tabulka kladných a záporných úhlů v místnostech

Úhel	Místnost		Celkem
	Velká	Malá	
Záporný	117	145	262
Kladný	176	160	336
Celkem	293	305	598

Chi-kvadrát Tests

	Hodnota	df	p
X ²	3.515	1	0.061
N	598		

Poznámka: Kladný úhel značí pohyb vně trojúhelník, záporný dovnitř trojúhelníku.

4.1.3 Čas

Hodnota t-testu pro čas vyšla s hraniční významností ($t(596) = -1,974, p = 0,049$). Hodnota Cohenova d je $-0,161$, což naznačuje malý efekt.

Tabulka 5

Deskriptiva skupin pro čas strávený plněním úlohy TCT

Čas	Místnost	N	Průměr	SD	SE	Variační koeficient
	Velká	293	6.736	3.140	0.183	0.466
	Malá	305	7.262	3.360	0.192	0.463

Poznámka: Průměrný čas strávený plněním úlohy TCT je větší u malé místnosti v průměru o 0,526 sekundy.

4.2 Výsledky dotazníků

Na následujících řádcích budou rozebrány výsledky dotazníků. Konkrétně se jedná o dotazníky CSQ-VR, PSS-14 a dvě ze tří částí dotazníku Vnímání bezpečnosti. Pro analýzu byl použit průměrný čas, úhel a vzdálenost jednotlivých participantů.

4.2.1 PSS-14

PSS-14 je dotazník o čtrnácti položkách. Participantů skrze tento dotazník hodnotili míru pociťovaného stresu. Pro hodnocení otázek měli participantů k dispozici škálu od nikdy (0) po velmi často (4), čímž měli hodnotit četnost. Průměrné skóre PSS-14 mezi účastníky bylo 31,88 bodů. Tato hodnota představuje průměrné bodové hodnocení vnímaného stresu mezi respondenty. Korelace mezi skóre dotazníku PSS-14 a údaji z navigační úlohy byly analyzovány za použití Pearsonova korelačního koeficientu a Spearmanova rho.

Tabulka 6

Korelace navigační úlohy se skóre dotazníku PSS-14

		Pearson		Spearman	
		r	p	rho	p
Skóre dotazníku PSS-14	- Čas	-0.138	0.652	0.052	0.865
Skóre dotazníku PSS-14	- Úhel	-0.046	0.881	0.052	0.865
Skóre dotazníku PSS-14	- Vzdálenost	-0.006	0.983	-0.223	0.464

Poznámka: Veškeré korelace jsou nízké a žádná z nich není statisticky významná. Mezi skóre dotazníku PSS-14 a zkoumanými proměnnými z navigační úlohy TCT není dle korelační analýzy silná závislost.

4.2.2 CSQ-VR

CSQ-VR je dotazník rozdělený na tři části, která každá hodnotí jednu skupinu symptomů. Těmito skupinami jsou: nevolnost, rovnováha a okulomotorika. Pro hodnocení byla k dispozici škála od vůbec nepocítuji (1) po extrémně pocítuji (7).

Průměrné hodnocení pro jednotlivě symptomatické kategorie byly: 1,66 bodů pro nevolnost, 1,90 bodů pro rovnováhu a 2,47 bodů pro okulomotoriku. Největší zátěž tedy účastníci pocívali průměrně skrze okulomotoriku.

Po sečtení bodů všech symptomatických skupin se dostáváme na průměrné bodové ohodnocení 12,06 bodů. Nejvyšší bodové hodnocení dotazníku bylo 29 bodů, nejnižší bodové ohodnocení bylo 7. Korelace mezi skóre dotazníku CSQ-VR a údaji z navigační úlohy byly analyzovány za použití Pearsonova korelačního koeficientu a Spearmanova rho.

