

**Technická univerzita v Košiciach
Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**Vyhodnocovanie podstatných aspektov
používania XR technológií**

Diplomová práca

**Technická univerzita v Košiciach
Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**Vyhodnocovanie podstatných aspektov
používania XR technológií**

Diplomová práca

Študijný program: Informatika
Študijný odbor: 9.2.1. Informatika
Školiace pracovisko: Katedra počítačov a informatiky (KPI)
Školiteľ: doc. Ing. Branislav Sobota, PhD.

Košice 2025

Bc. Jaroslav Mathes

Abstrakt v SJ

Technológie XR sú v súčasnosti veľmi populárne a nachádzajú uplatnenie v rôznych oblastiach vrátane medicíny. Cieľom tejto diplomovej práce je analyzovať použiteľnosť virtuálnej aplikácie určenej na rehabilitáciu pacientov, posúdiť zložitosť používania takéhoto softvéru, identifikovať problémy súvisiace s interakciou v tomto prostredí a navrhnúť riešenia. Na dosiahnutie týchto cieľov bolo navrhnuté testovacie prostredie, ktoré bolo inšpirované rôznymi štúdiami popísanými v tejto práci na vzorke 54 respondentov. Na základe zozbieraných údajov bolo navrhnutých niekoľko odporúčaní na zlepšenie skúseností používateľov s virtuálnym prostredím.

Kľúčové slová v SJ

XR technológie, virtuálna realita, používateľská skúsenosť, používateľské rozhranie, použiteľnosť, neurorehabilitácia, imerzia, SUS, IPQ, NASA-TLX, VRSQ, testovacie scenáre, testovanie

Abstrakt v AJ

XR technologies are currently very popular and are finding applications in various fields, including medicine. The aim of this diploma thesis is to analyze the usability of a virtual application designed for patient rehabilitation, to assess the complexity of using such software, to identify problems related to interaction within this environment, and to propose solutions. To achieve these goals, a testing environment was designed and used in this study involving a sample of 54 respondents. Based on the collected data, several recommendations were proposed to improve the user experience in virtual environments.

Kľúčové slová v AJ

XR technologies, virtual reality, user experience, user interface, usability, neurorehabilitation, immersion, SUS, IPQ, NASA-TLX, VRSQ, test scenarios, testing

Bibliografická citácia

MATHES, Jaroslav. *Vyhodnocovanie podstatných aspektov používania XR technológií*. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2025. 103s. Vedúci práce: doc. Ing. Branislav Sobota, PhD.

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY
Katedra počítačov a informatiky

ZADANIE
DIPLOMOVEJ PRÁCE

Študijný odbor: **Informatika**

Študijný program: **Informatika**

Názov práce:

Vyhodnocovanie podstatných aspektov používania XR technológií
XR Technologies Essential Aspects Evaluation

Študent: **Bc. Jaroslav Mathes**

Školiteľ: **doc. Ing. Branislav Sobota, PhD.**

Školiace pracovisko: **Katedra počítačov a informatiky**

Konzultant práce:

Pracovisko konzultanta:

Pokyny na vypracovanie diplomovej práce:

1. Naštudovať a analyzovať problematiku platformy XR a jej technológií, základnú problematiku testovania a problematiku štatistických výpočtov a anatomických a kognitívnych vlastností človeka používaných v skúmaných postupoch.
2. Navrhnuť rôzne testovacie scenáre pre zisťovanie náročnosti používania XR technológií človekom.
3. Pri návrhu sa sústrediť na základe pokynov vedúceho práce najmä na existujúce programové vybavenie a modely s ohľadom na ich dostupnosť v laboratóriách katedry.
4. Na základe bodov 2-3 implementovať scenáre pre testovanie a ich vyhodnocovanie v zmysle náročnosti používania XR technológií človekom.
5. Vykonať experimentálne práce s navrhnutými scenármi vrátane spracovania alebo dotvorenia potrebných modelov a zhodnotiť dosiahnuté výsledky.
6. Na základe vykonaných experimentov vykonať SWOT analýzu náročnosti používania XR technológií a prípadne navrhnuť úpravy alebo rozšírenia testovacích scenárov.
7. Vypracovať dokumentáciu podľa pokynov vedúceho práce.

Jazyk, v ktorom sa práca vypracuje: slovenský

Termín pre odovzdanie práce: 17.04.2025

Dátum zadania diplomovej práce: 31.10.2024



N. Z. Pukliarová
.....
prof. Ing. Liberios Vokorokos, PhD.
dekan fakulty

Čestné vyhlásenie

Vyhlasujem, že som záverečnú prácu vypracoval(a) samostatne s použitím uvedenej odbornej literatúry.

Košice, 17.4.2025

.....

Vlastnoručný podpis

Podakovanie

Na tomto mieste by som rád poďakoval svojmu vedúcemu práce Doc. Ing. Branislavovi Sobotovi, PhD, za jeho čas a odborné vedenie počas riešenia mojej záverečnej práce. Rovnako tak patrí moja vďaka môjmu konzultantovi Ing. Štefanovi Korečkovi, PhD, za jeho cenné rady a pomoc pri riešení mojej práce. V neposlednom rade chcem poďakovať môjmu otcovi Ing. Petrovi Mathesovi, za jeho cenné rady a skúsenosti, ktoré so mnou zdieľal počas tejto práce.

Rovnako by som sa rád poďakoval svojej mame za povzbudzujúce slová a priateľom za ich podporu a povzbudzovanie počas celého môjho štúdia.

Na záver by som sa rád poďakoval všetkým, ktorí sa podieľali na vzniku tejto práce a pomohli mi dosiahnuť tento cieľ.

Obsah

Úvod	1
1 Analýza UX a UI vo VR prostrediach	3
1.1 Používateľská skúsenosť (UX) a používateľské rozhranie (UI) . . .	3
1.1.1 Použiteľnosť	5
1.1.2 Prítomnosť	7
1.1.3 Vyhodnotenie prítomnosti	9
1.1.4 Dotazníky pre meranie UX	11
1.1.5 Likertová škála	13
2 Rozšírená realita a jej kategórie	14
2.1 Virtuálna realita	14
2.2 Augmentovaná realita	14
2.3 Zmiešaná realita	15
2.3.1 Porovnanie VR, AR a MR	15
2.4 Výber VR ako hlavnej technológie	15
3 Výzvy a problémy interakcie s XR systémami	17
3.1 Fyzické a zdravotné problémy	17
3.2 Technické ergonomické obmedzenia XR zariadení	18
3.3 Sociálne a psychologické faktory XR prostredí	18
3.4 Možné riešenia a odporúčania	19
4 Príprava testovacieho prostredia	21
4.1 Definovanie cieľov	22
4.1.1 Zvolené dotazníky	23
4.2 Použitý softvér	29
4.2.1 Meta Horizon Home	29
4.2.2 L-NeRVEn	30
4.3 Použitý hardvér	30

4.3.1	Oculus Quest 1	31
4.3.2	Meta Quest 2	31
4.3.3	Meta Quest 3s	32
4.4	Testovacie scenáre	32
4.4.1	Testovacie scenáre pre prvú etapu	33
4.4.2	Testovacie scenáre pre druhú etapu	41
5	Testovanie v praxi	46
5.1	Príprava na testovanie	46
5.2	Zbieranie a analýza dát	47
5.2.1	Základné informácie o respondentoch	47
5.2.2	Pozorovanie respondentov pri testovaní	49
5.2.3	Analýza videozáznamov	50
5.2.4	Vyplnenie dotazníkov a spôsob vyhodnotenia	51
6	Výsledky testovania	54
6.1	Výsledky dotazníkov - Prvá etapa	54
6.1.1	System Usability Scale - Vyhodnotenie	56
6.1.2	Igroup Presence Questionnaire - Vyhodnotenie	58
6.1.3	NASA-TLX - Vyhodnotenie	60
6.1.4	Zhrnutie výsledkov	62
6.2	Výsledky dotazníkov - Druhá etapa	63
6.2.1	VRSQ - Vyhodnotenie	65
6.3	Kompletné vyhodnotenie použiteľnosti aplikácie	66
6.3.1	Vyhodnotenie náročnosti úloh	66
6.3.2	Korelácie medzi sledovanými aspektmi	68
6.3.3	Detailná analýza najdôležitejších aspektov	74
6.3.4	Vyhodnotenie hardvéru	77
6.4	Spätná väzba používateľov a návrhy na zlepšenie	78
6.4.1	Výkonnosť a funkčnosť aplikácie	78
6.4.2	Pohyb v priestore	79
6.4.3	Interakcia s objektmi	82
6.4.4	Používateľské rozhranie a práca s menu	84
7	Vyhodnotenie	89
7.1	SWOT analýza	89
7.1.1	Silné stránky	89
7.1.2	Slabé stránky	90

7.1.3	Príležitosti	91
7.1.4	Hrozby	91
8	Záver	93
	Literatúra	96
	Zoznam príloh	104

Zoznam obrázkov

1.1	Najvhodnejšie dáta na určenie UX [7]	6
4.1	Rozloženie tlačidiel pre helmy Quest [59]	31
6.1	Korelačná matica medzi výkonnosťou, frustráciou a VRSQ skóre . .	71
6.2	Korelačná matica medzi GP, SP a VRSQ skóre, Skratky: GP - Vše- obecná prítomnosť, SP - Priestorová prítomnosť	72
6.3	Korelačná matica medzi IPQ, SUS a VRSQ skóre	72
6.4	Korelačná matica medzi VRSQ skóre a jednotlivými príznakmi ne- voľnosti. Skratky: NP - nevoľnosť pri pohybe, NR - nevoľnosť pri ro- tácií, D - dýchavičnosť, NS - nevoľnosť po skončení	73
6.5	Závislosť skóre VRSQ, frustrácie a výkonnosti od vekovej skupiny respondentov	74
6.6	Závislosť priemerných hodnôt dotazníkov IPQ, SUS a VRSQ od vekových kategórií respondentov	75
6.7	Pomer úrovní všeobecného diskomfortu	75
6.8	Závislosť skóre VRSQ, GP a SP od vekovej skupiny respondentov .	76
6.9	Závislosť skóre VRSQ, GP a SP od vekovej skupiny respondentov .	76
6.10	Závislosť skóre VRSQ, GP a SP od vekovej skupiny respondentov .	76

Zoznam tabuliek

2.1	Porovnanie VR, AR a MR technológií	15
4.1	Zoznam použitých dotazníkov, ich účel a priradenie k etapám testovania	22
5.1	Tabuľka testovaných subjektov so skrátenými názvami prvej etapy .	48
5.2	Legenda skratiek použitých v tabuľke testovaných subjektov	49
6.1	Tabuľka s hodnotami SUS Score, NASA-TLX Score a IPQ Total Score pre jednotlivých respondentov.	55
6.2	Výsledky SUS skóre pre jednotlivých respondentov	57
6.3	Výsledky IPQ skóre pre jednotlivých respondentov.	58
6.4	Legenda skratiek použitých v tabuľke výsledkov NASA-TLX	59
6.5	NASA-TLX skóre	60
6.6	Legenda skratiek použitých v tabuľke výsledkov NASA-TLX	61
6.7	Výsledky dotazníkov NASA-TLX, IPQ, SUS a VRSQ	64
6.8	Rozdelenie úrovní kybernetickej nevoľnosti podľa skóre VRSQ . . .	66
6.9	Porovnanie hodnôt podľa typov interakcií. Skratky: SC – Spustenie cvičenia, OS – Odstránenie servera, SO – Start oddychu, ZIP – Zmena IP adresy, VM – Vyber miestnosti, VP – Vyber predmetu, ZA – Zmena Avatara, ZJ – Zmena mierky vykreslovania a jas, CP – Cieľová pozícia, Stôl – Úprava výšky stola, PPkS – Posadenie pacienta k stolu, ZH – Zapnutie hudby, ZZK – Zmena zameriavacieho križa, SP – Startovacia pozícia, ZJ – Zmena jazyka, PS – Pridanie servera.	67
6.10	Prehľad pozorovaných korelácií medzi sledovanými aspektmi . . .	70
6.11	Doplnok ku tabuľke 6.10	71

Úvod

Táto diplomová práca sa zaoberá spracovaním náročnosti používania XR technológií a vyhodnotenie podstatných aspektov ich používania. V modernej dobe je zastúpenie týchto technológií čoraz častejšie v rôznych odvetviach, čo zároveň kladie vyššie nároky na používateľov, ktorí s nimi prichádzajú do kontaktu. Preto je dôležité skúmať a analyzovať náročnosť používania týchto technológií a hľadať možnosti optimalizácie interakcie medzi človekom a systémom.

Na účely testovania sme sa rozhodli použiť softvér zameraný na rehabilitáciu vo virtuálnej realite, nakoľko ide o oblasť, ktorá môže mať významný spoločenský dosah, je potrebné aby tento softvér bol čo najviac intuitívny, jednoduchý na ovládanie a minimalizoval výskyt nežiaducich javov ako je nevoľnosť či kognitívna záťaž. V práci sa zameriame na celkový používateľský zážitok (UX), hodnotenie používateľského rozhrania (UI), hodnotenie použiteľnosti systému, pocitu imerzie a ponorenia do virtuálneho prostredia a v neposlednom rade pocity nevoľnosti, únavy a záťaže pôsobiacej na jednotlivca. Rovnako si porovnáme rôzne typy hardvéru (helmy - headsety), aby sme vyhodnotili najvhodnejšie technické riešenie.

Výsledkom práce je celkové zhodnotenie použiteľnosti aplikácie zameranej na neurorehabilitáciu, zhodnotíme jej silné a slabé stránky spolu s jej hrozbami a príležitosťami na zlepšenie. Zistíme aké prípadné problémy sa vyskytujú pri používaní aplikácie a zároveň technológií XR, prečo tieto problémy vznikajú a navrhnúť prípadne riešenia. Predstavíme si optimálne spôsoby testovania softvéru, prípravu testovacieho prostredia vrátane testovacích scenárov, spracovanie dát a spôsoby vyhodnotenia výsledkov z veľkého množstva dát. Na konci práce zhodnotíme návrhy na zlepšenie nie len softvéru, ale takisto spôsobu testovania a zhodnotíme si nedostatky a chyby, ktoré sa vyskytli počas testovania a navrhujeme spôsoby ich riešenia.

Testovanie je neodmysliteľnou súčasťou vývoja softvéru a je potrebné ho vykonávať pravidelne a dôkladne. Nakoľko sa v tejto práci realizovalo pilotné testovanie softvéru, výber testovacích metód a postupov bol inšpirovaný viacerými existujúcimi štúdiami. Na základe ich analýzy sme zvolili také prístupy, ktoré najviac vyhovovali cieľom a podmienkam nášho výskumu. Z tohto dôvodu sa v procese mohli vyskytnúť nedostatky, ktoré nebolo možné vopred predvídať. Na základe získaných poznatkov preto formulujeme odporúčania, ktoré by mali byť zohľadnené pri budúcich testovaniach, s cieľom zvýšiť ich efektivitu, spoľahlivosť a validitu získaných údajov.

Formulácia úlohy

V prvom kroku si rozoberieme problematiku spojenú s vhodným používateľským rozhraním a používateľskou skúsenosťou, aby sme správne pochopili aspekty, ktoré musíme zohľadniť pri návrhu testovania. Popíšeme rôznorodosť XR zariadení a vysvetlíme si ich vlastnosti a rozdiely medzi nimi. Vysvetlíme, prečo bola uprednostnená práca práve s virtuálnou realitou. Rozoberieme si problematiku pocitu prítomnosti a imerzie vo virtuálnom prostredí a ako ovplyvňuje celkový zážitok používateľa.

Rozoberieme si spôsoby testovania a čo znamená subjektívne a objektívne meranie a vysvetlíme, prečo je potrebné použiť oba spôsoby. Popíšeme rôzne štandardizované dotazníky, ktoré nám pomôžu získať potrebné informácie a vyberieme tie najvhodnejšie pre naše testovanie. Popíšeme problémy spojené s prácou s XR technológiou a pokúsime sa navrhnúť prípadné riešenia.

Práca pozostáva z prípravy testovacích scenárov a prostredia, výber, popis a spôsoby vyhodnotenia dotazníkov a výber vhodného hardvéru. V praktickej časti sme sa venujeme testovaniu jednotlivých respondentov podľa navrhnutých scenárov. Ďalej je popísané zbieranie a spracovanie údajov získaných zo subjektívnych dotazníkov a objektívneho spracovania videozáznamov testovania, ktoré pozostáva z videozáznamov testovania v prvej (záznam obrazu premietaného v helme) a tretej osobe (záznam pohybu respondenta stacionárnou kamerou umiestnenou v miestnosti). V posledných kapitolách sa zaoberáme vyhodnotením subjektívnych a objektívnych údajov, pozorovaní a komentárov.

V záverečnej časti práce sú zhrnuté a vyhodnotené výsledky testovania a navrhnuté odporúčania na zlepšenie softvéru a testovania.

1 Analýza UX a UI vo VR prostrediach

V tejto časti si ukážeme rôzne využitia virtuálnych systémov v modernej technológii a ich dopad na ľudské vnímanie. Porovnáme si momentálne dostupné zariadenia, s ktorými sa môže človek na trhu stretnúť a porovnáme si ich rozdiely v používateľskej skúsenosti (User Experience, UX). Ďalej sa budeme venovať rôznym spôsobom merania a vyhodnocovania UX a vysvetlíme prečo hrá UX kľúčovú úlohu pri vývoji softvéru.

1.1 Používateľská skúsenosť (UX) a používateľské rozhranie (UI)

Používateľská skúsenosť a používateľské rozhranie (User Interface, UI) sú kľúčovými aspektmi pri vývoji softvérových aplikácií. V momente, keď používateľ zaregistruje aplikáciu, či už len ako pozorovateľ, alebo užívateľ, začína jeho interakcia s UI [1, 2]. UI, je časť softvéru, s ktorou používateľ interaguje a skrz ktorú dokáže spracovávať dáta. Podľa [3] má UI veľký dopad na celkový používateľský zážitok, keďže samotný výzor softvéru vyvoláva v človeku emócie a dojmy. Dôležitými aspektmi dobrého UI sú napríklad prehľadnosť, jednoduchosť používania, intuitívnosť, konzistentnosť a mnoho ďalších [1, 3]. UI je iba jeden z mnoha aspektov prispievajúcich ku zlepšeniu celkového UX. Ako príklad uvádzame webovú aplikáciu určenú na prezeranie filmových recenzií, ktorej UI dizajn pre vyhľadávanie filmu je perfektný, no používateľ môže mať ťažkosti pri vyhľadávaní špecifických informácií, ako napríklad dátum vydania daného titulu, mená hercov a pod.

Z toho dôvodu pri navrhovaní UX je dôležité zohľadniť nie len samotné UI (napr. farebná paleta, rozloženie komponentov v aplikácii a pod.), ale je potrebné sa na softvér pozerať ako na jeden celok [3]. To znamená, že ak existuje softvér, ktorého účelom je sledovanie filmov, používateľ by mal byť schopný sa za minimum úsilia dostať ku hľadanému titulu. V jednoduchosti povedané, čím menej "klikov" musí používateľ vykonať, tým je softvér jednoduchší na ovládanie, čo

zvyšuje celkový zážitok.

Intuitívnosť je ďalší aspekt, ktorý prispieva ku zlepšeniu UX, pretože aplikácie by mali byť tvorené s tým zámerom, že budú mať mnoho rôznych používateľov, ktorí tento softvér budú ovládať [4]. Počet týchto ľudí by sa v ideálnom prípade mal zvyšovať, čo znamená, že stále budú pribúdať noví užívatelia, ktorí daný systém nikdy pred tým nevideli. Z toho dôvodu je dôležité zachovať jednak konzistentnosť ako aj intuitívnosť softvéru.

Konzistentnosť sa v tomto ponímaní [1] berie ako podobnosť systému s inými, prípadne aj konkurenčnými systémami. Táto vlastnosť uspokojuje ľudskú potrebu pracovať s niečím, čo mu je známe, keďže ľudia môžu prejavíť ťažkosti so zoznamovaním sa s novým systémom. Človek sa však môže stretnúť aj s pokusom o revolučný systém, ktorý sa nemusí úplne zhodovať s inými, dobre zaužívanými systémami, no nie stále sa tento nový dizajn uchyťí. V situáciach, kedy sa veľmi ťažko hovorí o konzistentnosti systému sa prihliada skôr na jeho intuitívnosť, kedy človek vyslovene daný systém alebo dizajn systému nevidel, no jeho intuitívnosť ho vie nasmerovať správnym smerom pri povedzme hľadaní konkrétnych nastavení [1, 3].

Existujú tri základné metriky merateľnosti UX, ktoré uvádza výskumník UX dizajnov Udit Maitra vo svojom článku [5], kde popisuje vzťah medzi produktom a jeho užívateľom. V tejto práci popisuje rozdelenie metriky UX do následovných troch kategórií:

- Metrika výkonnosti
- Metrika subjektívnosti
- Metrika behaviorálnosti a fyziologickosti

Spojením týchto metrík vieme získať celkom spoľahlivý, no nie stopercentný prehľad používateľskej spojkojnosti. Cieľom však nie je dosiahnuť stopercentnú spokojnosť, keďže každý človek je unikátny a môže sa na daný produkt pozerať inak. Dôležité však je, aby miera spokojnosti bola čo najvyššia a pokryla čo najviac používateľov.

Metrika výkonnosti

Táto metrika meria výkon používateľa interagujúceho s daným produktom. Ak používateľ vykonáva úlohu v testovanom produkte, všímame si, ako efektívne dokáže danú úlohu vyriešiť. Najčastejšie aspekty figurujúce v tejto metrike sú napríklad už spomínaná efektívnosť alebo teda koľko námahy musí používateľ

vynaložiť a koľko krokov musí vykonať na splnenie úlohy. Rovnako sa prihliada na odhadovaný čas plnenia úlohy, aký čas táto úloha realne používateľovi zaberie, na koľko chýb narazí, alebo či vôbec sa mu podarí úlohu dokončiť [5].

Metrika subjektívnosti

Cieľom tejto metriky je získať osobný názor testovaného subjektu, či už počas alebo po skončení testovania. Zväčša sú tieto metriky praktizované formou dotazníkov, ktoré používateľ vyplní. Často využívané dotazníky sú napríklad SUS (System Usability Scale), NPS (Net Promoter Score), ASQ (After Scenario Questionnaire), CSAT (Customer Satisfaction Score) alebo CES (Customer Effort Score) [5].

Metrika behaviorálnosti a fyziologickosti

Predošlé metriky boli považované za subjektívne merania, kde na rozdiel od nich je toto meranie objektívne a náročnejšie na vyhodnotenie. Pri tomto meraní sa snažíme monitorovať podvedomé správanie subjektu testujúceho daný produkt, ako napríklad výrazy tváre, frekvenciu tlkotu srdca či monitorovanie pohybu očí. Tieto informácie je náročnejšie získať, no majú vyššiu hodnotu ako napríklad metrika subjektívnosti. Dôvodom je fakt, že používateľ môže v metrike subjektívnosti odpovedať nie úplne úprimne. Môže sa vyjadrovať veľmi pozitívne o celkovej skúsenosti s daným produktom, no jeho tep a nadmerné potenie môže preukázať známky stresu či nespokojnosti [5].

1.1.1 Použitelnosť

Častokrát sa môžeme stretnúť aj s metrikou použiteľnosti, hoci túto metriku Udit Maitra vo svojom článku [5] neuvádza, no je takisto dôležitá. Podobne ako UI, tak aj použiteľnosť prispieva k vytvoreniu celkového dojmu pri používaní softvéru. Podľa [6] je použiteľnosť definovaná piatimi bodmi kvality:

- Učiteľnosť
- Efektívnosť
- Zapamätateľnosť
- Chyby
- Spokojnosť

Učiteľnosť sleduje ako jednoducho môžu používatelia vykonávať základné úlohy pri prvom stretnutí s dizajnom

Efektívnosť hovorí o tom, ako rýchlo a efektívne dokážu používatelia, ktorí sú s daným dizajnom oboznámení, vykonávať dané úlohy

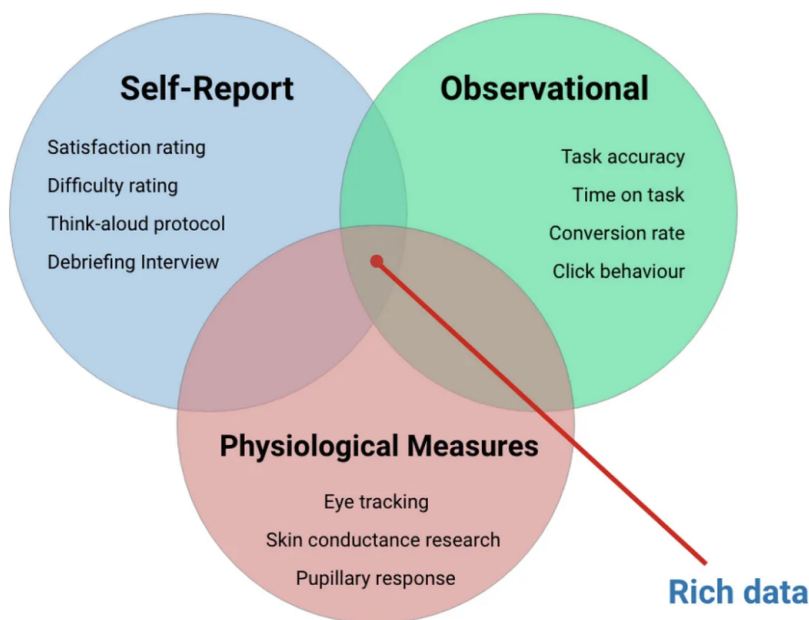
Zapamätateľnosť určuje ako ľahko dokážu používatelia obnoviť svoje znalosti o danom dizajne, keď sa k nemu vrátia po určitom období.

Bod **Chyby** hovorí o tom, koľko chýb používatelia robia, ako závažné sú tieto chyby a ako ľahko sa z nich môžu zotaviť

V neposlednom rade pri **Spokojnosti** sa pozerá na to, ako príjemné je daný dizajn používať.

Výkonnostné metriky v UX sa zameriavajú na hodnotenie toho, ako efektívne systém alebo rozhranie funguje. Tieto metriky zvyčajne merajú aspekty, ako je rýchlosť, odozva, spoľahlivosť a presnosť systému alebo rozhrania.

Metriky použiteľnosti v UX sa zameriavajú na hodnotenie jednoduchosti používania a spokojnosti používateľov so systémom alebo rozhraním. Tieto metriky merajú, ako efektívne môžu používatelia dosiahnuť svoje ciele a ako sú spokojní s celkovou skúsenosťou. Na obrázku 1.1 je grafické zobrazenie vzťahu medzi už spomínanými metrikami a takisto najvhodnejších dát pre určenie kvality UX [7].



Obr. 1.1: Najvhodnejšie dáta na určenie UX [7]

1.1.2 Prítomnosť

Skarbez a kol. [8] kategorizujú definície prítomnosti podľa troch dimenzií: „byť tam“, „nesprostredkovanosť“ a „iné“. Jedna z prvých zmienok o stave „byť tam“ sa pripisuje Minskému [9] a do explicitného kontextu VR ju rozvinul Steuer [10], ktorý prítomnosť definuje ako „pocit bytia v sprostredkovanom prostredí“. V tomto kontexte niektorí autori definujú prítomnosť so zameraním na priestorovú oblasť, pričom prítomnosť definujú ako subjektívny pocit fyzickej prítomnosti v sprostredkovanom prostredí. Biocca vo svojom článku [11] rozširuje definíciu prítomnosti na pocit „byť tam“ v kombinácii so schopnosťou byť aktívny vo virtuálnom prostredí (Virtual Environment, VE), t. j. byť schopný iniciovať akcie vo VE a VE na ne bude primerane reagovať.

Dimenzia „nesprostredkovanosť“ agreguje definície prítomnosti, ktoré rámujú prítomnosť ako úroveň abstrakcie v prostredí sprostredkovanom technológiami. Presnejšie, prítomnosť je definovaná ako perцепčná ilúzia nesprostredkovania alebo ako pozastavenie nedôvery, keď používatelia zabúdajú na reálny svet a veria, že sú skutočne v inom svete [12]. Definície prítomnosti zaradené do kategórie „iné“ zasa definujú prítomnosť ako perцепčné spracovanie virtuálnych prvkov ako reálnych dimenzií. Parola a kol. [13] v tejto súvislosti pomenovali prítomnosť ako pociťovanie VE ako skutočnej. Eva Lindh Waterworth a John A. Waterworth [14] navrhli inú konceptualizáciu, ktorá prítomnosť rozdelila na tri zložky: zameranie (perцепčné spracovanie podnetu verzus konceptuálne spracovanie), locus (miera pozornosti venovaná virtuálnemu alebo reálnemu svetu) a sensus (úroveň vedomého vzrušenia pri interakcii s VE). Všimnime si, že napriek týmto trom rôznym kategorizáciám, ktoré uvažujú o tom, že prítomnosť je fenomén súvisiaci s médiami, t. j. sú spojené s perceptivekou ilúziou, niektorí autori teoretizujú, že prítomnosť je konštruktom perceptivekej ilúzie prítomnosti vo VE (mediálna prítomnosť) aj psychologických/ekologických javov, ktoré virtuálne prostredie vyvoláva a ktoré môžu ovplyvniť pocit prítomnosti, aj keď sprostredkované prostredie môže vytvoriť optimálnu nesprostredkovanú ilúziu (vnútorná prítomnosť).

Slater [15] prepojil koncept prítomnosti s oblasťou neurovedy a prepojil stav vedomia pripútanosti k virtuálnemu miestu a situácii s tým, do akej miery budú používatelia realisticky reagovať na virtuálne podnety na fyziologickej, emocionálnej a behaviorálnej úrovni. Následne Slater navrhol teoretický rámec prítomnosti, ktorý popisuje, že prítomnosť pozostáva z dvoch zložiek: Ilúzia miesta (PI) a ilúzia vierohodnosti (PsI) [15]. Zložka PI zahŕňa definíciu prítomnosti „byť tam“, ktorá je definovaná ako ilúzia prítomnosti na mieste (napr. vo virtuálnom

prostredí), aj keď človek vie, že tam nie je. Zložka PsI sa vzťahuje na schopnosť systému VR napodobňovať udalosti reálneho sveta takým dôveryhodným spôsobom, že používatelia majú ilúziu, že sa dejú v skutočnosti. Splnenie PI a Psi systémom VR povedie používateľov k tomu, aby sa vo virtuálnom svete správali, akoby sa nachádzali v reálnom scenári. VR nie je obmedzená na jedného používateľa, a preto okrem úvah o rôznych víziách o prítomnosti niektorí autori prijímajú koncepty Copresence (pocit zdieľania virtuálneho priestoru s inou osobou) alebo Social Presence (rozširuje povedomie o iných osobách vo virtuálnom priestore s možnosťou rozvoja medziľudskej interakcie). Z hľadiska neurovedy Riva a kol skúmali využívanie VR v oblasti zdravia správania a naznačili, že existuje silné prepojenie medzi tým, ako mozog spracováva realitu, a vlastnosťami technológie VR, ktoré umožňujú rozvíjať pocit prítomnosti. V reálnom svete si mozog vytvára stelesnenú simuláciu reálneho sveta, ktorý obklopuje používateľov, aby mohol účinne regulovať a ovládať telo. Vzhľadom na to, ak technológia VR dokáže predvídať zmyslové dôsledky svojich činností a reagovať na konanie používateľov podľa očakávania, VR bude schopná oklamať ľudský mozog a úspešne vyvolať pocit prítomnosti [15].

Na základe prieskumu literatúry o prítomnosti Skarbez a kol. [8] navrhli model prítomnosti, ktorý zohľadňuje tieto rôzne pohľady na prítomnosť, kde popisujú prítomnosť ako funkciu subjektívneho pocitu PI, PsI a sociálnej ilúzie prítomnosti. Ďalej teoretizujú, že PI je vyvolaný ponorením, ktoré poskytuje systém VR, že PsI je dôsledkom koherencie scenára a že ilúziu sociálnej prítomnosti podporuje ilúzia kopresencie, ktorá je daná schopnosťou systému podporovať popri virtuálnom zážitku aj iné osoby.

Prítomnosť úzko súvisí s kľúčovými pojmami, ako je ponorenie, zapojenie a realizmus. Koncept ponorenia sa často mieša s konceptom prítomnosti. V literatúre [8] sa ponorenie definuje z rôznych hľadísk. Napríklad Slater [16, 15] definuje ponorenie ako objektívnu premennú, ktorá spočíva v schopnosti systému VR izolovať používateľov od reálneho prostredia. Na druhej strane Witmer a Singer [17] definujú prítomnosť ako subjektívny pocit, ktorý používateľ nadobúda z toho, že je neustále obklopený, zahrnutý a interaguje s VE. Zapojenie sa týka stupňa pozornosti venovanej VE a stupňa zapojenia sa do podnetov, činností a udalostí vo VE.

Podľa Perrouda a kol. [18] možno realizmus rozdeliť na päť zložiek:

1. realistický vzhľad (kvalita shaderov, svetiel a celkový umelecký vzhľad)
2. realistická konštrukcia virtuálneho sveta (použitie vedeckých modelov, ako

sú fyzikálne zákony)

3. fyziologický realizmus (objektívny realizmus daného virtuálneho prostredia, kde podnety, ktoré používatelia dostávajú, sú rovnaké ako v reálnom svete)
4. psychologický realizmus (subjektívne vnímanie realizmu používateľom)
5. prítomnosť

Tieto rôzne dimenzie nám umožňujú kategorizovať realizmus do dvoch kategórií: subjektívny (vnímanie používateľa) a objektívny (nakoľko sa virtuálny zážitok približuje jeho reálnemu náprotivku). Pokiaľ teda ide o subjektívne vnímanie používateľa, človek môže pociťovať, že virtuálne prostredie je realistické, aj keď prostredie presne nekopíruje podnety z reálneho sveta. Na druhej strane však používateľ môže mať pocit, že virtuálny zážitok je nereálny, aj keď presne kopíruje podnety z reálneho sveta. Človek môže objektívne porovnať realistickosť virtuálneho zážitku len vtedy, ak ho možno replikovať aj v reálnom svete. Niektoré zážitky však nemajú za cieľ simulovať podmienky reálneho sveta, ale používatelia ich napriek tomu môžu považovať za autentické a rozvíjať tak pocit prítomnosti. To pomáha vysvetliť pojem koherencie. Skarbez a kol. [8] definujú koherenciu ako „súbor objektívne primeraných okolností, ktoré môže scenár preukázať bez toho, aby zaviedol objektívne neprimerané okolnosti“. Koherentný virtuálny zážitok nevyžaduje, aby bol replikovateľný v reálnom svete. Závisí od predchádzajúcich vedomostí, skúseností a očakávaní používateľa, preto používateľská skúsenosť nemôže byť úplne objektívna. Autori [8] však ďalej potvrdzujú, že by sa stále mala považovať za objektívnu; napriek nemožnosti kontrolovať predchádzajúce vedomosti a skúsenosti používateľov, tí môžu kontrolovať, či sú udalosti virtuálneho zážitku vnútorne konzistentné. Takže virtuálny zážitok založený na fantázii (t. j. nemožný, aby sa stal v reálnom svete) môže byť stále koherentný, pokiaľ sa riadi vnútornými pravidlami tejto VE.

1.1.3 Vyhodnotenie prítomnosti

V dôsledku rôznych názorov na prítomnosť a s ňou súvisiace koncepty existuje viacero prístupov k hodnoteniu prítomnosti. Hodnotenie prítomnosti sa môže vykonávať pomocou objektívnych, subjektívnych alebo doplnkových metrík. Objektívne metriky sú založené na hodnotiacich nástrojoch, ktoré zaznamenávajú údaje týkajúce sa virtuálnej skúsenosti účastníka a nezávisia od jeho názoru. Príkladom objektívnych metrík sú fyziologické reakcie, ako napríklad meranie srdca

alebo vodivosti kože, a analýza správania. Napríklad srdcové merania sa používajú ako ukazovateľ prítomnosti na základe toho, že srdcová frekvencia a kožná vodivosť významne korelujú s hláseným pocitom prítomnosti prostredníctvom dotazníkov.

Objektívne merania založené na analýze správania sa týkajú meraní, ako je analýza výrazu tváre, ktorá sa môže použiť na zisťovanie emócií, pričom sa predpokladá, že viac emócií môže naznačovať väčšiu prítomnosť, alebo posturálnych a reflexných reakcií, pri ktorých sa očakáva, že pri rozvinutej prítomnosti budú používatelia reagovať na virtuálne podnety tak, ako by reagovali na skutočné podnety.

Subjektívne metriky v podstate pozostávajú zo správ, ktoré používatelia podávajú po vystavení aplikáciám VR, kde sú najpoužívannejšími nástrojmi dotazníky alebo rozhovory. Väčšina hodnotení VR aplikácií sa spolieha na subjektívne hodnotenie, ktoré sa získava najmä prostredníctvom dotazníkov, pretože sa dajú ľahko prijať a administrovať. Naopak, objektívne metodiky, ako napríklad analýza fyziologických príznakov, sú často invazívne a vyžadujú si zložité a často drahé nastavenia, ktoré nie sú tak široko dostupné ako jednoduchý dotazník. Medzi najpoužívannejšie dotazníky patrí dotazník Slater-Usch-Steed (SUS), dotazník prítomnosti (PQ) a dotazník prítomnosti v skupine (IPQ). Dotazník SUS bol jedným z prvých návrhov na meranie prítomnosti a pozostáva zo siedmich položiek, ktoré merajú celkový pocit prítomnosti, ktorý sa podľa autorov vzťahuje na „subjektívnu skúsenosť, že sa nachádzame v jednom prostredí (tam), keď sa fyzicky nachádzame v inom prostredí (tu)“. Pokiaľ ide o PQ, prvýkrát bol navrhnutý v roku 1998 a pozostáva z 19 položiek, ktoré hodnotia tri dimenzie: zapojenie/kontrola (vnímaná kontrola nad udalosťami VE, miera zapojenia vizuálnych aspektov a miera zapojenia účastníka do zážitku), prirodzenosť (do akej miery sú interakcie pociťované ako prirodzené a miera súladu medzi VE a realitou) a kvalita rozhrania (ovládacie/displejové zariadenia rušia alebo rozptyľujú používateľov a miera koncentrácie, ktorú môžu používatelia venovať úlohám vo VE). Tento dotazník bol neskôr revidovaný a jeho posledná verzia pozostáva z 29 položiek, ktoré merajú štyri dimenzie: zapojenie, zmyslovú vernosť (ako používatelia môžu cítiť rôzne podnety VE), adaptáciu/ponorenie (schopnosť prispôbiť sa VE a cítiť sa ňou zapojený) a kvalitu rozhrania (mieru, do akej systém dokáže poskytnúť virtuálny obsah bez toho, aby rušil virtuálny zážitok používateľa). Dotazník IPQ zahŕňa štyri subškály: Priestorová prítomnosť, Zapojenie, Zažitý realizmus a Celkový pocit prítomnosti. Subškála priestorovej prítomnosti sa týka pocitu fyzickej prítomnosti používateľov vo virtuálnej realite. Podsubstrána zapojenia meria po-

zornosť venovanú VE a zažívané zapojenie, t. j. pocit účasti na VE a zapojenie sa do nej. Skúsenosť s realizmom hodnotí subjektívnu skúsenosť s realizmom vo VE. Napokon celkový pocit prítomnosti určuje všeobecný subjektívny pocit z pobytu vo VE, ktorý sa získava spriemerovaním priemerných skóre subškál priestorovej prítomnosti, zapojenia a skúsenostného realizmu.

1.1.4 Dotazníky pre meranie UX

Niekoľko štúdií meraní UX vo virtuálnych systémoch využívajú prevažne metriku prítomnosti [19]. Prítomnosť ako taká je nadmerne dôležitá, keďže významom virtuálnych realít je možnosť jednotlivca zabudnúť na skutočný svet a interagovať s virtuálnym svetom, ako keby bol skutočný. Zvyčajne sa využívajú dva spôsoby merania UX vo virtuálnych systémoch, **objektívne** a **subjektívne** merania [19, 20]. Kombinácia týchto dvoch meraní poskytne najlepšie výsledky. Objektívne merania poskytujú svoje výsledky skrz vykonávanie rôznych experimentov a pozorovania zvyčajne podvedomej reakcie subjektu na príslušnú situáciu. Subjektívna metrika spočíva vo vyplňaní rôznych dotazníkov, kde používateľ vyjadruje svoje vlastné subjektívne názory, dojmy, pocity a podobne. Využívajú sa rôzne spôsoby pre zachytenie subjektívneho pohľadu, ako napríklad otvorená diskusia (kde je umožnené používateľovi otvorene rozprávať o svojich dojmoch), skupinová interakcia (technika, ktorej cieľom je pomôcť používateľovi uvedomiť si rôzne problémy, na ktoré by možno zabudol, neuvedomil si alebo jednoducho nepovažoval za dôležité) alebo dotazníky (zoznam otázok špecificky navrhnutých tak, aby sa po jeho vyplnení dokázal ustanoviť jasný záver) [20].

Použitelnosť, založená na prastarých princípoch ergonomického dizajnu [21], sa vzťahuje na to, aký efektívny a uspokojivý je produkt, keď sa používa na vykonávanie úloh, na ktoré bol navrhnutý. Zatiaľ čo rôzne metódy prieskumu postojov môžu poskytnúť pohľad na vyjadrené názory používateľov, významný súbor dôkazov naznačuje, že údaje a odhady, ktoré sami nahlásili, sú nespoľahlivými mierami použiteľnosti [22]. Žiadať používateľov, aby hodnotili produkt na základe ich osobných preferencií, je neúčinné, pretože používatelia môžu niekedy uprednostniť dizajn, ktorý im v skutočnosti bráni dosiahnuť ich ciele. Navyše, žiadanie o retrospektívne hodnotenia je nespoľahlivé, pretože ľudia majú tendenciu zakladať svoje úsudky na najnovších alebo intenzívnych momentoch svojej skúsenosti. V dôsledku toho, zatiaľ čo metódy výskumu postojov môžu byť užitočné na pochopenie vnímania používateľov, nie sú presnými nástrojmi na určenie použiteľnosti alebo identifikáciu oblastí, ktoré si vyžadujú zlepšenie.

Namiesto toho sa všeobecne uznáva, že pozorovanie účastníkov pri interakcii

s produktom je oveľa lepší spôsob, ako posúdiť celkovú použiteľnosť a diagnostikovať špecifické problémy s použiteľnosťou. Ak chceme získať prehľad o myšlienkových procesoch používateľov pri vykonávaní úloh, môže byť veľmi cenné nechať ich verbalizovať svoje myšlienky počas testu (metóda myslieť nahlas) [22]. Tieto testy použiteľnosti nahlas sú účinné pri identifikácii nedostatkov v dizajne a pochopení medzier, ktoré používatelia nemusia byť schopní formulovať sami, a odhaľujú príležitosti na zlepšenie bez toho, aby sa používatelia museli spoliehať na pamäť.

Realizácia štúdií použiteľnosti digitálnych produktov je tradične zložitým a nákladným procesom. V minulosti sa štúdie uskutočnili osobne s 30 – 50 účastníkmi v laboratóriu použiteľnosti vybavenom sofistikovanými nástrojmi na nahrávanie videa. Moderný výskum však ukázal, že testovanie len s 5-7 reprezentatívnymi používateľmi dokáže odhaliť asi 85% problémov s použiteľnosťou a technologický pokrok teraz umožňuje testovanie na diaľku bez potreby náborového pracovníka, moderátora alebo drahého hardvéru, čo výrazne znižuje čas a náklady na pozorovanie používateľov pri interakcii so systémom [23].

Existuje mnoho rôznych dotazníkov, kde každý je zameraný na pozorovanie iných atribútov a vlastností používateľov. Pri výbere dotazníka je však dôležité zohľadniť ich rôznorodosť a uvedomiť si, že nie každý je vhodný pre naše potreby. Pre meranie UX vo virtuálnych systémoch môžu byť použité napríklad tieto dotazníky:

- **iPQ (Igroup Presence Questionnaire):** Dotazník vyvinutý tímom pod vedením Thomasa Schuberta je široko využívaný vo vývoji virtuálnych realít [24]. Hlavné zameranie tohto dotazníka je na meranie pocitu prítomnosti používateľov vo virtuálnych prostrediach.
- **SUS (System Usability Scale):** Jeden z najpoužívanejších dotazníkov, jednoduchý a rýchly na všeobecne hodnotenie použiteľnosti systému. Skladá sa z desiatich otázok s piatimi možnosťami odpovede v intervaloch od "úplne súhlasím" až po "úplne nesúhlasím" [25].
- **GEQ (Game Experience Questionnaire):** Potenciálne využitie má aj dotazník zameraný na hodnotenie používateľského zážitku pri hraní digitálnych hier, keďže náš systém sa veľmi nelíši od digitálnej hry [26].
- **ITC-SOPI (ITC Sense of Presence Inventory):** Zaujímavým dotazníkom pre nás je takisto aj ITC-SOPI, ktorý meria, ako veľmi sa užívateľ cíti byť fyzicky prítomný vo virtuálnom svete. Konkrétne sa zameriava na pocity

socialnej interakcie a prítomnosti iných subjektov vo virtuálnom prostredí [27].

- **NASA-TLX (Task Load Index):** Nástroj na hodnotenie subjektívneho zaťaženia užívateľa pri vykonávaní úlohy[28]. Využíva šesť dimenzií záťaže:
 - Mentálne úsilie
 - Fyzické úsilie
 - Časový nátlak
 - Výkon
 - Celkové úsilie
 - Frustrácia

Na základe využitia rôznych dotazníkov a iných spôsobov merania používateľskej skúsenosti budeme schopní upraviť softvér tak, aby ho používatelia radi používali, alebo aspoň aby jeho používanie nebolo nepríjemné. V tejto práci využijeme rôzne možnosti dotazníkov a porovnáme ich výpovedné hodnoty.

1.1.5 Likertová škála

Likertova škála je pomenovaná po svojom tvorcovi Rensisovi Likertovi, ktorý ju vyvinul v roku 1932 [29]. V prieskume ide o najbežnejší typ meracej škály, ktorá sa používa na meranie postojov, hodnôt a názorov v reálnej alebo hypotetickej situácii. Základným princípom metodiky merania Likertovej škály je, že skóre získané Likertovou škálou je zložené (súhrnné) skóre vychádzajúce z odpovedí jednotlivca na viaceré položky na škále. Napríklad účastníci sú požiadaní, aby preukázali svoju úroveň súhlasu (od úplne nesúhlasím po úplne súhlasím) s daným tvrdením (položkami) na metrickej škále. Otázky Likertových škál môžu pozostávať z unipolárnych alebo bipolárnych váh [29].

Unipolárne Likertové váhy sa zameriavajú na meranie jedného rozmeru. Zvyčajne sa môžu využívať na posúdenie, do akej miery respondenti podporujú konkrétny názor alebo postoj.

V tejto práci budeme pracovať aj s **Bipolárnymi Likertovými váhami**, ktoré merajú dva opačné konštrukty, ako je spokojnosť či nespokojnosť. Odpovede sú zoradené v postupnosti od negatívnej po pozitívnu, s neutrálnou odpoveďou v strede. Otázky sú takisto pokladané striedavo, aby sa zabezpečila kladná a záporná formulácia. Tento prístup pomáha predísť súhlasovej zaujatosti, aby používateľ bol nútený vyberať možnosti po celej škale a nie iba v jednej časti, čo ho núti sa dôkladnejšie zamyslieť nad otázkou.

2 Rozšířená realita a jej kategórie

Rozšířená realita (z angl. extended reality, ďalej už len XR), je zastrešujúci pojem pre technológie, ktoré dokážu rozšíriť alebo kompletne nahradiť realitu digitálnym obsahom. XR je veľmi populárny v hernom priemysle, kde sa využíva na vytváranie interaktívnych hier, no v posledných rokoch sa začína využívať aj v iných odvetviach, ako napríklad vo vzdelávaní, medicíne, vojenskom priemysle a mnohých ďalších. Podľa [30] sa XR delí na tri hlavné kategórie:

- virtuálna realita (z angl. virtual reality, ďalej už len VR),
- augmentovaná realita (z angl. augmented reality, ďalej už len AR),
- zmiešaná realita (z angl. mixed reality, ďalej už len MR)

Každá z týchto kategórií má svoje vlastné využitie a výhody, no všetky majú spoločný cieľ - vytvoriť čo najreálnejší zážitok pre používateľa. V nasledujúcich sekciách si detailnejšie vysvetlíme každú z týchto kategórií a porovnáme ich medzi sebou.

2.1 Virtuálna realita

Virtuálna realita využíva počítačové modelovanie a simuláciu na vytvorenie úplne pohlcujúceho digitálneho prostredia. Používatelia sú úplne ponorení do virtuálneho sveta, ktorý nahrádza ich reálne zmyslové vnímanie. Na interakciu s týmto prostredím sa zvyčajne používajú špeciálne zariadenia, ako sú VR headsety a ovládače.

2.2 Augmentovaná realita

Augmentovaná realita prekrýva reálny svet digitálnymi prvkami, ktoré zlepšujú vnímanie okolitého prostredia. Na rozdiel od VR, AR neizoluje používateľa od reality, ale pridáva do nej virtuálne objekty alebo informácie. Toto sa často dosahuje prostredníctvom smartfónov, tabletov alebo špeciálnych AR okuliarov.

2.3 Zmiešaná realita

Zmiešaná realita plynulo spája virtuálny a fyzický svet, pričom umožňuje ich vzájomnú interakciu v reálnom čase. To znamená, že virtuálne objekty môžu byť umiestnené do reálneho prostredia a reagovať na jeho zmeny, čo vytvára dynamickú kombináciu oboch svetov. MR vyžaduje pokročilejšie zariadenia, ako sú špeciálne headsety s pokročilými senzormi.

2.3.1 Porovnanie VR, AR a MR

Vo všeobecnosti by sme mohli tieto technológie porovnať podľa toho, ako ovplyvňujú vnímanie reality. VR nahrádza reálny svet úplne digitálnym prostredím, AR zlepšuje vnímanie reality pridaním digitálnych prvkov do reálneho sveta a MR integruje virtuálne objekty do reálneho sveta s možnosťou vzájomnej interakcie. Toto porovnanie je zhrnuté v tabuľke 2.1.