Tabulka 7

Korelace výsledků navigační úlohy se skóre dotazníku CSQ-VR

	Pearson		Spearman	
	r	p	rho	p
Skóre dotazníku CSQ-VR - Čas	0.092	0.764	0.053	0.864
Skóre dotazníku CSQ-VR - Úhel	0.255	0.400	0.203	0.507
Skóre dotazníku CSQ-VR - Vzdálenost	-0.177	0.563	0.136	0.658

Poznámka: Veškeré korelace jsou nízké a žádná z nich není statisticky významná. Mezi skóre dotazníku CSQ-VR a zkoumanými proměnnými z navigační úlohy TCT není dle korelační analýzy silná závislost.

4.2.3 Vnímání bezpečnosti

Dotazník Vnímání bezpečnosti (Westaby et al., 2003) se skládá ze tří částí, přičemž v tomto konkrétním výzkumu byly využity první dvě z nich. První část dotazníku obsahuje sedm otázek, druhá část obsahuje pět otázek. Respondenti hodnotili každou položku na pětibodové škále, (1) pro rozhodně nesouhlasím a (5) pro rozhodně souhlasím.

Průměrné skóre pro první část bylo 21,3 bodů se směrodatnou odchylkou 5,19. V první části, hodnotící povědomí o bezpečnosti, bylo 10 účastníků s nadprůměrným bodovým ohodnocením. Pro druhou část průměrné bodové hodnocení vycházelo na 13,4 bodů se směrodatnou odchylkou 3,16. V druhé části, hodnotící stupnici nebezpečného riskování, bylo 9 participantů, kterým vyšlo nadprůměrné hodnocení. Průměrné skóre činilo 34,70 bodů. Korelace mezi skóre dotazníku vnímání bezpečnosti a zvoleným úhlem byla analyzována za použití Pearsonova korelačního koeficientu a Spearmanova rho.

Tabulka 8

Korelace navigační úlohy se skóre dotazníku Vnímání bezpečnosti (VB)

		Pearson		Spearman	
		r	p	rho	p
Skóre dotazníku VB	- Čas	0.090	0.770	-0.061	0.843
Skóre dotazníku VB	- Úhel	0.301	0.317	0.418	0.155
Skóre dotazníku VB	- Vzdálenost	0.607	0.028	0.310	0.302

Poznámka: Z tabulky vyplývá, že dle Pearsonova korelačního koeficientu má z proměnných pouze "Vzdálenost" statisticky významnou korelaci se skóre z dotazníku Vnímání bezpečnosti. Ostatní proměnné nevykazují statisticky významné vztahy.

5 Diskuse

5.1 Interpretace výsledků

Z výsledků navigační úlohy se dala alespoň z části potvrdit **Hypotéza I**: *Velikost místnosti, ve které byla prováděna úloha TCT ve VR, má vliv na úhel návratu, ušlou vzdálenost a čas.* V rámci hodnocení času se ukázalo, že plnění úlohy TCT v malé místnosti zabralo více času. Vyšší čas při plnění úlohy TCT ve VR v malé místnosti si můžeme interpretovat tak, že se ve stísněnějších prostorech více projevovala tendence být opatrnější a možná i více promýšlet další postup. V tomto případě bychom mohli zvážit další analýzu a případně provést další studii pro potvrzení výsledků. S ohledem na úhel návratu výsledky naznačují, že velikost místnosti ovlivňuje, jaké úhly návratu participanti zvolili při plnění úlohy TCT. Tento vliv je ale relativně malý. Otázkou tedy je, zda by se s výběrem místností s větším rozdílem ve velikostech nezvětšil i rozdíl ve volbě úhlů návratu. Při hodnocení úhlového odbočení se dále sledovalo, zda participant mířil vně nebo dovnitř dokončovaného trojúhelníku. Měření sice potvrdilo, že měli participanti ve velké místnosti větší tendenci chodit vně trojúhelník, což by mohlo naznačovat, že se projevoval jakýsi lepší pocit z větších prostor, kdyby se ale zároveň i potvrdila statistická významnost, což se nestalo. S ohledem na ušlou vzdálenost se **Hypotézu I** potvrdit taktéž nedalo. Analyzované hodnoty totiž nevyšly signifikantně, tudíž lze předpokládat, že velikost místnosti neměla na vzdálenost, kterou participanti urazili, signifikantní vliv.