Technológia	Popis	Zariadenia
VR	Úplné ponorenie do digitálneho prostredia, nahrádza reálny svet.	VR headsety a ovládače
AR	Prekrýva reálny svet digitálnymi prvkami, zlepšuje vnímanie reality.	Smartfóny, tablety, AR okuliare
MR	Integruje virtuálne objekty do reálneho sveta s možnosťou vzájomnej interakcie.	Pokročilé headsety s pokročilými senzormi

Tabuľka 2.1: Porovnanie VR, AR a MR technológií

Je dôležité poznamenať, že každá z týchto technológií môže na používateľov pôsobiť úplne odlišným spôsobom a skúmanie všetkých naraz je nielen časovo, ale aj obsahovo a technicky náročné. V nasledujúcej sekcii si vysvetlíme, prečo je hlavnou doménou tejto práce práve VR.

2.4 Výber VR ako hlavnej technológie

Výber VR ako hlavnej technológie tejto práce bol motivovaný niekoľkými dôvodmi. Po prvé, VR je jednou z najpokročilejších technológií v oblasti rozšíre-

nej reality a ponúka úplne pohlcujúce prostredie, ktoré môže byť veľmi užitočné pri rôznych aplikáciách, ako sú hry, vzdelávanie, medicína a mnohé ďalšie. Po druhé, VR headsety sú stále viac dostupné a populárne, čo znamená, že sa stávajú dostupnejšie pre širšiu verejnosť. Po tretie, VR je jednou z najviac skúmaných technológií v oblasti UX a ponúka množstvo nástrojov a metód na meranie a testovanie používateľskej skúsenosti. Z týchto dôvodov sa rozhodnutie zamerať sa na VR javí ako najlepšia voľba pre túto prácu.

3 Výzvy a problémy interakcie s XR systémami

Interakcia s rozšírenou realitou (XR) predstavuje neuveriteľný pokrok v oblasti technologických inovácií, prináša nielen niekoľko výziev na ovplyvnenie celkovej použiteľnosti a užívateľského komfortu, ale možno ho implementovať aj popri mnohých iných. Táto kapitola zahŕňa diskusiu o zásadných problémoch, ktoré sa vyvinú počas používania systémov XR. Môžu to byť problémy štruktúrované do štyroch hlavných skupín: fyzické a zdravotné; technické obmedzenia; sociálne a psychologické faktory; a navrhované riešenia.

3.1 Fyzické a zdravotné problémy

Používanie XR zariadení môže viesť k rôznym fyzickým a zdravotným komplikáciám, ktoré súvisia s dlhodobým pôsobením vo virtuálnom prostredí. Tieto problémy zahŕňajú:

- Kybernetickú alebo pohybovú nevoľnosť,
- Očné nepohodlie a únavu,
- Zmyslovú dezorientáciu,
- Fyzickú únavu a svalové napätie.

Kybernetická nevoľnosť je fenomén, ktorý vzniká v dôsledku nesúladu medzi vizuálnymi podnetmi a vnímaním pohybu tela. Používateľ napríklad vníma pohyb v XR prostredí, no jeho vestibulárny systém tento pohyb nezaznamenáva, čo môže viesť k nevoľnosti, závratom, únave či dokonca migrénam.

Dlhodobé používanie XR zariadení môže spôsobovať nadmerné namáhanie očí, suchosť, rozmazané videnie a zníženie kontrastnej citlivosti. Dôležitým faktorom je aj tzv. „vergence-accommodation conflict“ [31], keď mozog dostáva pro-

tichodné signály z hĺbkovej ostrosti obrazu a reálnej vzdialenosti zobrazených objektov.

Pri dlhodobej expozícii XR prostredia môže dôjsť k strate rovnováhy, nesprávnemu vnímaniu vzdialenosti či narušeniu priestorovej orientácie. Tieto faktory môžu spôsobiť nebezpečné situácie, napríklad stratu kontroly nad pohybom v reálnom svete.

Nosenie XR headsetu po dlhšiu dobu môže viesť k nepríjemným tlakom na hlavu a krčnú chrbticu. Navyše, interakcia v XR prostredí často vyžaduje opakované pohyby rúk a tela, čo môže spôsobovať svalovú únavu alebo dokonca syndróm RSI (Repetitive Strain Injury) [32].

3.2 Technické ergonomické obmedzenia XR zariadení

XR technológie sú stále vo vývoji, a preto so sebou nesú niektoré technické a ergonomické obmedzenia:

- Hmotnosť a pohodlie zariadení,
- Obmedzené zorné pole (FOV – Field of View),
- Obmedzenia ovládania a interakcie,
- Problémy s rozlíšením a latenciou.

Niektoré VR headsety sú ťažké a ich nesprávne prispôsobenie môže spôsobovať tlak na hlavu a tvár, čo vedie k diskomfortu pri dlhodobom používaní.

Väčšina XR headsetov má zorné pole užšie ako ľudské oči, čo môže viesť k pocitu „tunelového videnia“ a znižovať realistickosť zážitku.

Sledovanie rúk a gest môže byť nepresné, čo vedie k frustrácii pri používaní. Ovládače nie vždy poskytujú dostatočne presnú spätnú väzbu a ich oneskorenie môže spôsobiť nepresnosti pri interakcii s virtuálnymi objektmi.

Nízke rozlíšenie displeja môže spôsobovať tzv. „screen-door effect“ [33], kde používateľ vidí jednotlivé pixely. Latencia v XR môže spôsobiť oneskorenie medzi pohybom používateľa a odozvou systému, čo môže prispieť k kybernetickej nevoľnosti.

3.3 Sociálne a psychologické faktory XR prostredí

XR prostredie je značne odlišné od tradičných digitálnych technológií a môže ovplyvniť sociálnu a psychologickú pohodu používateľov:

- Realistickosť avatarov a animácií,
- Vnímanie osobného priestoru a proxemika,
- Pocit izolácie a sociálneho odpojenia,
- Adaptácia na XR prostredie.

V XR prostredí často dochádza k tzv. „uncanny valley“ efektu [34], keď sú avatary príliš realistické, no stále neúplne dokonalé, čo môže vyvolávať u používateľov nepohodlie.

V XR môže dochádzať k narušeniu osobného priestoru, keďže digitálne reprezentácie iných osôb môžu vstupovať do subjektívne vnímaného komfortného priestoru používateľa.

Hoci XR umožňuje interakciu v digitálnych svetoch, môže tiež spôsobiť pocit izolácie od fyzického sveta, čo môže viesť k sociálnemu odcudzeniu.

Niektorí používatelia majú problémy s rýchlou adaptáciou na XR rozhranie, čo môže viesť k nižšiemu zapojeniu do XR zážitku.

3.4 Možné riešenia a odporúčania

Na zmiernenie vyššie uvedených problémov je možné implementovať viaceré riešenia:

- Minimalizácia kybernetickej nevoľnosti,
- Ergonomické vylepšenia XR zariadení,
- Zlepšenie realizmu XR prostredia,
- Prispôsobiteľnosť používateľského zážitku,
- Zlepšenie sociálnej interakcie v XR.

Implementácia lepších pohybových mechanizmov, ako je teleportácia namiesto plynulého pohybu a optimalizácia vizuálnych efektov na zníženie nesúlady medzi vizuálnymi a telesnými podnetmi, čo môže byť v niektorých prípadoch kľúčovým aspektom pre zlepšenie použiteľnosti.

Nakoľko je headset neprirodený nástroj, ktorého spojenie s ľudským telom je v modernej technológii neodbitnou súčasťou ak má človek záujem pracovať so zmiešanými realitami, je potrebné zvážiť ich celkové pohodlie pri používaní. Preto použitie ľahších materiálov na výrobu headsetov, nastaviteľných pásov a

mäkších výsteliiek na zníženie tlaku na hlavu môže takisto hrať kľúčovú úlohu pri celkovej použiteľnosti.

Lepšie simulácie pohybu avatarov a realistickejšie grafické spracovanie môžu zvýšiť imerziu používateľov.

Vývoj pokročilých systémov neverbálnej komunikácie a realistických avatarov na podporu prirodzenej interakcie medzi používateľmi takisto vplýva na pocit realistikosti, ktorý má virtuálne prostredie poskytnúť [35].

Riešenie týchto výziev je kľúčové pre budúcnosť XR technológií a ich široká akceptácia v rôznych oblastiach, ako sú vzdelávanie, medicína, priemysel a zábava. Neustále inovácie a optimalizácie v tejto oblasti pomôžu zvýšiť komfort a efektivitu XR systémov pre používateľov na celom svete.

4 Príprava testovacieho prostredia

Testovacie prostredie ako celok pozostáva z niekoľkých aspektov, ktorých zváženie bolo mimoriadne dôležité. V prvom kroku sme pri výbere priestoru museli zvážiť celkové pôsobenie na jednotlivca, teda aby pri testovaní neboli používatelia rušení ich okolím, aby mali priestor na fyzický pohyb v priestore a najmä aby nepociťovali úzkosti zo samotného prostredia, do ktorého prichádzajú. Z tohto dôvodu sme volili prostredia, ktoré sú ľuďom známe a pôsobia na nich prevažne uvoľňujúco. Testy boli vykonané v obývacích priestoroch bytov a v kanceláriách po ukončení pracovnej doby z dôvodu nerušenia tak ako okolitých spolupracovníkov, tak aj používateľov samotných.

Priestor, v ktorom bolo testovanie vykonávané bol prispôsobený tak, aby bolo možné dobre a kvalitne zachytiť videozáznam prebiehajúceho testovania ako z prvej, tak aj z tretej osoby. Tento aspekt je dôležitý, kvôli analýze každého testu po jeho skončení so zámerom identifikovať aspekty, ktoré nám mohli počas živého testovania uniknúť. Videozáznamy neboli žiadnym spôsobom upravené, no boli spojené do jedného zosynchronizovaného videa, aby bolo možné paralelne pozorovať respondentov z prvej aj z tretej osoby naraz. Týmto spôsobom vieme lepšie analyzovať napríklad pohyby človeka v reálnom prostredí a pohyby jeho avatara vo virtuálnom prostredí. Pri natáčaní subjektov z tretej osoby bol použitý profesionálny statív pre kameru, ktorého úlohou bolo zachovať uniformitu jednotlivých videozáznamov.

Rovnako dôležitou úlohou bolo vytvoriť špecifické testovacie scenáre, ktoré by boli pre používateľov zaujímavé a zároveň by poskytovali dostatočné množstvo informácií o ich reakciách a názore na virtuálne prostredie. Súčasťou testovania boli aj rôzne dotazníky, ktoré boli pripravené v digitálnej forme a boli dostupné pre používateľov po skončení testovania. Tieto dotazníky boli pripravené tak, aby boli jednoducho pochopiteľné a rýchlo vyplniteľné, aby sa minimalizoval čas, ktorý by používatelia museli venovať na ich vyplnenie.

Okrem toho, že sme testovali softvér a pôsobenie virtuálnej reality na jednotlivca, rozhodli sme sa naše testovanie obohatiť o ďalší aspekt, ktorým je porovnávanie

naie hardvéru, teda rôznych virtuálnych heliem. Detailnejší popis aplikovaných metodík je rozpísaný v tejto kapitole.

4.1 Definovanie cieľov

Cieľom testovania je zhodnotiť použiteľnosť, mieru prítomnosti, pracovnú záťaž a neskôr aj pocit nevoľnosti vo VR prostredí na základe kombinácie subjektívnych hodnotení, objektívnych pozorovaní a analýzy zosynchronizovaných videozáznamov.

Na tento účel boli vybrané nasledovné metódy:

- **Dotazníky:**

Dotazník	Popis	Etapa testovania
SUS	Pre hodnotenie použiteľnosti	1. a 2.
IPQ	Pre hodnotenie prítomnosti	1. a 2.
NASA-TLX	Na analýzu pracovnej záťaže	1. a 2.
VRSQ	Pre meranie diskomfortu	2.
Hardvér	Pre zhodnotenie kvality hardvéru	1.
Otvorený dotazník	Pre zhodnotenie celkového dojmu z testovania	1.

Tabuľka 4.1: Zoznam použitých dotazníkov, ich účel a priradenie k etapám testovania

- **Pozorovanie používateľov počas testovania:** zaznamenávanie ich reakcií, správania a spontánnych komentárov.
- **Analýza synchronizovaných videozáznamov:** vyhodnotenie pohybov, interakcií a časových údajov pre presnejšie porovnanie medzi respondentmi.

Podľa [19, 20] je kombinácia subjektívnych dotazníkov a objektívnych metód, ktoré zahŕňajú merateľné údaje nezávislé od subjektívnych názorov alebo pocitov používateľov, dôležitá pre presné zachytenie používateľskej skúsenosti. Samotné dotazníky môžu byť skreslené kognitívnou záťažou či preferenciami respondentov. Pri skúmaní XR systémov je dôležitá aj otázka prítomnosti a imerzie. Autori [16] uvádzajú, že kombinácia rôznych metód poskytuje robustnejší pohľad na to, ako používatelia vnímajú virtuálne prostredie. Zároveň autori [36] zdôrazňujú, že subjektívne metriky, ako dotazníky, je potrebné dopĺňať o reálne pozorovania

interakcie a správania sa používateľov v simulovanom prostredí, aby sa predišlo skresleným výsledkom.

Testovanie je preto navrhnuté tak, aby kombinovalo kvantitatívne dáta zo škálových hodnotení v dotazníkoch s kvalitatívnym zberom dát z pozorovania a synchronizovaných videozáznamov, čím sa dosiahne komplexnejší pohľad na UX a UI skúsenosť v testovanom VR prostredí.

4.1.1 Zvolené dotazníky

Z dotazníkov, ktoré boli popísané v kapitole 1.1.7 sme vybrali tieto dotazníky:

System usability scale

SUS má mnoho výhod, vďaka ktorým je obľúbenou voľbou na hodnotenie použiteľnosti [37], [38], [39]. To je dôležitý faktor vzhľadom na to, že účastníci môžu mať počas testovania istý čas problémy s plnením frustrujúcich úloh. Na zohľadnenie skreslenia spôsobeného únavou alebo nepozornosťou sa v otázkach striedajú pozitívne a negatívne odpovede, čím sa získava jedno skóre, ktoré je po prepočte na známe „univerzitné hodnotenie“ všeobecne zrozumiteľné a ľahko sa zdieľa medzi zainteresovanými stranami projektu. Napokon, SUS sa dá aplikovať na širokú škálu technológií a používa sa na hodnotenie použiteľnosti hardvéru, softvéru, webových stránok a mobilných zariadení. Výhody SUS spolu s rýchlym tempom cyklov vývoja moderných produktov z neho urobili priemyselný štandard s odkazmi v mnoho publikáciách [38], ale spoliehať sa na SUS ako na jediné meradlo použiteľnosti nie je odporúčané, pretože tento dotazník neanalyzuje konkrétne aspekty použiteľnosti, ako napr. neodhaľuje príčiny nízkej použiteľnosti ani kvalitatívne faktory, ktoré by mohli zlepšiť dizajn systému [39]. Z tohto dôvodu je dôležité ho kombinovať s inými metrikami.

Webster a Dues [40] použili SUS na porovnanie použiteľnosti dvoch VR headsetov – Oculus Rift DK2 a Samsung Gear VR, aby zistili, ktorý z nich je pre akademické účely lepší. Ich výsledky ukázali, že SUS je vhodný na rýchle a jednoduché porovnanie rôznych hardvérových riešení. Autori v práci [41] využili SUS na analýzu vplyvu rôznych spôsobov interakcie v rámci VR. Konkrétne sa zamerali na rozdiel medzi ovládačmi a sledovaním rúk pri písaní, pričom ich zistenia naznačujú, že sledovanie rúk zlepšuje celkovú použiteľnosť systému. V práci [42] autori aplikovali SUS na hodnotenie VR simulácie architektonických návrhov, pričom ich výsledky ukázali vysoké skóre použiteľnosti (90%), čo potvrdzuje efektívnosť VR pri vizualizácii a plánovaní budov.

Vzhľadom na tieto zistenia sme sa aj my rozhodli použiť SUS dotazník v našej štúdii, pretože poskytuje rýchlu, spoľahlivú a široko akceptovanú metódu hodnotenia použiteľnosti. Cieľom je posúdiť, ako užívatelia vnímajú interakciu s našou VR aplikáciou a identifikovať možné oblasti na zlepšenie.

Významným obmedzením dotazníka SUS je, že sa administruje až po ukončení testovania. To môže viesť k efektu vrcholu – používatelia hodnotia systém predovšetkým na základe najnovších alebo najintenzívnejších častí svojej skúsenosti. Tento efekt je problematický, pretože môžu vynechať špecifické udalosti, ktoré by mohli byť dôležité pre celkové hodnotenie použiteľnosti. V dôsledku toho môžu zostať neodhalené kľúčové problémy, čo vedie k zmeškaným príležitostiam na zlepšenie návrhu systému. Napokon, predpoklad, že používatelia poskytujú odpovede na otázky SUS výlučne na základe skúseností, ktoré majú hodnotiť, nebol nikdy overený. V skutočnosti sa ukázalo, že predchádzajúce skúsenosti so systémom môžu viesť k priaznivejšiemu hodnoteniu SUS, čo naznačuje, že vonkajšie vplyvy môžu ovplyvniť spôsob, akým používatelia odpovedajú na dotazník.

Všetky tieto faktory by potenciálne mohli vysvetliť negatívne skreslenie opísané v štúdii [38] z roku 2008, v ktorej sa zistilo, že priemerné skóre z dotazníkov SUS vo viac ako 200 testoch bolo priaznivejšie ako skutočná úspešnosť testov.

Igroup Presence Questionnaire

Tento dotazník je využívaný na meranie prítomnosti alebo vnímania prítomnosti vo virtuálnej realite. IPQ je široko využívaný na hodnotenie kvality VR systémov z pohľadu používateľa a poskytuje komplexnejšie meranie toho, ako reálne sa používatelia cítia v danom prostredí. Zameriava sa na štyri hlavné dimenzie: priestorovú prítomnosť, celkovú prítomnosť, zapojenie a vnímaný realizmus [24]. Dotazník IPQ bol vytvorený Thomasom Schubertom, Frankom Friedmannom a Holgerom Regenbrechtom v roku 2001 [43] s cieľom preskúmať, ako sa používateľ cíti byť „ponorený“ alebo prítomný vo virtuálnom svete, čo je dôležité pre hodnotenie efektivity VR systémov.

V štúdiách [44] zameranej na skúmanie stavovej úzkosti po vystavení výškovej situácií vo virtuálnej realite sa autori Kristína Varšová, Vojtěch Juřík a Oto Janoušek zamerali na skúmanie vzťahu medzi stavovou úzkosťou a pocitmi prítomnosti a stelesnenia u ľudí so stredným strachom z výšok počas pôsobenia vo virtuálnej realite. Autori použili dotazník na meranie pocitu prítomnosti účastníkov vo VR. Tento dotazník je vhodný pre svoju schopnosť hodnotiť subjektívne vnímanie prítomnosti, čo je kľúčové pri posudzovaní, ako realisticky a pohlcujúco účastníci

vnímajú virtuálne prostredie. Presné meranie týchto pocitov je nevyhnutné pre pochopenie, ako VR môže ovplyvniť emocionálne reakcie, ako je napríklad úzkosť.

Podobne štúdia [45] sa zameriava na hodnotenie zručností v pokročilej podpore života, kde pomocou VR použili autori IPQ na meranie pocitu prítomnosti účastníkov vo virtuálnom prostredí, čo im umožnilo posúdiť, do akej miery sa účastníci cítili "prítomní" v simulovaných núdzových situáciách.

Autori v štúdiu [46] využili IPQ na meranie pocitu prítomnosti vo virtuálnom prostredí, pričom sa zamerali na psychometrickú revíziu jeho anglickej verzie. Štúdia zahŕňala 36 účastníkov, ktorí absolvovali 12 VR sedení, čím sa získalo celkovo 432 vzoriek. Prostredníctvom faktorovej analýzy autori testovali spoľahlivosť a platnosť dotazníka a identifikovali optimálnu 11-položkovú verziu, hoci odporúčajú používať aj pôvodnú 14-položkovú verziu, kým sa neoverí jej robustnosť na väčšej vzorke.

Na základe týchto štúdií sme sa rozhodli nimi inšpirovať a takisto použiť dotazník IPQ na meranie prítomnosti účastníkov vo virtuálnom prostredí v tejto práci. Dotazník pozostáva zo štyroch hlavných častí:

1. **Priestorová prítomnosť** - hodnotí, ako realisticky a fyzicky človek vníma virtuálne prostredie ako skutočný priestor, v ktorom sa môže hýbať alebo ktorý môže preskúmať.
2. **Zapojenie** - hodnotí úroveň zapojenia alebo sústredenia používateľa na zážitok vo VR. Skúma, ako intenzívne sa človek sústreďuje na zážitok a ako dobre ho virtuálne prostredie zaujalo, čo mu umožňuje ignorovať vonkajšie rušivé podnety.
3. **Realita** - hodnotí, do akej miery sa používateľovi virtuálne prostredie zdá reálne a autentické. Zahŕňa prvky, ktoré používateľ považuje za prirodzené alebo reálne v kontexte VR zážitku.
4. **Celková prítomnosť** - ide o subjektívne hodnotenie celkového pocitu prítomnosti vo virtuálnom prostredí. Tento faktor poskytuje všeobecný pohľad na to, ako sa používateľ cítil byť prítomný v VR svete.

Súčasťou dotazníka je 14 otázok postavených na sedemstupňovej Likertovej škále, ktoré sú špecificky navrhnuté pre jednoduchšie určenie prítomnosti jednotlivca vo virtuálnom svete [24].

NasaTLX

Dôležitým dotazníkom pre dosiahnutie našich cieľov je dotazník Nasa-TLX [28], ktorý je zameraný na meranie pracovnej záťaže, ktorú používateľ vníma pri plnení danej úlohy. Tento dotazník bol vytvorený Sandrou G. Hartovou a Lowellom E. Stavelandom v roku 1988 [47], bol pôvodne vytvorený pre potreby NASA na hodnotenie subjektívnej pracovnej záťaže pilotov v letectve a vesmírnych programoch. Od svojho vzniku je tento dotazník štandardným nástrojom pre meranie pracovnej záťaže v rôznych oblastiach [48], ako napríklad virtuálne systémy. Dotazník sa zvyčajne skladá zo šiestich dimenzií, hodnotených Likertovou škálou. Tieto dimenzie zachytávajú používateľské skúsenosti z viacerých uhlov pohľadu. Medzi tieto dimenzie patrí:

1. **Mentálna námaha:** Miera, do akej úloha vyžaduje mentálne úsilie, sústredenie alebo myslenie. Posudzuje sa, aké ťažké bolo pre používateľa vykonať úlohu z mentálneho hľadiska.
2. **Fyzická námaha:** Posudzuje fyzické úsilie potrebné na vykonanie úlohy. Táto dimenzia hodnotí, ako fyzicky náročné bolo vykonávanie úlohy.
3. **Časový nátlak:** Hodnotí časový stres pri vykonávaní úlohy – či mal používateľ pocit, že musí konať rýchlo, alebo že mal na splnenie úlohy dostatok času.
4. **Výkonnosť:** Miera, do akej používateľ vníma svoju vlastnú výkonnosť. Táto dimenzia sa pýta, ako dobre sa používateľovi podarilo dosiahnuť ciele úlohy – či sa mu podarilo splniť úlohu úspešne
5. **Úsilie:** Posudzuje, koľko úsilia musel používateľ vynaložiť na to, aby splnil úlohu na požadovanej úrovni. Ide o subjektívne hodnotenie celkovej vynaloženej snahy a energie.
6. **Frustrácia:** Hodnotí, aký frustrovaný, zmätený alebo podráždený sa používateľ cítil počas vykonávania úlohy. Meria emocionálne aspekty skúsenosti používateľa.

NASA-TLX má dve základné metódy výpočtu skóre: **Raw (Nezaťažené)** a **Weighted (Vážené)** skóre. Raw NASA-TLX má jednoduchší spôsob výpočtu, kde výsledok je priemer hodnotení všetkých šiestich dimenzií záťaže, uvádzaných vyššie. Každá z týchto kategórií sa hodnotí samostatne na škále od 0 do 100 bodov. Weighted Nasa-TLX [49] je komplexnejší spôsob výpočtu, kde okrem hodnotení

kategórií účastníci vykonávajú aj porovnania všetkých kategórií po dvojiciach, aby určili ich relatívnu dôležitosť. Podľa [47] je Raw NASA-TLX často preferovaný kvôli jednoduchšiemu zberu dát a menšej kognitívnej záťaži respondentov. V našom prípade považujeme všetky dimenzie za rovnako dôležité, tak preto použijeme Raw NASA-TLX.