Taktéž **Hypotéza II**: *Skóre dotazníku PSS-14 bude korelovat s úhlem návratu, ušlou vzdáleností a časem měřeným při plnění úlohy TCT ve VR* se nedala potvrdit. Dle korelační analýzy jsou veškeré korelace nízké a žádná z nich není statisticky významná. Mezi výsledky dotazníku u jednotlivých participantů a jejich výsledky z navigační úlohy TCT není závislost.

Hypotéza III: *Skóre dotazníku CSQ-VR bude korelovat s úhlem návratu, ušlou vzdáleností a časem měřeným při plnění úlohy TCT ve VR* se nedala potvrdit z důvodu, že veškeré korelace výsledků dotazníku u jednotlivých participantů s jejich výsledky z navigační úlohy TCT, konkrétně úhel návratu, ušlou vzdálenost a čas, jsou nízké a žádná

z nich není statisticky významná. Očekávaným zjištěním také bylo, že největší zátěž participanti pociťovali skrze okulomotoriku. Toto zjištění si můžeme vysvětlit vznikající zátěží pro oči participantů skrze blízkost obrazovek headsetu. S narůstajícím pobytem ve VR se také snižuje interval mrkání, což snižuje oční komfort.

Z výsledků navigační úlohy a dotazníku Vnímání bezpečnosti, vzhledem k velmi nízkým hodnotám korelačních koeficientů a nevýznamným hodnotám p , nelze jednoznačně potvrdit **Hypotézu IV**: *Participanti s vyšší tendenci k rizikovému chování, měřenou skrze dotazník Vnímání bezpečnosti, budou častěji mířit vně trojúhelník.* Vzdálenost je, dle Pearsonova korelačního koeficientu, jedinou proměnnou se statisticky významnou korelací. Hodnota Spearmanova ρ ale tuto významnost nepotvrdila.

5.2 Přínosy této práce

Tato práce měla za cíl zjistit, zda má velikost místnosti vliv na plnění úlohy TCT ve VR. I přes nedostatky této práce, které jsou blíže vypsány v následující podkapitole, byly předloženy důkazy o jistém vlivu některých zkoumaných aspektů.

Konkrétně tato práce přináší nové poznatky o tom, jak prostorové podmínky ze skutečného světa ovlivňují navigační chování při plnění navigačních úloh TCT ve VR. Výsledky této práce se dost možná dají implementovat i na jiné navigační úlohy zabývající se i jinými navigačními strategiemi, než je integrace dráhy. Potvrzení vlivu velikosti místnosti na úhel návratu a čas plnění úlohy poskytuje důležitý základ pro další výzkum v této oblasti. Výsledky také naznačují, že vnímání prostoru a opatrnost ve velké a malé místnosti jsou důležité faktory, které je třeba brát v úvahu při navrhování studií a VR aplikací. Nepotvrzené hypotézy mohou poukazovat na složitost vztahů mezi psychologickými vlivy a navigačním výkonem, což otevírá nové otázky pro budoucí výzkum.

5.3 Limity práce

Přestože každý výzkum přináší cenné poznatky, je důležité si být vědom všech omezení a limitací, které nám buďto přivál osud nebo jsme je při přípravě na výzkum ani nepomysleli. Limity mohou ovlivnit platnost a obecnost výsledků, ale jsou také skvělým nástrojem pro poskytnutí kontextu k jasnější interpretaci zjištění.