Dotazník NASA-TLX bol použitý na hodnotenie subjektívnej záťaže účastníkov v štúdiu, kde dvojice riešili priestorové úlohy skladania blokov v dvoch rôznych prostrediach: vo fyzickej realite a vo virtuálnej realite. Každý z dvojice mal iný pohľad na rovnakú cieľovú konfiguráciu, čo si vyžadovalo komunikáciu a spoluprácu. Cieľom bolo porovnať vplyv prostredia na vnímanú náročnosť, pričom NASA-TLX [50] hodnotil oblasti ako mentálnu a fyzickú náročnosť, časový tlak, výkon, úsilie a frustráciu účastníkov. Tento dotazník má svoje využitie aj v iných štúdiách zaoberajúcich sa vplyvom dizajnu scén vo virtuálnej realite na učenie [51], hodnotení mentálnej záťaže chirurgov počas simulovaných laparoskopických zákrokov [52], ako aj pri hodnotení kognitívnej únavy v imerzívnych VR prostrediach simulujúcich každodenné aktivity, ako napríklad virtuálny nákup potravín [53].

Na základe vyššie spomínaných štúdií sme sa rozhodli, že meranie celkovej záťaže používateľov pri používaní Virtuálnych systémov je pre nás kľúčový aspekt a z tohto dôvodu sme sa rozhodli použiť dotazník Raw NASA-TLX [54].

Dotazník pre porovnanie hardvéru

V tejto časti sa hodnotí hardvér samotný, keďže kvalitný hardvér takisto prispieva ku celkovej kvalite používateľského zážitku. Pre špecifické potreby bol vytvorený nový dotazník, ktorého úlohou bolo poznamenať základné informácie o pohodlí nosenia helmy ako aj porovnanie kvality konkrétnych zariadení. V tejto práci respondenti pracovali s tromi rôznymi headsetmi:

- Oculus Quest 1
- Meta Quest 2
- Meta Quest 3s

Každý z týchto headsetov má svoje špecifické vlastnosti, ktoré môžu ovplyvniť celkový zážitok. Pre zhodnotenie týchto aspektov boli používatelia vyzvaní vyplniť náš špecifický, novo vytvorený dotazník, kde sa mohli vyjadriť ku headsetu ako takému.

Dotazník pozostával z deviatich otázok, ktoré sa zameriavali na rôzne aspekty headsetu, ako sú:

- Pohodlie nosenia
- Kvalita obrazu
- Kvalita zvuku
- Možnosti ovládania
- Preferencia headsetu

Na konci dotazníka sa nachádzala otvorená otázka, kde mohli respondenti uviesť svoje názory a postrehy k jednotlivým headsetom.

Tento dotazník je použitý iba v Prvej etape testovania, viac v kapitole 5, aby sme na základe výsledkov z tohto dotazníka mohli zvoliť optimálny headset pre testovanie v Druhej etape.

VRSQ

Dôležitým aspektom, ktorého vyhodnotenie je pre nás kľúčové, je pocit nevoľnosti alebo iných fyziologických problémov, ktoré môžu respondenti počas testovania pociťovať. Na tento účel sme sa rozhodli použiť dotazník VRSQ (Virtual Reality Sickness Questionnaire) [55], ktorý je špecificky navrhnutý na hodnotenie nevoľnosti vo virtuálnej realite. Tento dotazník bol vyvinutý s cieľom poskytnúť presné a spoľahlivé meranie symptómov nevoľnosti, ktoré môžu vzniknúť pri používaní VR systémov [56]. Tento dotazník sa skladá z 9 otázok, ktoré sú rozdelené do dvoch dimenzií:

1. **Disorientácia** - tieto symptómy môžu naznačovať stratu rovnováhy, problémy s orientáciou alebo kognitívne preťaženie spôsobené náročnosťou spracovania VR podnetov, patrí medzi ne napríklad bolesti hlavy, rozmazané videnie či Vertigo.
2. **Okulomotorické symptómy** - tieto symptómy často súvisia s namáhaním očí, nesúlalom medzi vizuálnymi podnetmi a vestibulárnym systémom a môžu sa vyskytnúť už po krátkom čase strávenom vo VR. Patrí medzi ne napríklad únava, námaha očí či všeobecný diskomfort.

Tento spôsob je subjektívnym meraním nevoľnosti používateľov, ktorého výsledok je potrebné brať do úvahy pri hodnotení celkového zážitku používateľov. Mimo toho je pocit nevoľnosti doplnený o objektívne hodnotenia, ktoré vyplývajú z gestikulácie používateľov, ako aj z videozáznamov, kde je možné pozorovať momenty, kedy začnú respondenti pociťovať nevoľnosti, ako napríklad zvýšená

intenzita dýchania alebo minimalizácia nepotrebných pohybov v rámci scény počas testovania. Tento dotazník sme zahrnuli do testovania v Druhej epape.

Otvorený dotazník

Z dôvodu umožnenia respondentom vyjadriť sa k testovaniu a ich pocitom sme skúsili použiť ďalší dotazník, ktorého úlohou bolo doviesť účastníkov k zamysleniu sa nad ich skúsenosťou so systémom a prípadne získať od nich slovné vyjadrenia a názory na systém. Tento dotazník nebol povinný pre respondentov, keďže už bez neho boli respondenti vystavení príliš veľa otázkam a dotazníkom. Tento dotazník pozostával z jedenástich otázok, ktoré sa zameriavali na celkový zážitok a dojem zo systému. V tomto dotazníku sa mohli používatelia voľne a anonymizovane vyjadriť v rozvinutých vetách.

Keďže dotazník bol nepovinný a vyžadoval respondentov písať dlhšie odpovede a hlbšie sa zamýšľať nad systémom, bolo jeho vyplňovanie pre ľudí maximálne zaťažujúce a nepríjemné. Preto sme sa rozhodli tento dotazník v Druhej etape nepoužiť a odpovede na jeho otázky sme sa snažili získať počas voľnej konverzácie s respondentmi. Nie každý respondent mal chuť, čas či energiu sa ku systému vyjadrovať, preto ak sa respondenti rozhodli s nami zdieľať svoje pocity do hĺbky, boli tieto odpovede zaevidované.

4.2 Použitý softvér

Voľba softvéru, ktorý by nám poskytol dostatočné informácie o používateľoch a ich správaní vo virtuálnom prostredí bola kľúčová. Takisto sme boli rúzne limitovaní výberom a množstvom výberu softvérov z dôvodu časovej náročnosti a komplexnosti pôsobenia vo virtuálnom prostredí. Naším cieľom bolo priblížiť používateľom pocit používania virtuálnych systémov čo najbližšie a zoznámiť ich s čo najviac funkcionalitami a možnosťami, ktoré virtuálna realita ponúka.

4.2.1 Meta Horizon Home

Väčšinou pri provotnom použití helmy je používateľ vystavený natívnemu virtuálnemu prostrediu, nazývanému Meta Horizon Home (ďalej len MHH), ktoré slúži ako hlavné menu a východiskový bod pre interakciu s VR aplikáciami na použitých zariadeniach. Z toho dôvodu sme sa rozhodli použiť MHH ako predmet prvého testovacieho scenára. Toto prostredie je dobre optimalizované, používatelia si dokážu obzrieť pestré okolie, pozrieť sa na seba do zrkadla ako aj vyskúšať

možnosť sledovania rúk (z angl. hand tracking). Toto prostredie poskytne používateľom kvalitný prvý dojem, umožní im oboznámiť sa s jeho fungovaním a zároveň slúži ako referenčný bod pre porovnávanie rôznych softvérov.

4.2.2 L-NeRVEn

L-NeRVEn je softvérový systém, ktorý využíva virtuálnu realitu (VR) ako experimentálnu metódu na podporu neurorehabilitácie pacientov, ktorí po mozgovej príhode stratili schopnosť ovládať hornú končatinu. Prvýkrát bol predstavený v práci [57].

Názov L-NeRVEn pozostáva z dvoch častí: “L”, ktorá odkazuje na laboratórium LIRKIS, a “NeRVEn”, čo je skratka pre NEuroRehabilitation in Virtual Environment.

Systém spája kolaboratívne virtuálne prostredie, postavené na hernom engine Unity, s rozhraním mozog–počítač na báze elektroencefalografie (EEG). Tento systém ponúka virtuálne prostredie (VE), v ktorom pacient pod dohľadom terapeuta absolvuje terapeutické sedenia.

Pacient a terapeut sa nachádzajú v spoločnej virtuálnej miestnosti, ktorú vnímajú z pohľadu prvej osoby, pričom ich reprezentujú plne animované avatary.

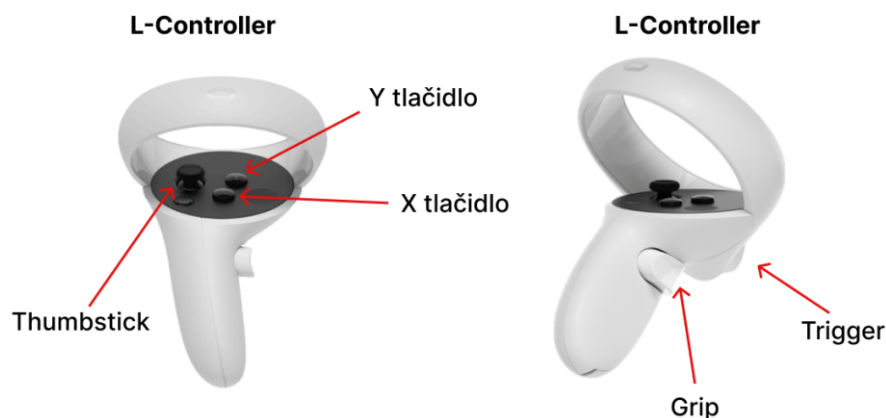
L-NeRVEn využíva aktívnu motorickú imagináciu (MI) – metódu, pri ktorej pacient mentálne vykonáva pohyb postihnutou rukou. Úspešnosť tejto úlohy sa vyhodnocuje analýzou EEG signálov, pričom postup klasifikácie je podrobne popísaný v [58]. Ak pacient správne vykoná imagináciu pohybu, systém ho odmení spustením animácie pohybu postihnutej ruky vo virtuálnom prostredí. Táto animácia je prispôsobiteľná tak, aby odrážala zamýšľaný pohyb.

4.3 Použitý hardvér

Cieľom tejto práce je meranie používateľskej skúsenosti vo virtuálnom prostredí, ktorého neodmysliteľnou súčasťou sú samotné VR headsety. Preto sme sa rozhodli, že súčasťou týchto meraní a pozorovaní bude aj analýza použitého hardvéru. V priebehu testovania budú používatelia vystavení trom rôznym verziám helmy Oculus/Meta Quest. Používatelia budú mať príležitosť si vyskúšať všetky tri helmy a v každej z nich absolvovať niektoré časti testovacích scenárov. Obrázok 4.1 zobrazuje rozloženie tlačidiel na ovládačoch pre helmy Quest. Tieto ovládače sú dôležitou súčasťou používateľskej skúsenosti, pretože umožňujú interakciu s virtuálnym prostredím a ovládanie aplikácií. Rozloženie tlačidiel je navrhnuté

tak, aby bolo intuitívne a pohodlné pre používateľov, čo prispieva k celkovému zážitku z virtuálnej reality.

Oculus Controller Controls



Obr. 4.1: Rozloženie tlačidiel pre helmy Quest [59]

4.3.1 Oculus Quest 1

Najstaršou variantou heliem serie Quest je helma Oculus Quest 1 [60]. Výkonnostné vlastnosti tejto helmy sú najslabšie z celého radu, no napriek tomu je stále schopná poskytnúť kvalitný zážitok z virtuálnej reality. Táto helma je najlacnejšia z celého radu a je vhodná pre tých, ktorí chcú vyskúšať VR bez veľkých investícií. Mnoho funkcionalít, ako je napríklad hand tracking, nie je v tejto helme prítomných, no napriek tomu sme sa rozhodli zahrnúť túto helmu do testovania, vďaka jej odlišným fyzickým vlastnostiam, ktorými je napríklad úprava šírky obrazoviek medzi očami, ktorá môže mať vplyv na celkový zážitok z VR, alebo spôsob uchytávania helmy na hlave.

Je dôležité poznamenať, že táto helma nepodporuje aplikáciu L-NeRVEn, popísanú v kapitole 4.2.2, teda môže byť využitá iba na testovanie testovacieho scenára číslo 1, popísaného v kapitole 4.4.1.

4.3.2 Meta Quest 2

Primárnou helmou pre vykonávanie testovania je helma Meta Quest 2 [61], keďže prvotný vznik aplikácie L-NeRVEn bol prispôbený pre schopnosti tejto helmy. Oproti Oculus Quest 1 je táto helma výkonnejšia a ponúka podstatne viac funkcionalít, ako je napríklad ovládanie pomocou snímania rúk. Preto sme sa rozhodli

použiť túto helmu ako primárnu najmä v prvej etape. Prvá skúsenosť používateľov s VR bude teda prebiehať práve v tejto helme. Keďže je táto helma uprostred modelového radu, môžeme respondentom ponúknuť porovnanie so starším aj novším, výkonnejším modelom.

4.3.3 Meta Quest 3s

V druhej etape sme sa rozhodli pracovať s helmou Meta Quest 3s. Táto helma je najvýkonnejšia z našej rady heliem, čo predstavuje plynulejší a ostrejší obraz a farebné premietanie okolitého priestoru v móde "SeeThrough", vďaka čomu by mala poskytnúť najlepší používateľský zážitok.

Výsledky provnania týchto headsetov sú popísané v kapitole 6.3.4, kde sa zameriavame na porovnanie jednotlivých headsetov a ich vplyv na celkový zážitok používateľov.

4.4 Testovacie scenáre

Tvorba testovacích scenárov bola inšpirovaná štúdiami [62], [63], [64], [65] kde sme sa snažili priblížiť používateľom čo najlepšie používanie spomínaných VR heliem a orientácie v nich. Návrhy testovacích scenárov boli vyvíjane a mierne upravovane v priebehu testovania, preto sme sa rozhodli rozdeliť testovanie na Prvú a Druhú etapu.

V Prvej etape testovania sme pracovali s osemnástimi respondentmi, kde prevažna väčšina boli technicky zdatnejší a mali aspoň minimálne skúsenosti s virtuálnymi systémami alebo spôsobmi testovania softvéru. V tejto etape sme pri tvorbe scenárov brali do úvahy fakt, že používateľ nemusí mať žiadne skúsenosti s používaním VR heliem a preto sme navrhli testovacie scenáre tak, aby sme ich vedeli aplikovať od úplne prvého momentu, kedy si používateľ nasadí helmu na hlavu. Tento zámer bol dôležitý, keďže predpokladáme, že aplikácia bude v budúcnosti nasadená nielen v nemocničnom prostredí, ale aj ako bežný spôsob rehabilitácie v pohodlí domova. Z toho dôvodu je potrebné zistiť, ako si používateľ dokáže prostredie nastaviť sám. Preto bol prvý testovací scenár postavený na základnej orientácii v prostredí Meta Horizon Home, ktoré slúži ako hlavné menu a východiskový bod pre interakciu s VR aplikáciami na použitých zariadeniach. Pri testovacích scenároch je spolu s používateľmi prítomný aj testovací asistent, ktorý sprevádza používateľa virtuálnym prostredím, zadáva mu úlohy, zapisuje poznatky a pripomienky používateľa, dozerá na bezpečnosť respondenta a aby

testy prebiehali s minimálnymi ťažkosťami.

V druhej etape testovania sme venovali väčšiu pozornosť testovaniu rehabilitčných cvičení, ktoré sú dominantnou úlohou systému, kde sme otestovali dokopy ďalších 36 respondentov. Keďže prvotný spôsob použitia je v nemocničnom prostredí, kde sa fyzicky nachádza ako pacient tak aj terapeut a teda pacient nie je nútený si prostredie nastavovať sám, túto činnosť uskutoční terapeut.

Takisto je dôležité poznamenať, že pri hodnotení použiteľnosti aplikácie sme sa rozhodli inšpirovať sa nie len tradičnými Nielsenovými heuristikami [4], ale aj metodológiou PROMETHEUS [66], ktorá umožňuje vývoj heuristík špecificky prispôbených pre nové technologické domény ako virtuálna realita. Táto metodológia nám umožnila získať presnejšie výsledky hodnotenia použiteľnosti prispôbené nášmu špecifickému kontextu.

Testovacie scenáre číslo 2 až 5 sú venované testovaniu aplikácie L-NeRVEn, kde sme sa zamerali na testovanie UI a UX aplikácie. Tieto scenáre boli zamerané na testovanie aplikácie z pohľadu používateľa, ktorý sa snaží zorientovať v aplikácii a zároveň sa snaží vykonávať úlohy, ktoré mu boli zadane. Zameranie testovacích scenárov je rozdelené na základné aspekty používania aplikácie, ako je navigácia, interakcia s objektmi, či zmeny základných nastavení v menu. Špecifické rozdelenie je nasledovné:

- **Testovací scenár 1** - Pôsobenie v prostredí Meta Horizon Home
- **Testovací scenár 2** - Pohyb a orientácia v priestore
- **Testovací scenár 3** - Interakcia s objektmi
- **Testovací scenár 4** - Navigácia v menu aplikácie
- **Testovací scenár 5** - Spolupráca pacienta s terapeutom v kolaboratívnom prostredí

4.4.1 Testovacie scenáre pre prvú etapu

Úlohou týchto scenárov je zistiť ako jednoducho a ako dlho dokážu používatelia pracovať vo virtuálnom prostredí, ako sa orientujú v aplikácii a ako rýchlo sa dokážu naučiť základné funkcie aplikácie. Tieto scenáre sú zároveň zamerané na zistenie, či je aplikácia intuitívna a či je schopná poskytnúť dostatočné informácie používateľovi, aby mohol úspešne vykonávať úlohy, ktoré mu boli zadane. Výsledky týchto testov nám umožnia zistiť potenciálne vylepšenia softvéru, odhalia nám, ktoré helmy používateľa preferujú a zároveň nám poskytnú informácie o

tom, ako sa používatelia cítia vo virtuálnom prostredí a či je pre nich používanie VR heliem príjemným zážitkom. Takisto sa pokúsime nájsť rôzne spojitosti medzi vývpovedami používateľov, ako napríklad či je starší používateľ viac frustrovaný z používania VR helmy ako mladší používateľ alebo či by sme dokázali predpovedať, že daný používateľ bude s vysokou pravdepodobnosťou pociťovať silnú nevoľnosť, alebo iné nepríjemné pocity pri používaní VR helmy.

Testovací scenár 1

Prvý scenár, využívaný v prvej etape testovania, je zameraný na prvotnú orientáciu používateľa v prostredí Meta Horizon Home. V tomto scenári sa používatelia dostanú do prvého styku s virtuálnou realitou a majú možnosť si vytvoriť svoj prvý dojem z prostredia. V tomto scenári si pozorne prezrú responzivitu avatara ku ich fyzickému pohybu, vyskúšajú si hand-tracking, motoriku prstov a základnú manipuláciu s menu. Týmto získajú svoju prvú skúsenosť, ktorú môžu následne použiť pre porovnanie skúseností získaných z aplikácie L-NeRVEn. Úlohy pre splnenie scenára sú nasledovné:

1. Lokalizácia zrkadla
2. Pozorovanie pohybu avatara
3. Pozorovanie pohybu ruky a prstov
4. Oboznámenie sa s hranicou priestoru
5. Teleportácia po priestore
6. Spustenie nahrávania obrazovky
7. Spustenie aplikácie L-NeRVEn

Ukončením tohto scenára je spustená aplikácia L-NeRVEn, ktorá je primárne určená na testovanie spolu s nahrávaním obrazovky.

Testovací scenár 2 - Pohyb a orientácia v priestore

Testovací scenár je zameraný na základné pohyby a orientáciu v priestore. Príprava testovacieho scenára je inšpirovaná prácou [63], kde sa autori zamerali na porovnanie rôznych 3D interakčných techník (chôdza, teleportácia, uchopenie) v imerzívnom prostredí na základe adaptovaného Corsiho testu priestorovej pracovnej pamäte. Účastníci sledovali a následne reprodukovali sekvenciu dátových bodov v 3D scatter plote, čo umožnilo vyhodnotiť efektivitu techník interakcie

na užívateľský zážitok a pamäťový výkon. Testovacie ciele su zadefinované následovne:

1. Lokalizácia predmetov v scéne
 - (a) Lokalizácia dverí
 - (b) Lokalizácia poličiek a predmetov položených na nich
 - (c) Lokalizácia okna
 - (d) Obzervovanie vlastného avatara
2. Plynulá lokomócia v priestore
3. Rotácia okolo svojej osi
4. Teleportácia v priestore
5. Zapnutie zrkadla
6. Pozorovanie odrazu avatara v zrkadle
7. Premiestnenie ku otvorenej krabici umiestnenej na zemi v priestore

Spôsoby testovania sú navrhnuté tak, aby boli pre používateľa čo najjednoduchšie a zároveň aby pre nás poskytl čo najkvalitnejšie odpovede. Pri návrhu sme sa takisto silno inšpirovali zverejneným na stránke ZAPTEST [67], kde autor navrhuje odporúčané spôsoby testovania aplikácií.

Prvým a najzákladnejším testovacím scenárom v priestore je jeho pôsobenie na používateľa. Každý používateľ sa musí v prvom rade okolo seba obzrieť a zorientovať sa v priestore. V prípade, že to používateľ nespraví sám od seba, tak je vyzvaný testovacím asistentom vykonať prvú úlohu, ktorou je lokalizácia predmetov v scéne. Týmto spôsobom je používateľ nútený sa obzrieť okolo seba, aby dokázal dané predmety identifikovať a lokalizovať, keďže sa nachádzajú priamo za používateľom. Jednoduchosť tejto prvej úlohy takisto uspokojí používateľa s jeho úspešným ukončením prvej úlohy. Týmto spôsobom sa snažíme zmierniť stres a úzkosť, ktorú môže používateľ pociťovať pri prvom kontakte s virtuálnym prostredím. Po tom, ako sa používateľ v priestore zorientuje, pristupujeme ku ďalšej časti, ktorou je pohyb po priestore. V aplikácií L-NeRVEn existujú dva typy pohybu: Plynulý pohyb (plynulá lokomócia) a teleport. Používateľ je oboznámený s ovládaním a jeho druhou úlohou je skúsiť sa pohnúť v scéne smerom na všetky štyri svetové strany, pomocou voľného pohybu. Tento test je realisticky najnáročnejší, z tohto dôvodu je testovaný medzi prvými úlohami, keď používateľ má ešte

silu v prostredí pôsobiť. V zápätí, ako si používateľ vyskúša lineárny pohyb priestorom, je vyzvaný na vykonanie pohybu rotácie okolo svojej osi. Tento pohyb je takisto veľmi namáhavý pre mozog, preto je takisto testovaný na začiatku scenára.

V tomto bode je veľmi dôležité sa uistiť, že používatelia nepociťujú silné nevoľnosti a vydržia pokračovať v testovaní. V ďalšom kroku zoznámime používateľa s druhým spôsobom pohybu v priestore - teleportácia. Tento spôsob je menej náročný pre mozog, keďže premiestnenie na druhé miesto je takmer okamžité a mozog nemusí spracovávať nesúlad vnemov, ktoré sú vysvetlené v kapitole 3.1. Používatelia jednoducho namieria rukou na zem a po stlačení tlačidla "Grip button" sa v okamihu premiestnia na zvolenú lokáciu v scéne.

V tomto bode je používateľ dostatočne oboznámený so spôsobmi pohybu a môže si ich sám vyskúšať. Používateľ dokáže sám usúdiť, ktorý z daných spôsobov mu vyhovuje viac, no aby sme to mohli potvrdiť, je potrebné aby používateľ vykonal pohyb podvedome. Preto je používateľ rozptýlený mierne odlišnou úlohou, ktorou je zapnutie zrkadla. V tomto momente si používateľ vyskúša stláčanie tlačidiel pomocou "Trigger button". Po stlačení tlačidla sa na stene zobrazí zrkadlo, v ktorom môže používateľ pozorovať odraz svojho vlastného avatara. Používateľ je vyzvaný vykonať rôzne polohy, pohyby a komentovať pocity, ktoré sú v ňom vyvolávané. Hlavným cieľom je usúdiť realistickosť správania avatara, správnosť kopírovania pohybu rúk používateľa, prirodzenosť postoja avatara (postoj v drepe alebo na špičkách nôh) alebo správnosť umiestnenia hlavy avatara. V tomto momente je používateľ dostatočne sústredený na pozorovanie avatara, aby sme mohli vykonať poslednú časť tohto scenára, ktorou je pohyb ku otvorenej krabici na zemi. Upozorníme používateľa, že v krabici sa nachádzajú predmety a jeho úlohou je ich nájsť a slovne popísať, aké predmety vidí. Na to, aby dokázal túto úlohu splniť, je nútený sa v priestore pohnúť, aby sa dokázal pozrieť z vrchnej časti krabice dovnútra. V tomto momente bez upozornenia používateľa na to, akým spôsobom sa bude hýbať, sledujeme, ktorý spôsob si podvedome zvolí. Týmto vieme potvrdiť alebo vyvrátiť jeho tvrdenie o preferenciách pohybu, ktoré sám zhodnotil na začiatku testovania tohto scenára. Touto úlohou takisto plynule prenikáme do ďalšieho testovacieho scenára, ktorý je zameraný na interakciu s objektmi.

Testovací scenár 3 - Interakcia s objektmi

Tento scenár je zameraný na základné interakcie s objektmi v prostredí. Tento scenár bol inšpirovaný prácami [63], [64], ktoré sú zamerané na pôsobenie používateľa v priestore a teda aj jeho interakcie s predmetmi. Testovacie ciele su

zadefinované následovne:

1. Lokalizácia predmetov v krabici
2. Úchop predmetu laserom
3. Vytiahnutie predmetov z krabice do priestoru
4. Uchop predmetu rukou
5. Prechytenie predmetov z ruky do ruky
6. Hod predmetom
7. Položenie predmetov na poličku
8. Manipulácia s dvoma predmetmi naraz

Scenár je navrhnutý tak, aby otestoval rôzne možnosti manipulácie s predmetmi. Rovako ako v predošlom scenári sú jednotlivé testy navrhnuté podľa odporúčaní na stránke ZAPTEST [67]. V krabici sa nachádza niekoľko predmetov, s ktorými je možné interagovať. V druhom kroku, hneď po tom, ako respondent tieto predmety lokalizoval, je jeho úlohou vybrať minimálne tri z nich von z krabice a umiestniť ich vedľa nej na zem. Voľba predmetov je na respondentovi. Výber predmetu musí byť vykonaný pomocou laserového ukazovateľa, ktorý je vždy v aplikácii prítomný, aby používateľ vedel, kam mieri. V momente, keď sú predmety na zemi, je používateľ vyzvaný vybrať si jeden z nich a uchopiť ho rukou. Medzi úlohami dávame používateľovi dostatok času, aby sa mohol s manipuláciou lepšie zoznámiť.

Následne pristupujeme ku mierne komplexnejšej úlohe, ktorou je prechytávanie predmetu z ruky do ruky. Táto manipulácia je náročnejšia na vykonanie, keďže motorika rúk nie úplne sedí s motorikou vo virtuálnom svete. Prechytenie z ruky do ruky je však stále relatívne jednoduché ako prehodenie predmetu medzi laserovými ukazovateľmi. Tam si môže používateľ vyskúšať nie len svoju motoriku a presnosť, ale najmä reflexy, keďže prehodenie znamená upustenie predmetu vo väčšej vzdialenosti ako je dĺžka ruky a opätovné zachytenie predmetu počas jeho trajektórie letu, čo vyžaduje presné namierenie laserového ukazovateľa na predmet v pohybe a stlačenie tlačidla "Button Trigger".

V ďalšom kroku vyzývame respondenta aby sa pokúsil predmet hodiť do priestoru. Týmto spôsobom chceme vidieť, do akej miery je používateľ ponorený

do virtuálneho sveta a uvedomuje si, že drží fyzický ovládač a nie predmet samotný. Ovládače sú zaistené o ruky respondenta, takže v prípade upustenia sa ovládač zachytí na ruke aby sme predišli poškodeniu.

Ďalším testom je pokus o uloženie predmetu na policu na stene. Respondent je nútený uchopiť predmet spôsobom, ktorý mu je podvedome najprirodzenejší a pokúsiť sa s ním pohnúť ku polici. Pohyb s predmetom v ruke je niečo, čo nemusí byť respondentovi prirodzené kvôli rozdielnej fyzike virtuálneho sveta. Týmto spôsobom sa snažíme zistiť, ako respondenti reagujú na tento rozdiel a ako sa s ním dokážu vyrovnávať. Poslednou úlohou je manipulácia s dvoma predmetmi naraz. Respondent je vyzvaný zvoliť si dva predmety, uchopiť ich do rúk a skúsiť zopakovať kroky 6 a 7. V momente, kedy si respondent vyskúšal splniť každú z predošlých úloh, považujeme tento scenár za uzatvorený a pokračujeme na scenár venovaný navigácii v menu aplikácie.

Testovací scenár 4 - Navigácia v menu aplikácie

Ďalší scenár je zameraný na prácu s menu aplikácie. V tomto scenáre majú používatelia časové obmedzenie, aby sme dokázali určiť, ako dlho trvá jednotlivcom vykonať zmeny základných nastavení. Týmto dokážeme určiť, ako je aplikácia intuitívna a ako na orientáciu v nej reagujú respondenti. Na základe poznatkov získaných z [4] a [66] sme testovací scenár navrhli takto:

1. Zmena jazyka aplikácie
2. Zmena avatara
3. Zapnutie hudby
4. Úprava jasů
5. Úprava mierky vykresľovania
 - (a) Nastavenie mierky vykresľovania na minimálnu hodnotu
 - (b) Nastavenie mierky vykresľovania na maximálnu hodnotu
6. Zmena zameriavacieho kruhu
7. Práca so servermi
 - (a) Zmena IP adresy servera
 - (b) Odstránenie IP adres serverov
 - (c) Pridanie novej IP adresy servera

8. Voľba miestnosti Dev Test 4

9. Pripojenie sa na server s rolou pacienta

Testovanie menu má za úlohu pokryť vo všeobecnosti takmer všetky možnosti, ktoré aplikácia ponúka. Používateľ je oboznámený s časovým limitom a je vyzvaný, aby venoval nasledujúcim testom najviac pozornosti. Dôvod, prečo hlavné menu je testované neskôr je ten, aby používateľ nebol konštantne rozptyľovaný okolitým prostredím a aby mal príležitosť sa aklimatizovať. Navyše mentálne úsilie už nie je úplne stopercentné, teda vieme získať lepšie výsledky, keďže aj pri pocite jemného vysílenia by mal byť používateľ schopný dané úlohy splniť. Cieľom je, aby používateľ bol nútený sa preklikávať v menu aplikácie a snažil sa zmeniť žiadané nastavenia. V tomto prípade nám je nesmierne nápomocný videozáznam z prvej osoby, v ktorom vieme značne ukázať a identifikovať momenty, kedy používateľ zaregistroval hľadaný objekt, či zmenil cieľové nastavenie. Týmto spôsobom dokážeme získať najpresnejšie časové informácie, pretože úprava softvéru, ktorý by sám evidoval moment, kedy používateľ interaguje s daným nastavením je náchylné na zbytočné nedorozumenia a nepresnosti a rovnako tak spoliehať sa na výpoveď respondenta, kde by mal slovne upozorniť testovacieho asistenta je takisto nepresné. Z tohto dôvodu budeme vychádzať z časov, ktoré získame po podrobnej analýze videozáznamov jednotlivých respondentov. Týmto spôsobom vyvíjame na respondentov mierny nátlak a nútime ich sebavedome narábať s aplikáciou s jednoznačným cieľom - vykonať zmenu v požadovanom nastavení a pozorovať, ako sa softvér zachová. Používatelia majú po splnení jednotlivých testov krátku prestávku na oddych, aby sme v nich nevyvolali zbytočne vysoký stres a úzkosť.

Ďalšou otázkou, na ktorú by nam tento scenár mal poskytnúť odpoveď, je ako rôzne skupiny ľudí vnímajú rozloženie používateľského rozhrania aplikácie. Budeme si všímať rozdiely medzi ženami a mužmi, medzi staršími a mladšími používateľmi ako aj medzi technicky zdatnejšími a slabšími jedincami. Týmto spôsobom budeme schopní určiť najoptimálnejšie rozloženie nastavení, tvary a farby jednotlivých objektov či samotnú interakciu s nimi, aby sme zabezpečili čo najlepší používateľský zážitok. Posledný krok tohto scenára je spojovací bod medzi týmto a nasledujúcim scenárom.

Testovací scénár 5 - Spolupráca pacienta s terapeutom v kolaboratívnom prostredí

V poslednom kroku testovania sa zameráme na online časť aplikácie, kde sa bude respondent nachádzať v kolaboratívnom prostredí spolu s testovacím asistentom. Táto časť je hlavnou doménou aplikácie L-NeRVEn, kde sa pacient stretne s terapeutom a spoločne absolvujú terapeutické sedenia [57]. Z tohto dôvodu je pre nás dôležité uskutočniť testovanie zamerané na prácu v kolaboratívnom prostredí a zhodnotiť ako používatelia vnímajú prácu s iným používateľom v rámci jednej scény. Testovacie ciele su zadefinované nasledovne:

1. Orientácia v novom priestore
 - (a) Lokalizácia terapeuta
 - i. Kontrola pozície terapeuta v rámci scény
 - ii. Kontrola motoriky a pohybu terapeuta v scéne
 - iii. Menovanie predmetov, na ktoré terapeut ukáže
 - (b) Lokalizácia stola s predmetmi
2. Skúška intenzity reproduktorov na helme
3. Skúška intenzity mikrofónu na helme

V posledom scenáre je našou úlohou spolupracovať spolu s respondentom a podieľať sa na jeho celkovom zážitku. V tomto kroku vieme určiť, ako respondenti reagujú na interakciu s reálnym človekom, ktorý je spolu s nimi vo virtuálnom priestore. Zistíme, či respondenti vedia plniť úlohy, ktoré sú im zadávané od testovacieho asistenta, ktorý sa v tomto momente bude nachádzať v inej miestnosti, aby sme zabezpečili komunikáciu pomocou tzv. voice chatu. Respondenti budú stále počuť, čo im testovací asistent hovorí, no budú to počuť z reproduktorov helmy. Na druhú stranu v tomto scenáre môžu testovacieho asistenta vidieť v scéne, tým pádom by mali mať pocit, že nie sú sami. Testovací asistent sa avšak musí spoľahnúť na to, že sú v tomto bode už jednotliví respondenti dostatočne skúsení s používaním VR heliem a sú schopní sa sami o seba postarať. Mali by mať dostatočné informácie o tom, ako zistiť, či sa nachádzajú v bezpečnom priestore v rámci reálneho sveta a v prípade, ak sa dostanú na hranicu, tak vedia identifikovať, že sa musia v reálnom svete fyzicky vzdialiť od hranice, aby sa predišlo kolíziám v reálnom svete. Takisto je dôležité určiť, že používatelia sa stále cítia dostatočne schopní na vykonanie posledného testu a že im v poslednej

chvíli nepríde nevoľno alebo nestratia rovnováhu. Kvôli nepredvídateľnej vlastnosti ľudskej psychiky a takisto z dôvodu presnejšieho zážitku z testovania sme boli nútení v tejto časti usadiť respondentov v reálnom svete na stoličku a prisunúť ich k stolu. V tomto bode terapeut vo virtuálnom svete usadí pacienta takisto ku stolu, aby ich skúsenosť z virtuálneho sveta odpovedala virtuálnej situácii.

Keďže aplikácia L-NeRVEn je navrhovaná pre pacientov s postihnutím horných končatín a straty možnosti hýbať danými končatinami v reálnom svete, sme nútení odobrať respondentovi jeden ovládač, aby sme dokázali simulovať postihnutú končatinu. Softvér je navrhnutý tak, že pacienti majú k dispozícii iba jeden ovládač a avatar ma nehybnú ruku priloženú v prirodzenej polohe ku telu. V momente, kedy sa pacient priblíži ku stolu, avatar automaticky ruku položí na stôl. Z tohto dôvodu informujeme respondenta, aby ruku nechal nehybne na stole a nemanipuloval ňou. V tomto momente má respondent skutočne pocit, že sedí pri stole a pred ním sa nachádza predmet.

Tu je dôležité spomenúť, že pohyb, ktorý respondent vidí vo virtuálnom svete je iba animácia a nie je kopírovanie skutočného pohybu ich rukou. Je potrebné zdôrazniť, že skutoční pacienti danú končatinu nemajú alebo ňou nevedia hýbať. Z tohto dôvodu je pohyb spôsobený preddefinovanou animáciou. Prvá etapa odhalila mnoho aspektov, ktoré sme zohľadnili pri tvorení scenárov pre druhú etapu.

4.4.2 Testovacie scenáre pre druhú etapu

Prvá etapa slúžila ako odrazový mostík, pomocou ktorého sme si mohli vyskúšať spôsob testovania a naučiť sa, ako lepšie navrhnúť scenáre pre testovanie. Celková dĺžka testovania v prvej etape presahovala jednu hodinu, v niektorých prípadoch testovanie trvalo omnoho dlhšie. Pôsobenie vo virtuálnom prostredí je veľmi namáhavé, obzvlášť ak čas pôsobenia presahuje jednu hodinu. Z tohto dôvodu sme boli nútení tieto scenáre značne skrátiť. Okrem úpravy dĺžky testovania sme sa po analýze výsledkov z prvej etapy a konzultáciách s hlavnými vývojármi aplikácie rozhodli dodatočne poupraviť scenáre, aby boli vhodnejšie pre význam aplikácie L-NeRVEn. Z tohto dôvodu sme boli nútení zachovať individuálny postoj ku tomuto novému súboru testovacích scenárov a preto ich vyhodnotenie je oddelené od prvej etapy. Najpodstatnejšou zmenou oproti prvej etape je testovanie rehabilitačného cvičenia, keďže toto je hlavnou podstatou aplikácie L-NeRVEn. V scenári 3 si respondent vyskúša rolu pacienta, zoznámi sa s cvičením a následne si vyskúša rolu terapeuta, kde bude musieť cvičenie pripraviť a prejsť ním spolu s pacientom. V oboch scenároch plní testovací asistent doplnkovú rolu pre respon-

denta.

Scenáre použité v druhej etape:

1. Testovací scénár 1 - Pohyb a orientácia v priestore
2. Testovací scénár 2 - Navigácia v menu aplikácie
3. Testovací scénár 3 - Rehabilitačné cvičenie - Pacient
4. Testovací scénár 4 - Rehabilitačné cvičenie - Terapeut

Testovací scénár 1 a 3 prvej etapy 4.4.1 boli kompletne odstranené z testovania kvôli ich irrelevantnosti ku významu aplikácie. Scénár 2 prvej etapy ostal nezmenený, no scénár 4 bol podrobený menším úpravám na základe poznatkov z výsledkov prvej etapy. Scénár 5 bol rozšírený a teda kvôli jeho novej podobe bol rozdelený na dva rôzne scénare - Rehabilitačné cvičenie - Pacient a Rehabilitačné cvičenie - Terapeut.

Testovací scénár 1 - Pohyb a orientácia v priestore

Účelom tohto scénára je podobne ako v prvej etape práca s pohybom a orientácia v priestore. Scénár je zadaný takto:

1. Lokalizácia políčiek a predmetov položených na nich
2. Plynulá lokomócia v priestore
3. Rotácia okolo svojej osi
4. Teleportácia v priestore
5. Zapnutie zrkadla
6. Pozorovanie odrazu avatara v zrkadle
7. Premiestnenie sa ku oknu na protiľahlej stene

Tento scénár je najnáročnejší práve kvôli nezvyku jednotlivca na pohyb vo virtuálnom prostredí, čo prvá etapa značne preukázala. Z tohto dôvodu je tento scénár ponechaný na prvom mieste, kedy respondenti majú najviac síl. Takisto tento scénár naučí respondentov pohybovať sa v priestore, čo je kľúčová schopnosť pre ďalšie testovanie.

Testovací scénár 2 - Navigácia v menu aplikácie

Rovnako ako v prvej etape, tento scénár sa zameriava na manipuláciu s menu aplikácie, kde si používateľ môže mierne prispôbiť virtuálne prostredie podľa svojich potrieb. Takisto je každý respondent vyzvaný meniť nastavenia podľa inštrukcií testovacieho asistenta. Spôsob a takisto celkové trvanie plnenia týchto úloh je zaznamenávané videozáznamom a následne podrobené detailnej analýze zosynchronizovaných videozáznamov. Vysoké časy nám naznačia potenciálne problémy spojené s interakciou s menu aplikácie. Na základe týchto poznatkov vieme poskytnúť návrhy pre intuitívnejšie a prirodzenejšie rozhranie. Scénár je navrhnutý následovne:

1. Zmena jazyka aplikácie
2. Zmena avatara
3. Zapnutie hudby
4. Úprava jasů
5. Úprava mierky vykresľovania
 - (a) Nastavenie mierky vykresľovania na minimálnu hodnotu
 - (b) Nastavenie mierky vykresľovania na maximálnu hodnotu
6. Zmena zameriavacieho kruhu
7. Voľba miestnosti Dev Test 4
8. Pripojenie sa na server s rolou pacienta

Testovací scénár 3 - Rehabilitačné cvičenie - Pacient

Tento scénár je zameraný na podstatnú časť tejto etapy - testovanie rehabilitačného cvičenia, kde si respondent vyskúša rolu pacienta, aby mohol následne túto skúsenosť zhodnotiť, no najmä aby bol oboznámený so spôsobom vedenia rehabilitácie, ktorú bude v scénáre 4 viesť ako terapeut. Scénár je zadefinovaný takto:

1. Kontrola hlasitosti reproduktorov
2. Kontrola citlivosti mikrofónu
3. Lokalizácia a pozorovanie pohybu avatara terapeuta
4. Menovanie predmetov, na ktoré terapeut ukáže

5. Pôsobenie za stolom kde sa vykonáva cvičenie

6. Podielanie sa na rehabilitačnom cvičení

(a) Fáza oddychu

(b) Fáza pohybu

Je dôležité poznamenať, že testovanie tohto softvéru nie je stopercentné, keďže ku kompletnému testovaniu nám chýba P-EEG komponent, ktorého úlohou je odchytiť EEG signál z mozgu pacienta, aby sa mohla ako odpoveď spustiť animácia presunu predmetu. Z dôvodu zamerania sa na UI a UX virtuálnych systémov sme považovali prácu s týmto komponentom ako nepotrebnú. V konečnom dôsledku je pre nás dôležité určiť to, či je animácia dostatočne plynulá a používateľ má skutočne pocit, že hýbe virtuálnym predmetom. Testovanie odčítavania signálu z P-EEG komponentu nie je predmetom našej práce. Aby sme dokázali tieto pocity nasimulovať čo najpresnejšie, respondenti niesu informovaní o tom, že sa jedná o simuláciu, ktorú spúšťa testovací asistent. Respondenti sú vyzvaní aby sa maximálne sústredili na vopred zadefinovaný pohyb aby mali dojem, že jeho iniciatívou je respondentovo sústreďenie.

Testovací scenár 4 - Rehabilitačné cvičenie - Terapeut

Najdôležitejším scenárom je rehabilitačné cvičenie v roli terapeuta. Respondenti, oboznámení so spôsobom vykonávania rehabilitácie, sú vyzvaní, aby sa stali terapeutom a viedli toto rehabilitačné cvičenie. V prvej časti sú inštruovaní testovacím asistentom, ktorý zároveň plní úlohu pacienta, aby dokázali pripraviť pacienta do správnej pozície a takisto aby pripravili cvičenie. Následne je ich úlohou sprevádzať pacienta cvičením a správne ho inštruovať, kedy sa má sústreďiť na pohyb, a kedy relaxovať. V momente, kedy celé cvičenie prebehne, testovací asistent vyzve respondentov, aby toto cvičenie zopakovali, no tentokrát bez zásahu testovacieho asistenta. Prvotná asistencia pri vedení cvičenia je nevyhnutná, keďže respondenti nemajú žiadne informácie o postupe a v role pacienta používateľ nevidí činnosti terapeuta, teda nemá predstavu o tom, čo má robiť. Scenár je zadefinovaný takto:

1. Posadenie pacienta ku stolu
2. Zafixovanie aktívnej ruky pacienta
3. Úprava výšky stola

4. Úprava pozície pacienta pri stole
5. Zmena predmetu
6. Odstránenie predošlých pozícií
7. Zaznamenanie štartovacej pozície
8. Zaznamenanie pozície pohybu
9. Prehranie ukážky animácie
10. Spustenie oddychu
11. Spustenie pohybu
12. Zastavenie manuálu

Tento scenár je pre druhú etapu najdôležitejším scenárom, preto v prípade časovej tiesne je preferovaný pred ostatnými scenármi. Rovnako je tento scenár najkomplexnejší pre porozumenie, teda v prípade, že testovací asistent usúdil, že respondenti nie sú dostatočne zdatní na vykonanie tohto testu, je tento test vynechaný, najmä v prípade respondentov starších ako 60 rokov.

5 Testovanie v praxi

Praktické testovanie bolo spustené v momente, kedy boli helmy pripravené, softvér nainštalovaný a prvotné verzie testov navrhnuté. Testovanie v prvej etape nám pomohlo odhaliť rôzne problémy a vyladiť scenáre pre lepšie a presnejšie meranie v druhej etape.

5.1 Príprava na testovanie

V prvom kroku sa respondent a testovací asistent stretnú a asistent oboznámi respondenta o spôsobe testovania. Vysvetlí základy fungovania vo virtuálnej realite, vysvetlí princíp softvéru s ktorým bude respondent pracovať a predovšetkým upozorní respondenta, že v prípade akéhokoľvek problému, nevoľností, bolesti či závratí si má respondent okamžite zložiť helmu z hlavy a pohodlne sa usadiť, aby sa predišlo zraneniam. Respondent je oboznámený s fyzickými ovládačmi, aby mal prehľad o rozhraní ovládača. Ovládače budú viditeľné aj počas práce vo virtuálnom prostredí, takže rozloženie tlačidiel si respondent nemusí memorizovať. Respondent je oboznámený s časovým obmedzením testu, čo je jedna hodina. Respondent je upozornený že aby sa zachovala integrita testovania, bude sa riadiť pokynmi testovacieho asistenta a bude počas svojho pôsobenia vo virtuálnom svete svoje dojmy komentovať a popisovať. Následne je respondent upozornený že kvôli zvýšeniu kvality testovania bude jeho pôsobenie zaznamenávané videozáznamom z prvej osoby vo virtuálnom svete a takisto nahrávané z tretej osoby v reálnom svete. Identita respondenta je kvôli GDPR vycenzúrovaná. Následne je respondentovi podložené písomné vyhlásenie o súhlase so spracovaním osobných údajov na účely testovania a vývoja softvéru a takisto o udelení súhlasu vytvárať cenzúrovaný videozáznam respondenta. Po udelenom súhlase pristúpime k vyzbieraniu základných informácií a následne k samotnému testovaniu.

5.2 Zbieranie a analýza dát

V tejto sekcii si detailnejšie vysvetlíme ako boli dáta zaznamenávané a ako boli následne spracované.

5.2.1 Základné informácie o respondentoch

Počas testovania je nevyhnutné zbierať čo najväčši objem dát, z ktorých následne pri analýze budeme schopní vyvodiť záver. Po udelenom súhlase testovací asistent zhromaždí základné údaje od respondenta. Tieto údaje sú evidované v tabuľke programu Microsoft Excel a zahŕňajú nasledovné parametre:

- Identifikačné číslo respondenta (ID)
- Vek
- Pohlavie
- Úroveň skúseností s VR
- Zdravotný stav
- Najvyššie dosiahnuté vzdelanie
- Odbor vzdelania
- Použité zariadenia
- Fyzická výška
- Zamestnanie

V tabuľke 5.1 je uvedená ukážka štruktúry zozbieraných údajov. Tieto údaje sú respondenti pôsobiaci v prvej etape. Kompletný zoznam všetkých respondentov z prvej a druhej etapy je dostupný v prílohe B 8.

ID	Vek	Pohl.	Skús.	Zdravotný stav	Vzdel.	Odbor	Zariad.	Výška
T01	25	M	3	x	VS	FEI	Q2	188
T02	20	M	3	x	SS-BG	-	Q2	185
3	19	Z	2	x	SS	-	Q2	183
T04	26	M	4	KZ	VS	FEI	Q2	182
T05	27	Z	4	KZ, Kin	VS	MED	Q2	164
T06	27	M	1	x	VS	TECH	Q2	187
T07	24	M	1	KZ	VS	FEI	Q2	175
T08	19	M	1	Cukrovka	SS	VS	Q2	179
T09	19	Z	2	x	SS	-	Q2	169
T10	25	M	1	x	VS	PSF	Q2	183
T11	24	M	4	x	VS	FEI-INF	Q2	190
T12	23	Z	1	x	SS	AV	Q2	173
T13	23	M	3	x	VS	KB	Q2	183
T14	67	M	2	Operácia očí	VS	SF	Q2	175
T15	19	M	1	x	VS	FF	Q2	189
T16	23	M	1	x	VS	PSY	Q2	184
T17	24	M	4	x	VS	TECH	Q2	179
T18	20	Z	1	x	VS	PF	Q2	167

Tabuľka 5.1: Tabuľka testovaných subjektov so skrátenými názvami prvej etapy

Tabuľka 5.2 nám detailnejšie vysvetľuje skrátené názvy v tabuľke 5.1.

Skratka	Celý názov
VS	Vysokoškolské vzdelanie
SS	Stredoškolské vzdelanie
SS-BG	Stredoškolské - bilingválne gymnázium
FEI	Fakulta elektrotechniky a informatiky
FEI-INF	Fakulta elektrotechniky a informatiky - Informatika
MED	Medicína
TECH	Technický odbor
PSF	Priemyselná strojnica fakulta
AV	Asistent výživy
KB	Kyberbezpečnosť
SF	Strojnícka fakulta
FF	Filozofická fakulta
PSY	Psychológia
PF	Právnická fakulta
Q2	Quest 1 (VR headset)
Q2	Quest 2 (VR headset)
Q3	Quest 3 (VR headset)
KZ	Krátkozrakosť
Kin	Kinetóza

Tabuľka 5.2: Legenda skratiek použitých v tabuľke testovaných subjektov

Zozbierané údaje nám pomôžu lepšie kategorizovať respondentov do skupín pri vyhodnocovaní výsledkov v prípade potreby. Takisto v tomto bode chceme zistiť vhodnosť kandidáta z hľadiska jeho zdravotného stavu, pretože ak zdravotný stav respondenta by mal predstavovať komplikácie, nedovolíme respondentovi zúčastniť sa testovania.