Potenciálním limitem této práce je možnost nedostatečné izolace sledovaných kognitivních procesů. Navigace zahrnuje různé dynamické kognitivní procesy, což komplikuje pokusy o izolaci konkrétních strategií, jako je například integrace dráhy. Nelze tedy s jistotou tvrdit, že byla úspěšně izolována a zkoumána konkrétní navigační strategie.

Dalším limitem mohl být nedostatečný počet participantů. To mohlo vést ke zkreslení dat případně i neprokázání signifikance. Existuje možnost, že několik participantů mohlo být v plnění navigační úlohy výrazně lepších než ostatní, což mohlo ovlivnit či zkreslit celkové výsledky.

Limitem také mohla být jednoduchost úlohy, kterou participanté plnili. Většina studií zahrnující úlohu TCT se totiž zaměřuje na častokrát o dost větší prostory s většími trojúhelníky. Headsety jsou sice nástroje se schopností přesně měřit a zaznamenávat pohyby uživatele. Je ale možné, že místnosti nebyly dostatečně velké, aby se v nich rozdíl v navigaci mohli projevit.

5.4 Další výzkum

V rámci této práce bych ráda zahrnula i návrhy pro další možný výzkum. Tyto návrhy více či méně navazují na obsah této práce. Základem každého výzkumu je poučit se nejen ze svých chyb, ale rozumné je reflektovat i chyby svých kolegů.

Dle mého názoru bychom neměli úplně zavrhnout návrh porovnání úlohy TCT v otevřených a uzavřených prostorách za použití VR. Najít co nejvhodnější prostor pro experiment, ještě když je ve studii hlavním činitelem, je velmi náročné. Výzkumník musí brát v potaz řadu faktorů, které bez časové investice do koncepce celého výzkumu a zkoušení různých způsobů, jak tyto způsoby optimalizovat, jsou nemožné. Klidně se může stát, že

někdo ze čtenářů této práce má přímo pod nosem ideální místo pro tento koncept výzkumu a rád by na tuto práci pozvolna navázal právě s tímto námětem.

Dalším návrhem je srovnání navigačních schopností u různých věkových skupin při plnění TCT ve VR a mimo ni. Tento výzkum by měl za cíl porovnat několik věkových skupin a jejich úspěšnost v plnění úlohy TCT. Tento návrh se zakládá především na jedné z podkapitol teoretické části této práce, kde byl popsán vliv stáří na navigační schopnosti. Bylo by zajímavé zjistit, zda se chyby v plnění úlohy TCT u věkových skupin projevují stejně ve VR i mimo.

Další a poslední návrh pro budoucí výzkum by se mohl zaměřit na plnění navigačních úloh v různých rozmanitých prostředích. Jsou k dispozici softwary, které mají spoustu návrhů prostředí čekající na prozkoumání uživatelem. Tyto koncepty prostředí jsou od úplně realistických až po abstraktní s fialovou trávou a zlatou oblohou. V tomto případě by bylo zajímavé zkoumat, zda některé konkrétní prostředí podněcuje participanta k většímu prozkoumávání, či se v některém z prostředí zvyšuje úspěšnost námi zadané úlohy.

6 Závěr

Tato práce si dala za cíl objasnit, zda má velikosti prostoru vliv na plnění úkolu *triangle completion task (TCT)* ve VR. Tato navigační úloha byla, je a jistě i nadále bude součástí řady významných výzkumů snažící se prohloubit naše pochopení fungování navigační strategie nazývané integrace dráhy. Integrace dráhy je způsob navigace, který operuje pouze na základě našich interních navigačních vodítek, jako jsou informace z vnitřního ucha, svalů nebo kloubů.

V této práci byla ale pod drobnohledem především jedna konkrétní studie, ze které navigační úloha TCT vychází. Zásadním rozdílem, oproti pilotní studii J. M. Loomise a R. L. Klatzky z roku 1993, bylo využití VR headsetů k měření a simulaci prostředí bez vizuálních vodítek. Pro naše účely, tedy porovnávání rozdílů v plnění úlohy TCT, byli účastníci umístěni do dvou velikostí místností, ve kterých následně měli za úkol plnit navigační úlohu TCT ve VR. V rámci úkolu se měli participantů projít po dvou ramenech trojúhelníku a poté se vrátit na výchozí bod, čímž by dokončili pomyslný trojúhelník. Experiment byl doplněn třemi dotazníky: PSS-14, CSQ-VR a Vnímání bezpečnosti. Ty měli zajistit hlubší pochopení chování účastníků při plnění úkolu TCT. PSS-14 byl zvolen pro neopomenutelný vliv stresu na schopnost navigace, CSQ-VR zaznamenával, zda na navigaci neměla vliv nevolnost a dotazník Vnímání bezpečnosti měl prověřit, zda neexistuje spojitost mezi tendencí riskovat a plněním navigační úlohy TCT.

Výsledky této práce naznačují, že jistý vliv velikosti místností na plnění navigační úlohy TCT ve VR existuje. Vliv se prokázal u úhlové odchylky a času stráveného plněním úlohy TCT. Korelace mezi doprovodnými jevy ovlivňující navigaci měřenými skrze dotazníky CSQ-VR, PSS-14 a Vnímání bezpečnosti a proměnnými z navigační úlohy TCT se nepotvrdila.

7 Reference

- Alyan, S., & Jander, R. (1994). Short-range homing in the house mouse, *Mus musculus*: stages in the learning of directions. *Animal Behaviour*, *48*(2), 285–298. <https://doi.org/10.1006/anbe.1994.1242>
- Cohen, S., Kamarck, T., & Mermelstein, R. (1983). A global measure of perceived stress. *Journal of Health and Social Behavior*, *24*, 385–396.
- Ekstrom, A. D., Spiers, H. J., Bohbot, V. D., & Rosenbaum, R. S. (2018). Human Spatial navigation. *Princeton University Press*.
- Ekstrom, A. D., Kahana, M. J., Caplan, J. B., Fields, T. A., Isham, E. A., Newman, E. L., & Fried, I. (2003). Cellular networks underlying human spatial navigation. *Nature*, *425*(6954), 184–188. <https://doi.org/10.1038/nature01964>
- Ekstrom, A. D. (2015). Why vision is important to how we navigate. *Hippocampus*, *25*(6), 731–735. <https://doi.org/10.1002/hipo.22449>
- Etienne, A. S., & Jeffery, K. J. (2004). Path integration in mammals. *Hippocampus*, *14*(2), 180–192. <https://doi.org/10.1002/hipo.10173>
- Etienne, A. S., Maurer, R., Berlie, J., Reverdin, B., Rowe, T., Georgakopoulos, J., & Séguinot, V. (1998). Navigation through vector addition. *Nature*, *396*(6707), 161–164. <https://doi.org/10.1038/24151>
- Etienne, A. S. (1987). The Control of Short-Distance Homing in the Golden Hamster. Cognitive Processes and Spatial Orientation in Animal and Man: Volume I Experimental Animal Psychology and Ethology. *Springer Netherlands*, 233–51.
- Figalová, N. (2019). Překlad a psychometrické vlastnosti české verze škály vnímaného stresu. Diplomová práce. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, Filozofická fakulta. <https://theses.cz/id/50ievv/>.