5.2.2 Pozorovanie respondentov pri testovaní

Počas testovania je okrem posledného testovacieho scenára prvej etapy pri testovaní prítomný testovací asistent, ktorého úlohou je okrem usmerňovania a spre-

vádzania respondentov testovacími scenármi takisto aj zaznamenávanie dôležitých informácií, ktoré testovací asistent usúdi, že by mohli priniesť dôležité výsledky. Kvôli lepšej prehľadnosti a zvýšenej jednoduchosti je na dokumentovanie poznatkov použitý softvér s názvom Obsidián, ktorý umožňuje tvorenie kvalitných a štruktúrovaných poznámok. Týmto spôsobom je testovací asistent schopný monitorovať respondentov na základe ich ID, vie si odsledovať, v ktorej etape bol daný respondent prítomný, či bolo potrebné daného respondenta dotestovať z dôvodu akýchkoľvek komplikácií a podobne. Každý respondent má svoj vlastný hárok, v ktorom sú poznamenané všetky poznámky a postrehy testovacieho asistenta. Tieto záznamy sú ďalej zohľadnené pri vyvodzovaní záveru.

5.2.3 Analýza videozáznamov

Každý respondent má svoj videozáznam, ktorý je zaznamenaný z prvej osoby. V prvej etape sa vyskytlo niekoľko respondentov, ktorí neudelili súhlas s nahrávaním videozáznamu z tretej osoby, preto máme iba záznam z prvej osoby. Po dôkladnejšej analýze sme zistili, že hoci záznam z prvej osoby je neodmysliteľnou súčasťou nášho testovania, no záznam z tretej osoby sa takisto nesmie zanedbať. Vyskytlo sa niekoľko situácií, kedy napríklad respondent poukazoval na nesprávny pohyb avatara voči jeho vlastnému pohybu, čo však nevieme analyzovať, keďže existuje záznam iba z prvej osoby a teda my vidíme iba pohyb avatara, nie pohyb respondenta. Z tohto dôvodu sme sa rozhodli, že v druhej etape testovania bude záznam z tretej osoby povinný a v prípade, že respondent neudelí súhlas, nebude môcť pokračovať v testovaní. Záznamy prvej a tretej osoby sú časovo synchronizované pomocou aplikácie CapCut a exportované ako jednotné video, teda je možné ich porovnávať a analyzovať. Každý jeden videozáznam bol podrobený dôkladnej analýze, kde sme sledovali pohyb respondenta, jeho reakcie, komentáre, pohyb avatara, neočakávané situácie, chyby, komplikácie a podobne. Dokázali sme zaznamenať situácie, ktoré nám počas živého testovania unikli a ktoré by sme inak nevedeli identifikovať.

V situáciach, kedy sa respondent dostal do neočakávanej situácie, ako napríklad jeho premiestnenie sa mimo miestnosti a následný pád pod textúry, sme mohli detailne analyzovať, čo sa stalo, ako sa respondent dostal do tejto situácie a ako sa s ňou vysporiadal. Tieto situácie sú pre nás dôležité, pretože po dôkladnej analýze synchronizovaných videí sme boli schopní získať informácie o tom, ako respondenti reagujú na neočakávané situácie a ako sa s nimi dokážu vyrovnávať. Pri sledovaní videí môžeme takisto vidieť, ako dlho v skutočnosti trvali používatelom testy s časovým obmedzením a takisto si vieme všimnúť, aké aspekty, objekty

či iné vlastnosti softvéru vyžadovali zbytočne veľa pozornosti respondentov a naopak, aké aspekty boli zanedbané a mali byť zvýraznené.

5.2.4 Vyplnenie dotazníkov a spôsob vyhodnotenia

V nasledujúcich sekciách si dôkladnejšie popíšeme, ako sa jednotlivé dotazníky vyhodnocujú podľa štandardu.

SuS - Spôsob spracovania

Tento dotazník sa skladá z 10 otázok, pričom respondent odpovedá na 5-bodovej Likertovej škále (1 = úplne nesúhlasím, 5 = úplne súhlasím). Pri spracovaní výsledkov sa od odpovede pri párných otázkach odčíta 5 a pri nepárnych sa od odpovede odpočíta 1. Následne sa medzivýsledky sčítajú a výsledok sa vynásobí hodnotou 2.5 Týmto spôsobom dostaneme skóre v rozsahu 0-100 [68].

Interpretácia skóre:

- $s_{sus} \geq 80$ Výborná použiteľnosť
- $s_{sus} \in [70, 80)$ Dobrá použiteľnosť
- $s_{sus} \in [50, 70)$ Priemerná použiteľnosť
- $s_{sus} < 50$ Nízka použiteľnosť

Podľa tejto škály popísanej [68] budeme v našej práci interpretovať výsledky získané zo SuS dotazníka.

iPQ - Spôsob spracovania

IPG Meria subjektívny pocit prítomnosti vo virtuálnom prostredí. Obsahuje 14 otázok rozdelených do 4 dimenzií, ktoré sú popísané v kapitole 4.1.1 Každá otázka je hodnotená na 7-bodovej Likertovej škále (1 = úplne nesúhlasím, 7 = úplne súhlasím). Pre každú dimenziu sa spočíta priemer odpovedí. Vyššie skóre znamená vyšší pocit prítomnosti.

Interpretácia skóre:

- **Hodnoty blízke 1:** Veľmi nízky pocit prítomnosti
- **Hodnoty okolo 4:** Priemerný pocit prítomnosti
- **Hodnoty blízke 7:** Vysoký pocit prítomnosti

Výsledky analyzované podľa tohto štandardu sú spracované v kapitole 4.1.1.

NASA-TLX - Spôsob spracovania

NASA-TLX obsahuje 6 dimenzií uvedených v kapitole 4.1.1. Každá dimenzia je hodnotená na škale od 0 do 100. V našej práci používame RAW Nasa-TLX, z dôvodu uvedeného v kapitole 4.1.1, kde sa počíta priemerná hodnota všetkých dimenzií. Vyššie skóre znamená vyššiu pracovnú záťaž.

Interpretácia skóre:

- **0 - 20:** Veľmi nízka pracovná záťaž
- **21 - 50:** Nízka až stredná pracovná záťaž
- **51 - 100:** Vysoká pracovná záťaž

Na základe tejto škaly [69] budeme môcť vyhodnotiť celkovú pracovnú záťaž používateľov.

VRSQ - Spôsob spracovania

Každý symptóm je hodnotený na Likertovej škále od 0 (žiadny príznak) do 3 (silný príznak).

Získané skóre sa následne vyhodnocuje pomocou normalizácie nasledovne:

- Surové skóre pre okulomotorické symptómy (A) sa vypočíta ako súčet hodnôt 5 príslušných položiek (maximálne 15 bodov),
- Surové skóre pre disorientáciu (B) sa vypočíta ako súčet hodnôt 4 príslušných položiek (maximálne 12 bodov),
- Obe skóre sa následne normalizujú na percentá podľa vzorcov:

$$C = \left(\frac{A}{12} \right) \times 100 \quad (\text{Okulomotorické \%}) \quad (5.1)$$

$$D = \left(\frac{B}{15} \right) \times 100 \quad (\text{Disorientácia \%}) \quad (5.2)$$

Celkové skóre dotazníka VRSQ sa následne vypočíta ako:

$$\text{Celkové skóre} = \frac{C + D}{2} \quad (5.3)$$

Hardvér - Spôsob spracovania

Tento dotazník bol použitý iba v prvej etape, keďže celkový počet dotazníkov bol príliš veľký a ich vyplnenie bolo namáhavé. Navyše zameranie prvej etapy bolo na celkovú používateľskú skúsenosť vo virtuálnom prostredí, teda dotazník pre hardvér bol relevantnejší. V prípade, že respondent uviedol špecifický problém spojený s hardvérom, sme tieto komentáre zaznamenali aj v druhej etape.

Dotazník ako taký obsahoval 8 otázok hodnotených na Likertovej škále od 1 (silne nesúhlasím) do 5 (silne súhlasím). Respondenti mali možnosť uviesť aj svoje vlastné komentáre a postrehy k jednotlivým otázkam. Tieto komentáre boli následne analyzované a spracované do prehľadnej tabuľky, ktorá obsahuje najčastejšie spomínané problémy a pozitívne aspekty hardvéru. Dotazník nemá jednu hodnotu ako celkový výsledok, ale je zameraný na jednotlivé otázky a ich hodnotenie. Týmto spôsobom sme získali prehľad o tom, aké problémy respondenti najčastejšie uvádzali a aké aspekty hardvéru boli pre nich najviac pozitívne.

Otvorený dotazník - Spôsob spracovania

Tento dotazník bol rovnako ako dotazník pre hardvér použitý iba v prvej etape a jeho vyplnenie bolo dobrovoľné. Tento dotazník obsahoval 11 otázok s otvorenými odpoveďami. Respondenti považovali tento dotazník ako maximálne vyčerpávajúci a preto sme ho v druhej etape nahradili verbálnou komunikáciou s respondentmi, počas ktorej sme vytvárali detailné poznámky na základe výpovede respondentov. Odpovede, ktoré tento dotazník poskytol sme takisto zaznamenali do prehľadnej tabuľky, ktorá bola podrobená analýze.

6 Výsledky testovania

Táto kapitola je venovaná dôkladnému spracovaniu výsledkov testovania, ktoré boli získané počas prvej a druhej etapy testovania. Pokúsime sa vyviesť závery, ktoré nám poskytnú dostatočne kvalitné informácie o všeobecnom pôsobení ľudí vo virtuálnom prostredí, no najmä dostaneme veľmi dôležitú spätnú väzbu pre aplikáciu L-NeRVEn, aby sme na základe týchto výsledkov mohli navrhnúť ďalšie zmeny a vylepšenia.

6.1 Výsledky dotazníkov - Prvá etapa

Táto sekcia je zameraná na spracovanie výsledkov, ktoré nám poskytnú využité dotazníky. V tabuľke 6.1 môžeme vidieť prehľad výsledkov získaných z dotazníkov pre jednotlivých respondentov spolu s ich priemermi. Táto tabuľka popisuje iba celkové skóre jednotlivých dotazníkov. Detailný rozbor je uvedený v nasledujúcich sekciách.

ID	SUS Skóre	NASA-TLX Skóre	IPQ Skóre
T01	80	33.33	6.80
T02	42.5	30.0	4.06
T03	65	31.67	5.13
T04	50	23.33	5.56
T05	50	21.67	3.06
T06	65	35.0	5.13
T07	77.5	40.0	4.29
T08	77.5	18.33	4.88
T09	60	25.0	5.00
T10	55	23.33	4.83
T11	50	30.0	4.29
T12	72.5	30.0	4.04
T13	27.5	31.67	4.25
T14	67.5	40.0	4.25
T15	100	11.67	4.75
T16	57.5	41.67	4.75
T17	65	36.67	4.75
T18	80	28.33	6.75
Priemer	63.06	30.90	5.15

Tabuľka 6.1: Tabuľka s hodnotami SUS Score, NASA-TLX Score a IPQ Total Score pre jednotlivých respondentov.

Tabuľka 6.1 zobrazuje celkový prehľad výsledkov pre použité dotazníky. Z priemerov týchto výsledkov vieme povedať nasledovné:

- Priemerné skóre 63.06 z dotazníka SuS naznačuje, že aplikácia dosiahla priemernú použiteľnosť, no stále existuje mnoho priestoru na zlepšenie.
- Priemerné skóre 30.90 z dotazníka NASA-TLX naznačuje, že aplikácia má nízku až strednú pracovnú záťaž, čo je typické pre mnoho úloh vo virtuálnych prostrediach.
- Priemerné skóre 5.15 z dotazníka IPQ naznačuje, že respondentom sa podarilo dosiahnuť stredný až pomerne silný pocit prítomnosti vo virtuálnom prostredí, avšak stále existuje priestor na zlepšenie realizmu a angažovanosti.

Z výsledkov vyplýva, že aplikácia dosiahla relatívne priemerné hodnoty skóre v každom použitom dotazníku, čo naznačuje, že existuje výrazný priestor pre zlepšenie. Respondenti, ktorí dosiahli vyššie IPQ skóre, tiež uviedli lepšie hodnotenia v oblasti SuS skóre, čo naznačuje, že intenzívnejší zážitok prítomnosti môže viesť k lepšiemu hodnoteniu použiteľnosti aplikácie. Takisto účastníci s vyšším NASA-TLX skóre uvádzali vyššiu náročnosť, čo naznačuje, že sa môžu cítiť vyčerpaní pri interakcií so systémom.

Detailnejší pohľad na jednotlivé domény týchto dotazníkov sú spísané v kapitole 6.3.

6.1.1 System Usability Scale - Vyhodnotenie

Tabuľka 6.2 obsahuje detailný rozbor výsledkov získaných z dotazníka SuS.

ID	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	SUS Score
T01	5	1	1	5	5	1	5	1	5	1	80.0
T02	2	3	3	4	3	2	5	4	3	2	52.5
T03	1	4	2	3	3	3	4	3	2	2	42.5
T04	2	1	2	5	4	2	4	2	5	1	65.0
T05	1	2	1	2	4	2	4	4	2	2	50.0
T06	5	1	1	5	4	5	4	1	5	1	65.0
T07	1	2	1	5	5	1	5	4	5	1	60.0
T08	5	1	2	5	4	1	4	1	5	1	77.5
T09	5	1	1	5	5	1	5	1	4	1	77.5
T10	3	1	1	5	4	3	4	3	4	1	57.5
T11	3	1	2	3	3	4	4	5	5	2	55.0
T12	2	1	3	4	4	2	5	1	5	2	72.5
T13	2	5	4	2	2	4	2	5	2	5	27.5
T14	4	3	4	5	3	2	5	2	5	2	67.5
T15	5	1	1	5	5	1	5	1	5	1	100.0
T16	2	3	3	4	3	2	5	4	3	2	57.5
T17	1	4	2	3	3	3	4	3	2	2	47.5
T18	2	1	2	5	4	2	4	2	5	1	80.0

Tabuľka 6.2: Výsledky SUS skóre pre jednotlivých respondentov

Z tabuľky 6.2 vieme vyčítať minimálnu a maximálnu hodnotu, čo je 27.5 a 100.0. Priemerné skóre je 63.06, čo naznačuje, že aplikácia L-NeRVEn dosiahla priemernú použiteľnosť. SuS skóre nad 68 sa považuje za nadpriemerné [70], takže dosiahnuté skóre naznačuje potrebu zlepšenia používateľskej skúsenosti.

Používatelia, ktorí získali vysoké skóre (napr. T15 - 100), majú veľmi pozitívnu skúsenosť s používateľským rozhraním, zatiaľ čo nižšie skóre (T13 - 27.5) nám signalizuje problémy v oblasti použiteľnosti. To znamená, že používateľske rozhranie nebolo úplne intuitívne alebo spôsobovalo problémy pri interakciách.

6.1.2 Igroup Presence Questionnaire - Vyhodnotenie

Tabuľka 6.3 obsahuje detailný rozbor výsledkov získaných z dotazníka IPQ. V tabuľke 6.4 je uvedená legenda skratiek použitých v tabuľke 6.3.

ID	GP	SP	INV	REAL	IPQ Total
T01	7.00	7.00	7.00	6.25	6.80
T02	4.50	4.50	5.50	1.75	4.06
T03	6.50	5.00	6.50	2.50	5.13
T04	7.00	5.00	7.00	3.25	5.56
T05	4.00	4.00	1.00	3.25	3.06
T06	7.00	7.00	3.25	3.25	5.13
T07	5.67	3.67	5.33	2.50	4.29
T08	6.67	4.67	4.50	3.67	4.88
T09	5.33	5.33	5.33	4.00	5.00
T10	6.33	5.00	5.00	3.00	4.83
T11	6.33	5.00	3.33	2.50	4.29
T12	4.33	5.00	4.33	2.50	4.04
T13	4.33	4.33	4.33	4.00	4.25
T14	4.33	4.33	4.33	4.00	4.25
T15	6.00	5.00	5.00	3.00	4.75
T16	6.00	5.00	4.00	4.00	4.75
T17	5.00	5.00	5.00	4.00	4.75
T18	7.00	7.00	7.00	6.00	6.75
Priemer	5.64	5.10	5.53	3.86	5.15

Tabuľka 6.3: Výsledky IPQ skóre pre jednotlivých respondentov.

Skratka	Celý názov
GP	Celková prítomnosť
SP	Priestorová prítomnosť
INV	Zapojenie
REAL	Realizmus

Tabuľka 6.4: Legenda skratiek použitých v tabuľke výsledkov NASA-TLX

Skóre IPQ sa pohybuje od 3.06 do 6.80, čo naznačuje rôzne úrovne subjektívneho vnímania prítomnosti vo virtuálnom prostredí. Priemerné skóre je 5.15, čo znamená, že účastníci pociťovali miernu prítomnosť vo virtuálnom prostredí.

Vyššie skóre (T01 - 6.80) naznačuje, že účastník sa cítil veľmi prítomný vo virtuálnom prostredí, čo môže byť dobrým indikátorom pohlcujúceho zážitku. Na druhej strane, nižšie skóre (T05 - 3.06) môže naznačovať, že účastník nevnímal virtuálnu realitu ako veľmi realistickú alebo pohlcujúcu.

- **Priemerné skóre pre Celkovú prítomnosť (GP):** 5.64 - Toto naznačuje, že účastníci mali pomerne silný pocit prítomnosti vo virtuálnom prostredí. To znamená, že virtuálny svet vnímajú ako autentický a imerzívny.
- **Priemerné skóre pre Priestorovú prítomnosť (SP):** 5.56 – Výsledky naznačujú, že používatelia sa cítili fyzicky prítomní vo virtuálnom prostredí, čo je dobrým indikátorom kvalitnej interakcie s prostredím.
- **Priemerné skóre pre Zapojenie (INV):** 5.53 – Toto skóre naznačuje, že účastníci sa cítili zapojení do virtuálneho prostredia a mali pocit, že ich akcie v prostredí majú význam, no stále existujú príležitosti na zvýšenie angažovanosti.
- **Priemerné skóre pre Realizmus (REAL):** 3.86 – Nižšie skóre v tejto dimenzii naznačuje, že virtuálne prostredie nebolo úplne realistické z pohľadu účastníkov. To môže súvisieť s kvalitou grafiky alebo interakcie.

Výsledky IPQ naznačujú, že virtuálne prostredie poskytuje pomerne silný zážitok prítomnosti, najmä v dimenziách GP a SP, avšak, zlepšenie Realizmu prostredia by mohlo značne zvýšiť celkový pohlcujúci zážitok.

6.1.3 NASA-TLX - Vyhodnotenie

Nasledujúca tabuľka 6.5 popisuje detailný rozbor výsledkov získaných z dotazníka NASA-TLX. Tabuľka 6.6 obsahuje legendu skratiek použitých v tabuľke 6.5.

ID	MZ	FZ	ČT	V	Ú	F	Skóre
T01	40	40	50	50	10	10	33.33
T02	20	20	50	50	10	30	30.0
T03	30	30	40	40	10	20	31.67
T04	10	10	10	10	10	10	23.33
T05	10	10	20	30	10	10	21.67
T06	50	40	40	40	10	10	35.0
T07	70	10	50	50	50	10	40.0
T08	0	0	90	100	10	10	18.33
T09	0	10	10	10	30	10	25.0
T10	0	20	10	20	0	10	23.33
T11	50	0	40	40	20	10	30.0
T12	30	20	10	10	10	20	30.0
T13	30	30	20	10	10	10	31.67
T14	40	40	40	40	20	40	40.0
T15	10	0	0	50	10	0	11.67
T16	70	20	50	30	10	30	41.67
T17	65	25	50	40	10	10	36.67
T18	60	20	10	50	20	10	28.33
Priemer	32.5	19.17	32.78	37.22	14.44	14.21	29.54

Tabuľka 6.5: NASA-TLX skóre

Skratka	Celý názov
MZ	Mentálna záťaž
FZ	Fyzická záťaž
ČT	Časový tlak
V	Výkon
Ú	Úsilie
F	Frustrácia

Tabuľka 6.6: Legenda skratiek použitých v tabuľke výsledkov NASA-TLX

Skóre sa pohybuje medzi hodnotami 11.67 a 41.67, čo naznačuje variabilitu v hodnotení pracovného zaťaženia účastníkov pri používaní systému. Priemerné skóre je 29.54, čo naznačuje, že účastníci pociťovali miernu až strednú pracovnú záťaž pri používaní systému. Na druhej strane, nižšie skóre (T15 - 11.67) môže naznačovať, že účastník nevnímal virtuálnu realitu ako veľmi realistickú alebo pohlcujúcu.

- **Priemerné skóre pre Mentálnu námahu (MZ):** 32.5 – Toto naznačuje, že úlohy vykonávané vo virtuálnom prostredí boli náročné na kognitívne spracovanie, ale neboli extrémne ťažké.
- **Priemerné skóre pre Fyzickú námahu (FZ):** 19.17 – Fyzická námaha bola relatívne nízka, čo znamená, že používatelia neboli fyzicky zaťaženi pri interakcii s VR systémom.
- **Priemerné skóre pre Časový nátlak (ČT):** 32.78 – Účastníci pociťovali mierny časový tlak, čo naznačuje, že úlohy, ktoré boli časovo obmedzené vytvárali používateľom mierny stres.
- **Priemerné skóre pre Výkonnosť (V):** 37.22 – Tento výsledok ukazuje, že účastníci vnímali svoju výkonnosť ako strednú až pomerne vysokú, čo naznačuje, že úlohy neboli príliš ťažké a účastníci ich zvládali s relatívnym úspechom.
- **Priemerné skóre pre Úsilie (Ú):** 14.44 – Úsilie, ktoré účastníci museli vynaložiť pri vykonávaní úloh vo virtuálnom prostredí bolo pomerne nízke, čo naznačuje, že úlohy neboli príliš náročné.

- **Priemerné skóre pre Frustráciu (F):** 29.54 – Účastníci pociťovali miernu úroveň frustrácie pri používaní systému, čo môže byť spôsobené problémami s použiteľnosťou alebo interakciou.

6.1.4 Zhrnutie výsledkov

Na základe výsledkov získaných z dotazníkov môžeme vyvodiť nasledujúce závery:

- **Prítomnosť vs. Použiteľnosť:** Respondenti, ktorí pociťovali vyššiu prítomnosť (vyššie IPQ skóre), častokrát hodnotili použiteľnosť systému lepšie (vyššie SUS skóre). To naznačuje, že užívateľská skúsenosť môže byť viac pohlcujúca, ak je používateľom poskytnuté intuitívne a funkčné rozhranie. Avšak, účastníci s vyššími NASA-TLX skóre môžu pociťovať zvýšenú náročnosť, čo môže znížiť celkovú spokojnosť so systémom.
- **Pracovné zaťaženie:** NASA-TLX skóre naznačuje, že niektorí účastníci mohli pociťovať väčšiu únavu a stres počas interakcie so systémom. To nám môže naznačovať potrebu optimalizácie náročnosti úloh v systéme, aby bol zážitok menej vyčerpávajúci.
- **Zlepšenie podľa hodnotení účastníkov:** Zozbierané hodnotenia z dotazníkov nám poskytnú cenné informácie o tom, ktoré aspekty systému je potrebné vylepšiť, aby sa maximalizovala jeho účinnosť a použiteľnosť. Detailnejšie informácie o potenciálnych vylepšeniach popisujeme ďalej v práci.

Z týchto záverov môžeme vyvodiť nasledujúce odporúčania pre ďalšie vývojové kroky:

1. **Optimalizácia rozhrania:** Aby sme predišli nízkemu SuS skóre, je potrebné upraviť dizajn rozhrania tak, aby bolo intuitívnejšie a jednoduchšie pre ovládanie. Tento krok môže značne znížiť pracovné zaťaženie a zlepšiť celkový zážitok z používania softvéru.
2. **Zlepšenie prítomnosti:** Používatelia, ktorí ohodnotili prítomnosť príliš nízko, by mohli mať väčší benefit z vylepšenia vizuálnych alebo interakčných prvkov systému, ktoré by značne zvyšovali realistickosť a pohlcujúci zážitok.
3. **Zníženie pracovného zaťaženia:** Pre používateľov, ktorí získali vysoké skóre pracovného zaťaženia (NASA-TLX), by mali mať možnosť dostávať jednoznačné nápovedy, ktoré im pomôžu systém ovládať a tým znížiť jeho náročnosť.

Detailnejší rozbor systému, odvodnenia výsledkov z dotazníkov a možné návrhy na zlepšenia sú ďalej popísané v kapitole 6.4.

6.2 Výsledky dotazníkov - Druhá etapa

Rovnako ako v kapitole 6.1, aj v tejto kapitole sú zhrnuté výsledky dotazníkov, ktoré boli vyplnené účastníkmi druhej etapy testovania. V tejto fáze sa zameriavame na hodnotenie aplikácie L-NeRVEn a jej použiteľnosti, pričom sa sústreďíme na subjektívne názory účastníkov.

ID	NASA-TLX	IPQ	SUS	VRSQ
T19	28.33	4.8	60	21.67
T20	46.67	3.2	62.5	26.67
T21	20.83	3.2	67.5	4.17
T22	15.00	4.5	45	14.17
T23	2.50	4.2	52.5	15.00
T24	15.00	3.8	67.5	35.83
T25	15.83	3.5	47.5	41.67
T26	13.33	3.8	77.5	35.00
T27	21.17	3.6	62.5	15.00
T28	10.00	4.3	50	3.33
T29	26.67	4.0	57.5	6.67
T30	31.67	3.8	40	35.83
T31	22.50	3.3	60	22.50
T32	9.83	1.9	62.5	15.00
T33	14.17	4.5	62.5	18.33
T34	35.83	3.6	40	70.83
T35	0.67	4.6	80	0.00
T36	100.00	4.2	x	0.00
T37	3.33	5.9	72.5	10.83
T38	100.00	4.2	x	0.00
T39	16.33	4.8	60	10.83
T40	1.67	3.7	75	0.00
T41	100.00	5.2	x	0.00
T42	31.67	3.6	65	60.00
T43	10.83	3.8	67.5	32.50
T44	46.67	4.4	60	3.33
T45	20.00	4.3	65	7.50
T46	10.00	4.6	57.5	10.83
T47	23.33	4.5	35	25.00
T48	18.50	4.3	70	10.83
T49	11.67	4.6	67.5	15.00
T50	2.17	3.9	75	11.67
T51	0.00	5.2	65	4.17
T52	9.17	5.1	55	17.50
T53	x	4.3	x	6.67
T54	x	6.2	x	15.83
Priemer	24.57	4.21	60.81	17.34

Tabuľka 6.7: Výsledky dotazníkov NASA-TLX, IPQ, SUS a VRSQ

Na základe zhromaždených údajov môžeme vyvodiť nasledujúce závery:

1. **NASA-TLX:** Skóre 24.57 je považované ako nízke až stredné, pričom extrémne hodnoty (napr. T36, T38, T41 s hodnotou 100) naznačujú, že niektorí respondenti považovali tieto úlohy ako veľmi náročné. Títo traja respondenti boli dôchodcovia so žiadnymi skúsenosťami s virtuálnou realitou, čo môže mať za následok tieto extrémne hodnoty záťaže.
2. **IPQ:** Hodnota celkovej prítomnosti a imerzie sa pohybovala medzi hodnotami 1.9 až 6.2, s priemernou hodnotou 4.21, čo znamená priemernú mieru vnímania prítomnosti vo virtuálnom prostredí. Respondenti mali pocit, že sa skutočne nachádzajú v priestore virtuálnej reality, čo svedčí o dobrom dizajne prostredia a interakcie. Takéto skóre zároveň naznačuje, že systém dokázal efektívne vyvolať ponorenie a realistický zážitok, čo je dôležitý faktor pre pozitívne prijatie VR technológií
3. **SUS:** Priemerné skóre 60.81 naznačuje, že účastníci považovali systém za relatívne použiteľný, avšak existuje priestor na zlepšenie. Respondenti s vysokými hodnotami (napr. T35 - 80) mali veľmi pozitívnu skúsenosť s používateľským rozhraním, zatiaľ čo nižšie skóre (napr. T22 - 45) naznačuje problémy v oblasti použiteľnosti.
4. **VRSQ:** Priemerné skóre 17.34 ukazuje, že miera fyzického nepohodlia bola relatívne nízka, pričom niektorí používatelia mohli pociťovať mierne symptómy ako únava očí alebo mierne závraty, no nejde o alarmujúce hodnoty.

Výsledky z dotazníkov NASA-TLX, IPQ a SUS vo všeobecnosti potvrdzujú a rozširujú zistenia z prvej etapy. Pre toto vyhodnotenie platia rovnaké výsledky ako boli získané v prvej etape. Špecifické situácie a extrémne hodnoty sú rozoberané v kapitole 6.3.

6.2.1 VRSQ - Vyhodnotenie

Vyhodnotenie dotazníka VRSQ bolo vykonané na základe hodnôt získaných po spracovaní, ktoré je popísané v kapitole 5.2.4. Interpretácia výsledkov je spracovaná podľa [55].

Tabuľka 6.8: Rozdelenie úrovní kybernetickej nevoľnosti podľa skóre VRSQ

Úroveň nevoľnosti	Počet osôb	Percento
Žiadna (None)	11	30,6 %
Mierna (Mild)	14	38,9 %
Stredná (Moderate)	9	25,0 %
Vážna (Severe)	2	5,6 %

Toto vyhodnotenie nám naznačuje, že systém spôsobuje používateľom nevoľnosť. Až 38.9% respondentov uviedlo, že pociťujú miernu nevoľnosť. Navyše ďalšia štvrtina respondentov uviedla, že pociťovali strednú nevoľnosť. Dvaja respondenti vypovedali, že pociťovali vážnu nevoľnosť a z toho dôvodu neboli schopní pokračovať v testovaní. Tieto hodnoty môžeme považovať za kritické a naznačujú, že systém môže spôsobovať nevoľnosť u používateľov. Hoci 30.6% respondentov uviedlo, že nepociťovali žiadnu nevoľnosť, je potrebné venovať pozornosť týmto hodnotám a zlepšiť systém tak, aby sa minimalizoval pocit nevoľnosti. Systém, ktorého používanie spôsobuje hoci len miernu nevoľnosť u približne 70.4% účastníkov nemá potenciál na úspech a preto je potrebné sa zamerať na jeho optimalizáciu.

6.3 Kompletné vyhodnotenie použiteľnosti aplikácie

Pri finálnom vyhodnocovaní sme zohľadnili skutočnosť, že nie všetky aspekty a výsledky z prvej a druhej etapy testovania sú navzájom priamo porovnateľné. Napriek tomu boli tie údaje, ktoré bolo možné porovnať, analyzované spoločne a zahrnuté do celkového hodnotenia použiteľnosti aplikácie L-NeRVEn. Všetky dáta, ktoré boli zozbierané, boli roztriedené do jednej tabuľky, ktorá je uvedená v prílohe, z ktorej následne vieme vyvodzovať rôzne závislosti a spojitosti medzi aspektmi pomocou korelačných a kontigenčných tabuliek.

6.3.1 Vyhodnotenie náročnosti úloh

Táto sekcia je zameraná na vyhodnotenie časových nárokov jednotlivých úloh, ktoré boli súčasťou testovania. Na základe týchto časových údajov môžeme analyzovať, ako dlho trvalo účastníkom splniť jednotlivé úlohy a teda vyhodnotiť ich komplexnosť. Tabuľka 6.9 popisuje zoradené úlohy od časovo nenáročných až po časovo najnáročnejšie. Obsahuje priemerné časy splnenia úloh pre všetkých účastníkov testovania.

SC	OS	SO	ZIP	VM	VP	ZA	ZJ	CP	Stôl	PPkS	ZH	ZZK	SP	ZJ	PS
3.39	4.66	5.55	10.20	12.71	13.04	13.73	18.05	18.08	19.61	35.29	38.61	39.80	42.26	52.07	92.52

Tabuľka 6.9: Porovnanie hodnôt podľa typov interakcií. **Skratky:** SC – Spustenie cvičenia, OS – Odstránenie servera, SO – Start oddychu, ZIP – Zmena IP adresy, VM – Vyber miestnosti, VP – Vyber predmetu, ZA – Zmena Avatara, ZJ – Zmena mierky vykreslovania a jas, CP – Cieľová pozícia, Stôl – Úprava výšky stola, PPkS – Posadenie pacienta k stolu, ZH – Zapnutie hudby, ZZK – Zmena zameriavacieho kríža, SP – Startovacia pozícia, ZJ – Zmena jazyka, PS – Pridanie servera.

Medzi tri najrýchlejšie úlohy patrili úlohy, ktorých splnenie vyžadovalo jednoduché stlačenie tlačidla, ktoré si respondenti všimli na začiatku scenárov, no boli vyzvaní ho stlačiť až podstatne neskôr. Tieto priemerné časy nepresahujúce 6 sekúnd naznačujú, že používatelia nemali žiadne závažné problémy lokalizovať tieto tlačidlá a pracovať s nimi.

Na druhej strane, úlohy, ktoré si vyžadovali vyšší čas, boli považované za náročné. Napríklad úloha pridanie servera bola vyhodnotená za najnáročnejšiu, pretože používatelia nemali žiadne informácie o tom, ako sa server pridáva, čo sa od nich očakáva, aby napísali do systému, neboli upozornení o invalidných vstupoch ani o akceptovaní vstupu do systému. Technicky menej zdatní respondenti nemali šancu túto úlohu splniť bez asistencie testovacieho asistenta. Technicky zdatnejší respondenti mali problém, keďže nemali informáciu, či sa od nich očakáva IP adresa alebo možno názov serveru. Takisto ak sa rozhodli vyskúšať zadať napríklad názov servera, neboli upozornení o neplatnom vstupe, čo spôsobilo zmätenie a frustráciu.

Je dôležité zdôrazniť, že úloha zmeny jazyka obdržala príliš vysoké časy vzhľadom na jej jednoduchosť. Tieto výsledky sú spôsobené skutočnosťou, že táto úloha bola v 90% prípadov zadaná ako prvá úloha scenára "Navigácia v menu aplikácie". Prvá úloha sa ukázala ako časovo náročnejšia, keďže sa respondenti boli nútení zoznámiť s ovládaním aplikácie a s prevládajúcim problémom potvrdzovania tlačidiel v menu, trvalo používateľom dlho, kým sa naučili optimálny spôsob ovládania. Aby sme toto tvrdenie potvrdili, približne 10% účastníkov mali iné poradie úloh, aby sme potvrdili toto tvrdenie. Skutočne, títo respondenti (T04, T05, T06) mali približne o 70% nižšie časy na splnenie tejto úlohy. Tento čas sa avšak nazbieral v iných úlohách, ktoré mali títo respondenti zadane ako prvé. Preto nemôžeme tvrdiť, že úloha zmeny jazyka je komplikovaná, pretože mala takmer najvyšší čas splnenia. Pre presnejšie zadefinovanie náročnosti je potrebné vykonať doplnkové testovanie.

Špeciálnu pozornosť by sme chceli venovať úlohe "Zapnutie hudby", ktorá v kontraste ku jej jednoduchosti mala relatívne vysoký čas. Pri hlbšej analýze videozáznamov sme zistili, že tento čas bol navyšovaný počas hľadania odpovedajúceho nastavenia. Respondenti následne vypovedali, že názov nastavenia "Stlmiť hudbu", alebo v anglickom jazyku "Mute music", nie je vhodné pomenovanie pre túto činnosť. Respondent T51 vypovedal, že keďže hudba nie je spustená počas prvotného spustenia aplikácie, nastavenie "Stlmiť hudbu" vykonáva presne opačnú činnosť, ako je očakávané, keďže je toto nastavenie nastavené na hodnotu "True". Vypovedal, že nie je vhodné, aby sa musel človek zamýšľať nad nastaveniami. Ak je hudba na začiatku vypnutá, tlačidlo stlmiť hudbu je nevhodné pomenovanie. Ak by hudba hrala pri prvotnom spustení, používateľovi skôr udrie do očí tlačidlo "Stlmiť hudbu", keď sa ju snaží vypnúť, ako keď sa ju snaží zapnúť. Vo všeobecnosti ak človek má záujem zapnúť hudbu, môže nastavenie s názvom "Stlmiť hudbu" považovať za irrelevantné.

Okrem týchto poznatkov nemali ostatné úlohy príliš dlhé časy, čo naznačuje vhodné umiestnenie nastavení v menu a teda intuitívnosť aplikácie, čo možno vyčítať aj z výsledkov dotazníka SUS, kde respondenti vypichli najmä tieto vyššie spomínané nedostatky.

6.3.2 Korelácie medzi sledovanými aspektmi

Dáta, ktoré sme získali z testovania, môžu byť navzájom prepojené a ovplyvňovať sa. Preto sme pristúpili k analýze korelácií medzi sledovanými aspektmi, ako sú napríklad výsledky dotazníkov NASA-TLX, IPQ, SUS, VRSQ a jednotlivé pozorované charakteristiky používateľskej skúsenosti. Cieľom tejto analýzy je identifikovať vzťahy medzi premennými, ktoré môžu pomôcť lepšie pochopiť faktory ovplyvňujúce použiteľnosť a vnímanie VR aplikácie

Prehľad identifikovaných vzťahov je znázornený v korelačných tabuľkách, ktoré zobrazujú mieru a smer závislostí medzi jednotlivými premennými. Kompletné tabuľky sa nachádzajú v prílohe 8. Tabuľka 6.10 zobrazuje prehľad pozorovaných korelácií medzi sledovanými aspektmi. V tabuľke je uvedené identifikačné číslo vzťahu, typ úmery ('+' - pre priamu úmeru, '-' - pre nepriamu úmeru), názov aspektu 1, názov aspektu 2. Priama úmera vo všeobecnosti znamená, čím ma aspekt 1 vyššiu hodnotu, tým má aspekt 2 vyššiu hodnotu. Nepriama úmera znamená, čím má aspekt 1 vyššiu hodnotu, tým má aspekt 2 nižšiu hodnotu. Tieto vzťahy boli vyvedené z komplexnej korelačnej tabuľky uvedenej v prílohe 8, kde výsledky korelačných hodnôt sa pohybujú v intervale od -1 do 1. Hodnoty blízke k -1 znamenajú, že tieto dva aspekty majú zápornú koreláciu - nepriama úmera.

Naopak hodnoty blízke k 1 znamenajú kladnú koreláciu - priama úmera. Hodnoty blízke 0 znamenajú, že tieto dva aspekty sa navzájom neovplyvňujú. Ako príklad uvedieme koreláciu 21, ktorá hovorí, že čím je vyššie celkové IPQ skóre, tým je vyššie aj celkové SUS skóre. Toto nasvedčuje, že medzi vnímanou prítomnosťou vo VR a použiteľnosťou systému existuje priama úmera. Inými slovami, ak sa používateľ cíti viac "ponorený" a prítomný v prostredí, má tendenciu hodnotiť systém ako použiteľnejší.

ID	Typ	Aspekt 1	Aspekt 2
1	-	avatar správne kopíruje pohyb	úroveň skúsenosti
2	-	avatar správne kopíruje pohyb	trhavý obraz
3	+	čas na zmenu hudby	premenovať mute/unmute
4	-	časový nátlak	časy úloh
5	+	časy scenárov	pohlavie
6	-	dýchavičnosť	príjemná hudba
7	+	dýchavičnosť	nevoľnosť pri rotácii
8	+	dýchavičnosť	nevoľnosť po skončení
9	+	dýchavičnosť	trhavý obraz
10	+	fyzická záťaž	VRSQ
11	-	helma dobre sedí	úroveň skúsenosti
12	-	helma dobre sedí	preferencia teleport
13	+	helma dobre sedí	pohlavie
14	+	helma dobre sedí	preferencia chôdze
15	+	helma rušivý element	mentálna záťaž
16	+	helma rušivý element	fyzická záťaž
17	+	helma rušivý element	úroveň skúsenosti
18	+	hudba	IPQ score
19	-	IPQ score	nevoľnosť po skončení
20	-	IPQ score	pocit nevoľnosti
21	+	IPQ score	SUS score
22	+	IPQ score	preferencia chôdze
23	-	jasné videnie	nevoľnosť po skončení
24	+	jasné videnie	pohlavie
25	+	mentálna záťaž	VRSQ
26	+	mentálna záťaž	nevoľnosť pri pohybe
27	+	mentálna záťaž	trhavý pohyb
28	+	mierka vykresľovania	pohlavie
29	+	mierka vykresľovania	sekaný obraz
30	+	NASA score	helma je rušivý element
31	-	nevadila mi helma	mentálna záťaž
32	+	nevoľnosť po skončení testov	pohlavie
33	+	nevoľnosť pri pohybe	VRSQ
34	+	nevoľnosť pri pohybe	nevoľnosť po skončení
35	+	nevoľnosť pri rotácii	VRSQ
36	+	nevoľnosť pri rotácii	nevoľnosť po skončení
37	-	ovládanie bez ovládačov	IPQ
38	-	pohlavie	pocit nevoľnosti
39	+	posadenie pacienta k stolu	nevoľnosť pri teleporte
40	-	preferencia chôdze	VRSQ score
41	-	preferencia teleportu	nevoľnosť pri teleporte
42	+	problém so stláčaním tlačidiel	zmena jazyka
43	+	problém so stláčaním tlačidiel	časy úloh
44	+	SUS score	dobrý pocit z helmy
45	+	trhavý obraz	úroveň skúsenosti
46	+	trhavý obraz	frustrácia
47	-	úroveň skúsenosti	preferencia chôdze
48	+	úroveň skúsenosti	preferencia teleport
49	+	úsilie	pohlavie
50	+	úsilie	pridať server
51	-	vek	VRSQ score
52	+	vek	problémy so stláčaním tlačidiel
53	-	VRSQ	výkonnosť
54	-	VRSQ	GP
55	-	VRSQ	SP
56	-	VRSQ	IPQ
57	-	VRSQ	SUS
58	+	VRSQ	frustrácia
59	-	výška	pohlavie
60	+	zmena jazyka	úsilie

Tabuľka 6.10: Prehľad pozorovaných korelácií medzi sledovanými aspektmi

Muži	Ženy
1	2

Tabuľka 6.11: Doplnok ku tabuľke 6.10

Ako tabuľka 6.10 ukazuje, mnoho aspektov je navzájom prepojených. Napríklad, čím je vyššie skóre IPQ, tým je vyššie aj skóre SUS a zároveň napríklad nižšia pravdepodobnosť nevoľnosti po skončení používania helmy. To naznačuje, že ak sa účastníci cítili viac prítomní vo virtuálnom prostredí, hodnotili systém ako použiteľnejší. Z týchto hodnôt sme vybrali tie najdôležitejšie a popísali ich detailnejšie v nasledujúcej časti.

Dôležitým zistením je korelácia medzi výkonnosťou, frustráciou a výsledkom VRSQ. V tabuľke 6.1 je jasne možné pozorovať tieto vzťahy medzi aspektmi.

	Výkonnosť	Frustrácia	VRSQ
Výkonnosť	1		
Frustrácia	-0.23	1	
VRSQ	-0.24	0.56	1

Obr. 6.1: Korelačná matica medzi výkonnosťou, frustráciou a VRSQ skóre

Ako tabuľka naznačuje, vzťah medzi VRSQ a výkonnosťou má korelačnú hodnotu -0.24, čo vo všeobecnosti znamená, že čím vyššie VRSQ skóre respondent dosiahol, tým bol menej výkonný pri plnení úloh. Táto hodnota je síce záporná, no približuje sa k nule, čo znamená, že síce takýto vzťah medzi týmito aspektmi existuje, ale je veľmi slabý. To znamená, že síce existujú respondenti, pre ktorých tento vzťah platí, existujú takisto aj respondenti, ktorí to môžu vyvrátiť. Čím viac takýchto respondentov existuje, tým je hodnota bližšia nule. Ak by 100% respondentov mali tento vzťah, hodnota by bola rovná -1.

Na druhej strane čím vyššie VRSQ skóre respondent dosiahol, tým bol aj viac frustrovaný. To znamená, že frustrácia je úzko spätá s pocitom nevoľnosti a diskomfortu. Vysoká frustrácia ovplyvní nie len záťaž jednotlivca, ale najmä celkovú použiteľnosť systému. Preto je veľmi dôležité prispôsobiť systém tak, aby výsledky VRSQ dotazníka boli čo najnižšie.

Tabuľka 6.2 zobrazuje korelácie medzi GP, SP a VRSQ skóre, ktoré nám napovedajú, že pocit imerzie a prítomnosti vo virtuálnom prostredí je úzko spätý s pocitom nevoľnosti. Aspekty GP a SP sú podkategórie z IPQ dotazníka. Tieto dve podkategórie mali väčší dopad na nevoľnosť ako íne, preto sme sa rozhodli po-

rovnať ich s VRSQ skóre.

	VRSQ	GP	SP
VRSQ	1		
GP	-0.30	1	
SP	-0.44	0.56	1

Obr. 6.2: Korelačná matica medzi GP, SP a VRSQ skóre, Skratky: GP - Všeobecná prítomnosť, SP - Priestorová prítomnosť

Hodnoty -0.3 a -0.44 napovedajú, že ak by systém poskytol imerzívnejší zážitok, malo by to za následok nižšie VRSQ skóre a teda lepšiu použiteľnosť.

Tabuľka 6.3 zobrazuje korelácie medzi Nasa-TLX, IPQ, SUS a VRSQ skóre. Tieto dotazníky hrali dôležitú rolu v tomto výskume a teda ich závislosti medzi sebou nám môžu mnoho napovedať.

	NASA-TLX	IPQ	SUS	VRSQ
NASA-TLX	1			
IPQ	0.09	1		
SUS	-0.09	0.42	1	
VRSQ	-0.12	-0.31	-0.36	1

Obr. 6.3: Korelačná matica medzi IPQ, SUS a VRSQ skóre

Tak ako tabuľka 6.3 napovedá, NASA-TLX mal so všetkými dotazníkmi hodnoty blízke nule, čo znamená, že celková záťaž neovplyvňuje celkový pocit prítomnosti, použiteľnosti či nevoľnosti. To však nevylučuje fakt, že niektoré podskupiny, ako napríklad frustrácia a výkonnosť, ktoré patria pod NASA-TLX, takisto neovplyvňujú iné aspekty. Tabuľka 6.1 toto tvrdenie potvrdzuje. Okrem NASA-TLX majú ostatné dotazníky výraznejšie korelácie medzi sebou. Najvyššia korelácia je medzi IPQ a SUS, čo potvrdzuje naše predchádzajúce tvrdenie, že pocit imerzie a prítomnosti značne zlepšuje pocit použiteľnosti systému a zároveň znižuje pocit nevoľnosti. Takisto si môžeme všimnúť, že pocit nevoľnosti skutočne negatívne ovplyvňuje celkovú použiteľnosť systému.

Tabuľka 6.4 zobrazuje korelácie medzi jednotlivými aspektmi nevoľnosti. Výsledkom tejto analýzy sú aspekty, ktoré spôsobovali najintenzívnejší diskomfort a teda vyžadujú najviac pozornosti pri optimalizácii systému.

Najvyššie hodnoty VRSQ boli spojené s pocitom nevoľnosti spôsobeného voľným pohybom vo virtuálnom priestore. Hodnoty dýchavičnosti, nevoľnosti z ro-

	VRSQ	NP	D	NR	NS
VRSQ	1				
NP	0.37	1			
D	0.12	0.24	1		
NR	-0.04	0.46	0.31	1	
NS	-0.11	0.35	0.54	0.92	1

Obr. 6.4: Korelačná matica medzi VRSQ skóre a jednotlivými príznakmi nevoľnosti. Skraty: NP - nevoľnosť pri pohybe, NR - nevoľnosť pri rotácií, D - dýchavičnosť, NS - nevoľnosť po skončení

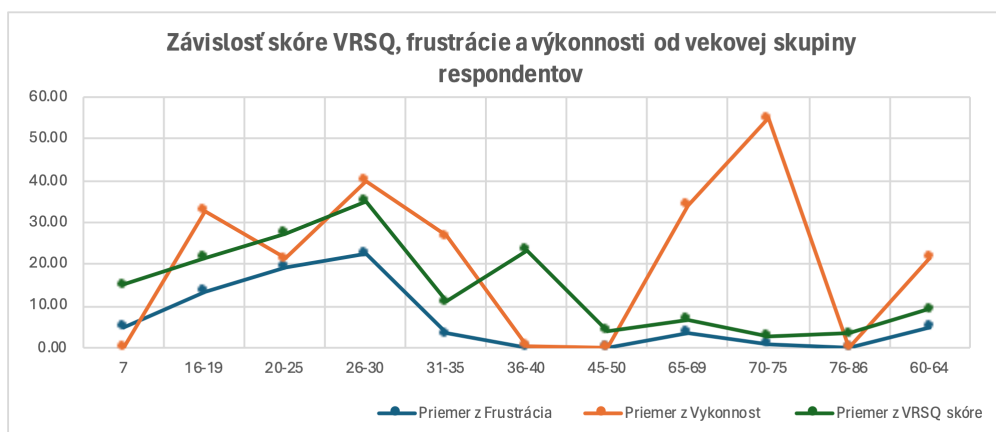
tácie a nevoľnosti po skončení testovania neboli tak úzko späté s celkovým VRSQ skóre ako pohyb po priestore. Na druhej strane, pohyb po priestore má vysokú koreláciu s týmito hodnotami, čo znamená, že respondenti, ktorí mali problémy s pohybom po priestore, mohli mať takisto problémy s dýchavičnosťou, nevoľnosťou pri rotácii a nevoľnosťou po skončení testovania. Nie je to však všeobecná pravda, pretože existujú respondenti (napr. T12), ktorí uviedli, že síce im voľný pohyb priestorom spôsobuje nevoľnosť, no nemajú žiadne problémy s dýchavičnosťou, nevoľnosťou pri rotácii a takisto nepocitovali nevoľnosť po skončení testovania. No na druhej strane existujú respondenti (napr. T16), ktorí všetky tieto aspekty naraz.