Fyhn, M., Molden, S., Witter, M. P., Moser, E. I., & Moser, M. (2004). Spatial representation in the entorhinal cortex. *Science*, *305*(5688), 1258–1264. <https://doi.org/10.1126/science.1099901>

Gramann, K., Müller, H. J., Eick, E., & Schönebeck, B. (2005). Evidence of separable spatial representations in a virtual navigation task. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, *31*(6), 1199–1223. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.31.6.1199>

Grieves, R. M., & Jeffery, K. J. (2017). The representation of space in the brain. *Behavioural Processes*, *135*, 113–131. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2016.12.012>

Hafting, T., Fyhn, M., Molden, S., Moser, M., & Moser, E. I. (2005). Microstructure of a spatial map in the entorhinal cortex. *Nature*, *436*(7052), 801–806. <https://doi.org/10.1038/nature03721>

Harootonian, S. K., Wilson, R. C., Hejtmánek, L., Ziskin, E. M., & Ekstrom, A. D. (2020). Path integration in large-scale space and with novel geometries: Comparing vector addition and encoding-error models. *PLOS Computational Biology/PLoS Computational Biology*, *16*(5), e1007489. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1007489>

He, Q., & McNamara, T. P. (2017). Spatial updating strategy affects the reference frame in path integration. *Psychonomic Bulletin & Review*, *25*(3), 1073–1079. <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1307-7>

Heinze, S., Narendra, A., & Cheung, A. (2018). Principles of insect path integration. *CB/Current Biology*, *28*(17), R1043–R1058. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.04.058>

Herrick F. H. (1922) Homing Powers of the Cat. *The Scientific Monthly*, *14*(6), 525–39.

Chrastil, E. R., & Warren, W. H. (2017). Rotational error in path integration: encoding and execution errors in angle reproduction. *Experimental Brain Research*, *235*(6), 1885–1897. <https://doi.org/10.1007/s00221-017-4910-y>

- Chrastil, E. R., Sherrill, K. R., Hasselmo, M. E., & Stern, C. E. (2016b). Which way and how far? Tracking of translation and rotation information for human path integration. *Human Brain Mapping, 37*(10), 3636–3655. <https://doi.org/10.1002/hbm.23265>
- Kelly, J. W., McNamara, T. P., Bodenheimer, B., Carr, T. H., & Rieser, J. J. (2008). The shape of human navigation: How environmental geometry is used in maintenance of spatial orientation. *Cognition, 109*(2), 281–286. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2008.09.001>
- Kim, J. J., & Yoon, K. S. (1998). Stress: metaplastic effects in the hippocampus. *Trends in Neurosciences, 21*(12), 505–509. [https://doi.org/10.1016/s0166-2236\(98\)01322-8](https://doi.org/10.1016/s0166-2236(98)01322-8)
- Klatzky, R. L., Loomis, J. M., Beall, A. C., Chance, S. S., & Golledge, R. G. (1998). Spatial updating of Self-Position and orientation during real, imagined, and virtual locomotion. *Psychological Science, 9*(4), 293–298. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00058>
- Kourtesis, P., Linnell, J., Amir, R., Argelaguet, F., & MacPherson, S. E. (2023). Cybersickness in Virtual Reality Questionnaire (CSQ-VR): A Validation and Comparison against SSQ and VRSQ. *Virtual Worlds, 2*(1), 16–35. <https://doi.org/10.3390/virtualworlds2010002>
- Loomis, J. M., Klatzky, R. L., Golledge, R. G., Cicinelli, J. G., Pellegrino, J. W., & Fry, P. A. (1993). Nonvisual navigation by blind and sighted: Assessment of path integration ability. *Journal of Experimental Psychology. General, 122*(1), 73–91. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.122.1.73>
- Loomis, J. M., Klatzky, R. L., & Golledge, A. R. G. (2001). Navigating without Vision: Basic and Applied Research. *Optometry and Vision Science, 78*(5), 282–289. <https://doi.org/10.1097/00006324-200105000-00011>
- Mittelstaedt, M.-., & Mittelstaedt, H. (1980). Homing by path integration in a mammal. *Naturwissenschaften, 67*(11), 566–567. <https://doi.org/10.1007/bf00450672>
- Mittelstaedt, H., & Mittelstaedt, M. (1982). Homing by path integration. In *Proceedings in life sciences* (pp. 290–297). https://doi.org/10.1007/978-3-642-68616-0_29

- Moffat, S. D. (2009). Aging and spatial navigation: What do we know and where do we go? *Neuropsychology Review*, *19*(4), 478–489. <https://doi.org/10.1007/s11065-009-9120-3>
- Mou, W., McNamara, T. P., Valiquette, C. M., & Rump, B. (2004). Allocentric and egocentric updating of spatial memories. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, *30*(1), 142–157. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.30.1.142>
- Mou, W., & Wang, L. (2015). Piloting and path integration within and across boundaries. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, *41*(1), 220–234. <https://doi.org/10.1037/xlm0000032>
- O'Keefe, J., Dostrovsky, J., 1971. The hippocampus as a spatial map. Preliminary evidence from unit activity in the freely-moving rat. *Brain Res.* *34*, 171–175.
- O'Keefe, J., Conway, D. (1978). Hippocampal place units in the freely moving rat: Why they fire where they fire. *Experimental Brain Research*, *31*(4). <https://doi.org/10.1007/bf00239813>
- O'Keefe, J., & Nadel, L. (1979). Précis of O'Keefe & Nadel's The hippocampus as a cognitive map. *Behavioral and Brain Sciences*, *2*(4), 487-494
- O'Keefe, J. (1976). Place units in the hippocampus of the freely moving rat. *Experimental Neurology*, *51*(1), 78–109. [https://doi.org/10.1016/0014-4886\(76\)90055-8](https://doi.org/10.1016/0014-4886(76)90055-8)
- Quirk, G. J., Muller, R. U., & Kubie, J. (1990). The firing of hippocampal place cells in the dark depends on the rat's recent experience. *The Journal of Neuroscience*, *10*(6), 2008–2017. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.10-06-02008.1990>
- Sargolini, F., Fyhn, M., Hafting, T., McNaughton, B. L., Witter, M. P., Moser, M., & Moser, E. I. (2006). Conjunctive representation of position, direction, and velocity in entorhinal cortex. *Science*, *312*(5774), 758–762. <https://doi.org/10.1126/science.1125572>
- Seguinot, V., Cattet, J., & Benhamou, S. (1998). Path integration in dogs. *Animal Behaviour*, *55*(4), 787–797. <https://doi.org/10.1006/anbe.1997.0662>

Sjolund, L. A., Kelly, J. W., & McNamara, T. P. (2017). Optimal combination of environmental cues and path integration during navigation. *Memory & Cognition*, *46*(1), 89–99. <https://doi.org/10.3758/s13421-017-0747-7>

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). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15805-9>

Taube, J., Muller, R., & Ranck, J. (1990a). Head-direction cells recorded from the postsubiculum in freely moving rats. I. Description and quantitative analysis. *The Journal of Neuroscience/the Journal of Neuroscience*, *10*(2), 420–435. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.10-02-00420.1990>

Taube, J., Muller, R., & Ranck, J. (1990b). Head-direction cells recorded from the postsubiculum in freely moving rats. II. Effects of environmental manipulations. *The Journal of Neuroscience the Journal of Neuroscience*, *10*(2), 436–447. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.10-02-00436.1990>

Tolman, E. C. (1948). Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*, *55*(4), 189–208. <https://doi.org/10.1037/h0061626>

Wang, R. F. (2012). Theories of spatial representations and reference frames: What can configuration errors tell us? *Psychonomic Bulletin & Review*, *19*(4), 575–587. <https://doi.org/10.3758/s13423-012-0258-2>

Wang, R. F. (2015). Building a cognitive map by assembling multiple path integration systems. *Psychonomic Bulletin & Review*, *23*(3), 692–702. <https://doi.org/10.3758/s13423-015-0952-y>

Wehner, R. & Srinivasan M. V. (1981) Searching Behavior of Desert Ants, Genus *Cataglyphis* (Formicidae, Hymenoptera). *Journal of Comparative Physiology*, *142*(3), 315–38.

Westaby, J. D., & Lee, B. C. (2003). Antecedents of injury among youth in agricultural settings: A longitudinal examination of safety consciousness, dangerous risk taking, and safety knowledge. *Journal of Safety Research*, 34(3), 227–240. [https://doi.org/10.1016/s0022-4375\(03\)00030-6](https://doi.org/10.1016/s0022-4375(03)00030-6)

Widdowson, C., & Wang, R. F. (2022). Human navigation in curved spaces. *Cognition*, 218, 104923. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2021.104923>

Wolbers, T., & Wiener, J. M. (2014). Challenges in Identifying the Neural Mechanisms That Support Spatial Navigation: The Impact of Spatial Scale. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8(571), 1–12.

Wnuk, A. (n.d.). On the Grid. <https://www.brainfacts.org/brain-anatomy-and-function/cells-and-circuits/2017/on-the-grid-033117>

Yaski, O., Portugali, J., & Eilam, D. (2011). Arena geometry and path shape: When rats travel in straight or in circuitous paths? *Behavioural Brain Research*, 225(2), 449–454. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2011.07.055>

Zhang, L., & Mou, W. (2019). Selective resetting position and heading estimations while driving in a large-scale immersive virtual environment. *Experimental Brain Research*, 237(2), 335–350. <https://doi.org/10.1007/s00221-018-5417-x>

Zheng, J., Chan, K., & Gibson, I. (1998). Virtual reality. *IEEE Potentials*, 17(2), 20–23. <https://doi.org/10.1109/45.666641>

8 Seznam obrázků a tabulek

8.1 Obrázky

OBRÁZEK 1 AKTIVACE PROSTOROVÉ BUŇKY V HIPOKAMPU	11
OBRÁZEK 2 AKTIVACE MŘÍŽKOVÉ BUŇKY V HIPOKAMPU	12
OBRÁZEK 3 ROZDÍLY JEDNOTLIVÝCH VÝŠE POPSANÝCH BUNĚK	12
OBRÁZEK 4 SCHEMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ CESTY PŘI ÚLOZE TCT	19
OBRÁZEK 5 PŘÍKLAD POUŽITÍ HEADSETU A OVLADAČŮ PRO VR.....	21
OBRÁZEK 6 UKÁZKA VIRTUÁLNÍHO PROSTŘEDÍ I.....	26
OBRÁZEK 7 UKÁZKA VIRTUÁLNÍHO PROSTŘEDÍ II.	27
OBRÁZEK 8 VELKÝ PROSTOR PRO EXPERIMENT	29
OBRÁZEK 9 MALÝ PROSTOR PRO EXPERIMENT	29
OBRÁZEK 10 HEADSET VYUŽITÝ PŘI EXPERIMENTU.....	36
OBRÁZEK 11 PŘÍKLAD PROJEKCE MŘÍŽKY S BODY	41

8.2 Tabulky

TABULKA 1 PŘEKLADY OTÁZEK DOTAZNÍKU PSS	31
TABULKA 2 PŘEKLADY OTÁZEK DOTAZNÍKU CSQ-VR	33
TABULKA 3 PŘEKLADY OTÁZEK DOTAZNÍKU VNÍMÁNÍ BEZPEČNOSTI	34
TABULKA 4 KONTINGENČNÍ TABULKA Kladných a záporných úhlů v místnostech.....	44
TABULKA 5 DESKRIPTIVA SKUPIN PRO ČAS STRÁVENÝ PLNĚNÍM ÚLOHY TCT	44
TABULKA 6 KORELACE NAVIGAČNÍ ÚLOHY SE SKÓRE DOTAZNÍKU CSQ-VR.....	46
TABULKA 7 KORELACE NAVIGAČNÍ ÚLOHY SE SKÓRE DOTAZNÍKU PSS-14.....	45
TABULKA 8 KORELACE NAVIGAČNÍ ÚLOHY SE SKÓRE DOTAZNÍKU VB	47