Najvyššia korelácia existuje medzi nevoľnosťou pri voľnom pohybe a nevoľnosťou pri rotácií, čo naznačuje, že ak používateľ pociťuje nevoľnosť pri voľnom pohybe, je na 76% pravdepodobné, že bude pociťovať nevoľnosť aj pri rotácií. Rovnako ak pociťoval nevoľnosť pri rotácií, je na 67% pravdepodobné, že bude pociťovať nevoľnosť aj pri voľnom pohybe. Preto je dôležité sa pri optimalizácii pozerať na tieto dva aspekty rovnocenne. Teda ak je používateľovi umožnený pohyb teleportáciou, mala by mu byť umožnená rotácia teleportáciou - okamžité otočenie používateľa o X stupňov.

Rovnako môžeme povedať, že v momente, kedy používateľ vykazuje príznaky dýchavičnosti, je potrebné z bezpečnostných dôvodov testovanie zastaviť, keďže dýchavičnosť a nevoľnosť po skončení testovania majú relatívne vysokú koreláciu, čo znamená, že respondenti, ktorí pociťovali dýchavičnosť, pociťovali aj nevoľnosť po skončení testovania. Rovnako si môžeme všimnúť, že dýchavičnosť bola vo všeobecnosti spojená s nevoľnosťou z pohybu a rotácie. V ostatných prípadoch sa dýchavičnosť vyskytovala po dlhodobom vystavení respondenta virtuálnej reality. Odporúčaný čas cvičenia je približne 15 minút. Dlhšie pôsobenie vo virtuálnej realite môže spôsobiť nevoľnosť po skončení používania.

6.3.3 Detailná analýza najdôležitejších aspektov

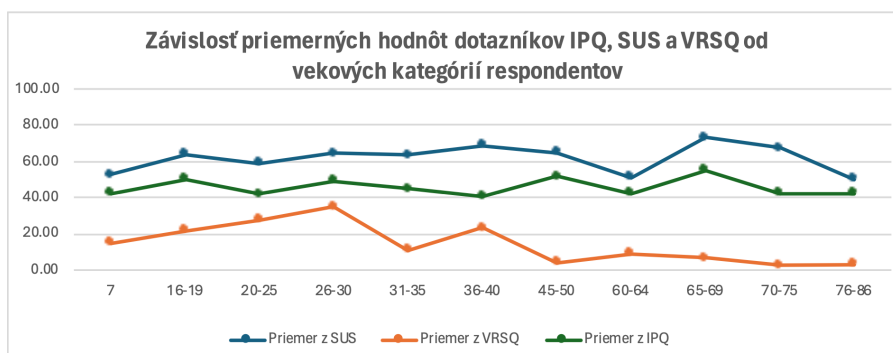
V tejto časti si detailnejšie rozoberieme tie najvýraznejšie zistenia, ktoré poskytli korelačné tabuľky. Graf 6.5 vznikol na základe výsledku z tabuľky 6.1 a zobrazuje závislosť skóre VRSQ, frustrácie a výkonnosti od vekovej skupiny respondentov.



Obr. 6.5: Závislosť skóre VRSQ, frustrácie a výkonnosti od vekovej skupiny respondentov

Z grafu je jasne vidieť, že čím je vek respondenta vyšší, tým je jeho skóre VRSQ nižšie. To znamená, že starší respondenti pociťovali menšiu nevoľnosť a diskomfort ako mladší respondenti. Takisto s vyšším vekom ubúda na pocite frustrácie, čo môže znamenať, že starší ľudia nemusia spravidla byť frustrovaní zo systému viac, ako mladí respondenti. Extrémne hodnoty výkonnosti sú skreslené respondentmi T35 a T36, ktorí spadajú do týchto vekových skupín, pretože títo respondenti boli doktori na dôchodku a teda majú veľmi vysokú skúsenosť s rôznymi cvičeniami s pacientami, preto sa cítili výnimočne výkonní.

Graf 6.6 zobrazuje závislosť priemerných hodnôt dotazníkov IPQ, SUS a VRSQ od vekových kategórií respondentov. Pre lepšiu reprezentáciu sme prenásobili hodnotu IPQ číslom 10, keďže hodnoty IPQ sa pohybovali v intervale 0-7, zatiaľ čo ostatné dotazníky mali hodnoty v intervale 0-100.

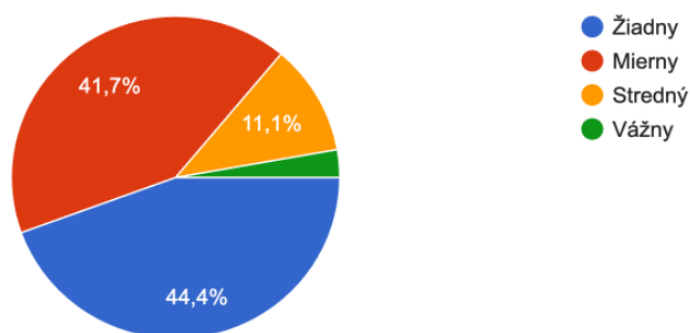


Obr. 6.6: Závislosť priemerných hodnôt dotazníkov IPQ, SUS a VRSQ od vekových kategórií respondentov

Z grafu je jasne vidieť silnú závislosť medzi SUS a IPQ hodnotami, ktorú nám napovedala tabuľka 6.3. Vek ako taký nemá taký vplyv na tieto hodnoty tak, ako má na VRSQ. Rovnako môžeme pozorovať negatívnu koreláciu medzi IPQ a VRSQ, napríklad pri vekovej skupine 45-50 je jasne vidieť nízku hodnotu VRSQ a vysokú hodnotu IPQ. Podobne vo vekovej skupine 20-25 je nižšie IPQ a zároveň vysoký extrém VRSQ.

Graf 6.7 popisuje pomer úrovní všeobecného diskomfortu, ktorý bol zaznamenaný v dotazníku VRSQ.

Všeobecný diskomfort
36 odpovedí

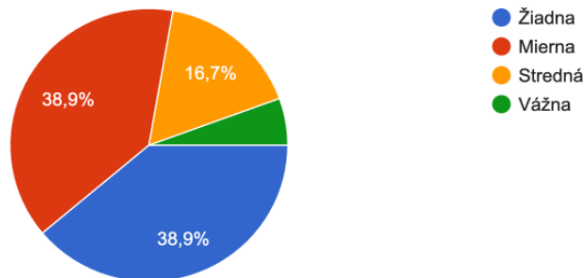


Obr. 6.7: Pomer úrovní všeobecného diskomfortu

Z grafu je zrejmé, že 41,7% respondentov pociťovalo mierny diskomfort, zatiaľ čo 11,1% pociťovalo stredný a napokon 2,8% pociťovalo silný diskomfort. V skratke povedané, 66,6% respondentov pociťovalo všeobecný diskomfort, čo je relatívne vysoké číslo. Aspekty, ktoré ovplyvňovali tieto výsledky sú: silná námaha očí, rozmazané videnie a vertigo.

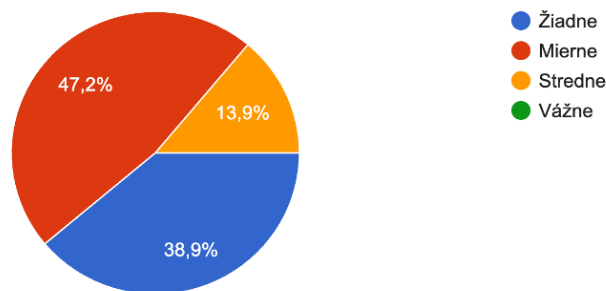
Grafy 6.8, 6.9 a 6.10 zobrazujú pomery respondentov, ktorých tieto aspekty postihli.

Námaha očí
36 odpovedí



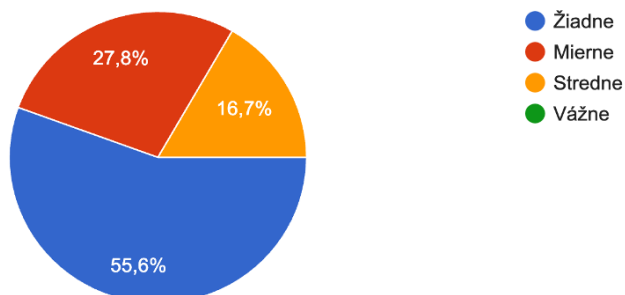
Obr. 6.8: Závislosť skóre VRSQ, GP a SP od vekovej skupiny respondentov

Rozmazané videnie
36 odpovedí



Obr. 6.9: Závislosť skóre VRSQ, GP a SP od vekovej skupiny respondentov

Vertigo (točenie hlavy)
36 odpovedí



Obr. 6.10: Závislosť skóre VRSQ, GP a SP od vekovej skupiny respondentov

Z týchto grafov môžeme jasne povedať, že najväčším problémom pre respondentov boli problémy s očami, ako je rozmazané videnie a silná námaha očí. Tieto

problémy mali ďalej za následok točenie hlavy a v niektorých prípadoch aj závraty. Toto spôsobilo vysokú mieru všeobecného diskomfortu.

6.3.4 Vyhodnotenie hardvéru

V tejto práci boli použité tri typy heliem, popísaných v kapitole 4.3. Všetky helmy mali svoje výhody a nevýhody. Tieto helmy boli zvolené z dôvodu najširšieho používania a dostupnosti na trhu.

- **Oculus Quest 1** - Hardvérovo najslabší a takisto najstarší headset. Aplikácie L-NeRVEn nie je na tomto headsete podporovaná, preto bol tento headset použitý len na testovanie celkovej použiteľnosti a ergonomickosti. Nakoľko je tento headset najstarší predstavoval mnoho problémov s kvalitou obrazu a rozlíšením, čo ovplyvnilo aj celkový pocit ponorenia a imerzie. Jeho nevýhodou je takisto slabá výdrž batérie, ktorá predstavovala veľký problém pri testovaní. Respondenti vypovedali, že headset nepríjemne tlačí na hlavu, je najťažší z trojice heliem a takisto má najhorší spôsob uchytenia na hlavu. Gumený popruh ťahal ženám vlasy, čo pri dlhšom používaní spôsobovalo bolesti hlavy. Možnosti nastavenia vzdialeností obrazoviek medzi sebou sa na prvý pohľad zdá ako dobrý nápad, no nikto s respondentov túto vlastnosť nevyužil.
- **Meta Quest 2** - Tento headset bol použitý ako primárna helma pri testovaní v prvej etape. Respondenti vypovedali, že im headset padá z hlavy a utiahnutie popruhu bolo nepohodlné a nie veľmi efektívne. Headset podporoval funkciu snímania rúk, čo si respondenti pochvalovali. Takisto tento headset podporuje funkciu "SeeThrough", ktorá je veľmi užitočná vlastnosť. Obraz z kamier nie je veľmi ostrý a hlavne je čiernobiely. Napriek tomu respondenti vypovedali, že mali vysoký pocit imerzie, no uviedli pocit nevoľnosti z dôvodu rozmazaného a trhavého obrazu. Táto helma z dôvodu slabšieho hardvéru mala ťažkosti spracovávať vykresľovanie scény, preto mierka vykresľovania bola nastavená na nižšie hodnoty, čo spôsobovalo rozmazaný obraz. Testy ukázali, že ľudia preferujú plynulý obraz nad ostrým obrazom na základe voľby hodnôt mierky vykresľovania.
- **Meta Quest 3s** - Táto helma je hardvérovo najvýkonnejšia, nakoľko sa jedná o najnovší model z tejto trojice heliem. Sýtosť farieb a schopnosť spracovávať náročnejšie scény bola maximálne preferovaná. Respondenti nepociťovali vysokú mieru nevoľnosti z rozmazaného obrazu, hoci ani táto helma

nezabezpečuje dokonalé vykreslenie scény. Farebný obraz v "SeeThrough" režime bol niekoľkonásobne lepší ako v predchádzajúcej verzii. Popruh bol takisto podrobený úpravám a vylepšeniam, čo je značne viditeľné pri porovnaní výpovedí medzi respondentmi. Z týchto dôvodov sme v druhej etape používali túto helmu ako primárnu.

Nakoľko naše predpoklady boli zrejmé, že Meta Quest 3s bude najlepšia voľba pre testovanie vďaka jej hardvérovej a ergonomickej nadradenosti, tieto testovania tento predpoklad potvrdili. Nižšia hmotnosť, pevnejší a kvalitnejší popruh, menšie ovládače a najmä výkon stavia túto helmu na prvé miesto. Nakoľko ako testy ukázali, plynulosť a ostrosť obrazu hrajú kritickú rolu pri vyhodnocovaní nevoľnosti a celkovej použiteľnosti softvéru, odporúčame praktizovať rehabilitáciu s touto variantou alebo s jej ešte výkonnejšou verziou - Meta Quest 3. Je dôležité poznamenať, že toto testovanie bolo vykonané v roku 2025 a teda tieto výsledky sú zohľadnené podľa dostupnosti hardvéru na trhu.

6.4 Spätná väzba používateľov a návrhy na zlepšenie

Táto sekcia zjednocuje pripomienky a komentáre získané zo spracovaných zosynchronizovaných videozáznamov, dotazníkov, poznámok respondentov a osobných rozhovorov. Hlavné problémy boli kategorizované do oblastí súvisiacich s výkonom aplikácie, pohybom v priestore, interakciou s objektmi a používateľským rozhraním.

6.4.1 Výkonnosť a funkčnosť aplikácie

Prvotné spustenie aplikácie spôsobí veľmi intenzívne trhavý obraz, čo má za následok nevoľnosť u respondentov. Šesť z osemnástich respondentov v prvej etape poukázalo na tento problém a vypovedalo, že im bola spôsobená mierna závrať.

Odporúčanie pre budúce úpravy by mohlo byť neskoršie vloženie používateľa do scény, aby sa zabezpečilo, že je scéna úplne načítaná.

Mierka vykreslovania

Aplikácia L-NeRVEn ponúka možnosť zmeny mierky vykreslovania, čo zaručí lepšiu kvalitu obrazu, no zároveň zvyšuje nároky na hardvér. Všetci respondenti si všimli, že pri nastavení mierky vykreslovania na hodnotu 1.3 a vyššiu sa začína obraz trhať, no je omnoho ostrejší. Pri nižšej hodnote mierky vykreslovania

je obraz rozmazaný, no plynulosť obrazu stúpa. Každý z respondentov si udržiavali mierku vykresľovania v intervaloch od 0.8 do 1.3. V tomto intervale bol zachovaný pomer medzi kvalitou a plynulosťou obrazu.

Príliš nízka mierka vykresľovania (0.7 až minimálna možná hodnota) spôsobuje rozmazaný obraz. Plynulosť obrazu dosahuje hodnoty až do 100 FPS, no scéna je nadmieru rozmazaná. Zo všetkých respondentov 16% uvádza, že im to vytvára dojem, ako keby sa pozerali cez okuliare s vysokými dioptrickými hodnotami (v prípade ľudí, ktorí nosia dioptrické okuliare, vypovedali, že im to pripomína pocit, keď sa pozerajú na svet bez okuliari). Na druhú stranu ak bola hodnota priveľmi vysoká (1.5 až maximálna hodnota), obraz bol v prípade helmy Quest 2 nadmieru sekavý. Plynulosť sa hýbala v rozmedzí 15 - 20 FPS, čo spôsobovalo nevoľnosť a závraty. Quest 3s tieto hodnoty zvládala omnoho lepšie, no pri hodnotách vyšších ako 1.6 sa problém rovnako prejavil.

Dôležitým aspektom, ktorý ovplyvňoval plynulosť aplikácie bolo zapnuté zrkadlo. Najvýraznejší pocit pociťovali respondenti na helme Oculus 2 s mierkou vykresľovania hodnoty blízkej 1.1, kedy v momente, keď sa zrkadlo objaví v scéne, softvér zjavne stratí na plynulosti minimálne 10 FPS.

Pri práci s Oculus 3s respondenti vypovedali, že najlepšia voľba je v rozmedzí 1.3 do 1.6. Oculus 3s je hardvérovo výkonnejší ako Oculus 2, teda spracovanie ostrejšieho obrazu je menej náročné. Tým pádom mierka vykresľovania bola nastavená na vyššie hodnoty, čo spôsobilo ostrejší obraz a zároveň nebola spôsobená strata na plynulosti. Z tohto dôvodu môžeme usúdiť, že helma Oculus 3s vďaka svojej hardvérovej nadradenosti poskytla kvalitnejší zážitok.

6.4.2 Pohyb v priestore

Testy ukázali, že najnáročnejšia časť testovania bola pohyb respondentov v priestore. V tejto časti by sme mohli rozdeliť respondentov na vekové skupiny od 18 do 30 rokov a od 50 do 70 rokov.

Respondenti vo veku 18 - 30 rokov

Používatelia boli počas testovania zoznámení s dvoma spôsobmi pohybu- voľný pohyb v priestore a teleportácia. Viac ako 60% respondentov vypovedalo, že voľný pohyb v priestore je maximálne neprirodzený a pociťujú nevoľnosti.

Detailnejší popis nevoľností, ktoré respondenti pociťovali počas voľného pohybu v priestore:

- Silný pocit "točenia" hlavy

- Pocit zvierania žalúdka
- Nutkanie na vracanie
- Zvieranie na hrudi
- Náhle bolesti hlavy

Niektorí respondenti nevedeli presne vyjadriť pocity, ktoré zažívali, preto ich výpovede môžu maximálne potvrdiť alebo vyvrátiť naše pozorovania. Preto, ak respondent uviedol, že sa cíti čudne a je mu pohyb nepríjemný, bolo to považované za nevoľnosť.

Teleportácia

Teleportácia sa ukázala ako príjemnejší spôsob pohybu, no takisto nebola bezchybná. V tomto bode si vieme všimnúť, že ľudia, ktorí vypovedali, že majú skúsenosti s hrami alebo mali tendenciu pracovať s aplikáciami podobného žánru, preferovali pohyb teleportáciou, keďže tento spôsob pohybu nespôsobuje intenzívne nevoľnosti. Na druhej strane ľudia, ktorí nemali tieto skúsenosti vypovedali, že teleportácia je neprirodzený pocit, keďže sa "zrazu ocitnú na inom mieste". Na základe výpovedí respondentov môžeme vo všeobecnosti povedať, že teleportáciu ako spôsob pohybu v priestore preferovalo približne 60% respondentov.

Kombinácia pohybov

Niektorí respondenti (napr. T01 a T11) vypovedali, že používajú kombináciu pohybov. Konkrétne pri testovacom scenári číslo 3, úloha 1, v prvej etape, kedy mali pristúpiť ku krabici za účelom vytiahnutia predmetov, respondenti poznamenali, že pomocou teleportácie sa dostali bližšie ku krabici a následne pomocou voľného pohybu si svoju pozíciu upravili do cieľového bodu.

Nesúlاد výpovede a správania

Naše pozorovania však zachytili nesúlاد medzi výpoveďami a správaním u približne 11% respondentov. Napríklad v prípade respondenta T03, ktorý uvádza, že voľný pohyb spôsoboval veľmi silné závrate a z toho dôvodu preferuje pohyb teleportáciou, sme mohli pozorovať, že podvedome si aj napriek tomu respondent volil možnosť voľného pohybu priestorom. Na základe toho vieme usúdiť, že preferovaný pohyb bol konkrétne u respondenta T03 voľný pohyb priestorom.

Vzťah medzi teleportáciou a rotáciou

Keďže medzi pocitom nevoľnosti spôsobeného voľným pohybom a pocitom nevoľnosti spôsobeného rotáciou existuje silná korelácia, je potrebné sa na tento aspekt pozerať rovnako. **Riešením** by bola rotácia teleportáciou - okamžité otočenie používateľa o X stupňov, nakoľko je používateľovi umožnený pohyb teleportáciou, čo je v podstate okamžitý presun aktéra v rámci scény na vyžiadané miesto. Tento pohyb by mal predísť pocitu nevoľnosti z kontinuálnej rotácie v priestore. Rovnaká mechanika je aplikovaná v Meta Horizon Home, kde okrem teleportácie a rotácie teleportáciou je spôsobené takzvané "Blink teleportation" kde sú pri teleportácii vypnuté obrazovky. To spôsobí pocit vynúteného žmurknutia a následného teleportovania na dané miesto. Tento spôsob pohybu je prirodzenejší, pretože používatelia nevidia náhlu zmenu priestoru, ktorá spôsobuje nevoľnosť. Z toho dôvodu je dobré zvážiť zaviesť tieto mechaniky do aplikácie L-NeRVEn.

Respondenti vo veku 50 - 70 rokov

Respondenti vo vyššom veku boli počas testovania zoznámení s rovnakými spôsobmi pohybu ako respondenti vo veku 18 - 30 rokov. Na rozdiel od prvej skupiny títo ľudia mali minimálne skúsenosti s hrami či inými podobnými aplikáciami, preto im oba spôsoby pohybu prišli neprirodzené.

Pohyb vo virtuálnom svete

Pri voľnom pohybe respondenti uviedli, že pohyb bol príliš rýchly a spôsoboval nesúlad medzi tým čo ich oči vidia a tým, čo robí ich telo. To znamená, že mozog mal problém spracovať situáciu, keď sa končatiny v skutočnosti nehýbu, no zrakový vnem vytvára pocit pohybu či chôdze. Teleportácia bola zo začiatku takisto náročná, no po pár pokusoch si na to respondenti pomaly začali zvykať.

Pohyb v reálnom svete

Najväčší problém, ktorý sa vyskytoval s respondentmi tejto skupiny bol neočakávaný. V momente, kedy bol respondent vyzvaný na zmenu svojej pozície v rámci scény, sa respondenti začali fyzicky hýbať v reálnom svete. Napríklad respondent číslo T14 maximálne preferoval chôdzu v reálnom svete. Respondent sa prudkým krokom pokúsil prejsť cez virtuálnu stenu, čo spôsobilo, že respondent prešiel cez hranicu, ktorá bola vyhradená na pôsobenie vo virtuálnom priestore počas prípravy testovacieho prostredia. Respondenta táto stena maximálne zaskočila a len na upozornenie testovacím asistentom, ktorý videl, že sa respon-

dent približuje prudkým krokom ku stene v reálnom svete, respondent značne spomalil až pri pohľade na hranicu priestoru prudko zastál. Tento test bol dvakrát zopakovaný, no v oboch ďalších pokusoch sa respondent snažil dostať do svojho cieľa fyzickým krokom v reálnom svete. Po upresnení spôsobu pohybu vo virtuálnej scéne si respondent uvedomil, že sa musí hýbať pomocou ovládača a test úspešne dokončil. Tento prípad nám vypovedá, že starší používatelia, z dôvodu kompletného pohltenia virtuálnym priestorom sú presvedčení, že sa v danej scéne naozaj nachádzajú a preto majú tendenciu sa hýbať v reálnom svete.

6.4.3 Interakcia s objektmi

Pozorovanie respondentov pri manipulácii s objektmi prinieslo takisto veľa zaujímavých poznatkov. V tejto časti by bolo vhodné respondentov rozdeliť na technicky zdatnejších a menej zdatných.

Intuitívne uchopovanie predmetov

Pri pokuse vytiahnuť predmet z krabice respondenti, ktorí boli technicky zdatnejší, si dokázali veľmi rýchlo uvedomiť, že laserové ukazovátka, ktoré vychádzajú z rúk avatarov slúžia aj na uchopenie predmetu. Títo ľudia jednoducho namierili ukazovátka do krabice na predmet, ktorého obrys sa zvýraznil, aby používateľ mal istotu, že systém očakáva interakciu s daným objektom, stlačením tlačidla "Trigger" predmet uchopil a mohol s ním manipulovať. Na druhú stranu menej zdatní respondenti mali tendencie uchopovať predmety priamo do ruky avatara. Tento spôsob nie je zlý, práve naopak, je očakávaný a systém sa s ním dokáže vysporiadať. Avšak collider objektu (collider – neviditeľná hranica objektu v Unity, ktorá slúži na detekciu fyzických interakcií) mal tendenciu respondentov odtláčať. To spôsobilo, že respondenti boli neschopní predmet uchopiť, keďže boli konštantne odtláčaní od predmetu a teda naň nedosiahli. V tomto bode respondenti vyhlásili, že uchopenie nie je možné a až po asistencií testovacieho asistenta predmet uchopili pomocou ukazovátka.

Prechytávanie predmetov

Celková interakcia s predmetom obdržala prevažne pozitívne hodnotenia, odhliadnúc od chýbajúcej možnosti rotácie predmetu. Prechytávanie z ruky do ruky respondentom trvalo priemerne okolo 20 sekúnd, kým si kompletne osvojili mechaniku. Prehodenie predmetu vo vzduchu pomocou laserového ukazovátka spôsobovalo všetkým respondentom ťažkosti, no len tí fyzicky najzdatnejší mali naj-

lepšiu motoriku a reflexy, aby dokázali túto úlohu splniť.

Hod predmetom

Hod predmetom bol takisto veľmi pozitívne ohodnotený, kde respondenti skúsili slabšiu a silnejšiu intenzitu hodu. Oba spôsoby splnili očakávania respondentov.

Nevhodne rozmiestnenie tlačidiel

Najčastejším problémom, s ktorým sa stretlo značne vysoké percento respondentov, bolo nevhodné rozmiestnené rozhranie tlačidiel. S týmto problémom sa najviac stretávali respondenti, ktorí boli ľaváci, čo predstavovalo 22% z celkového počtu respondentov. Tlačidlo "Grip" na ľavom ovládači slúži nie len na teleportáciu po priestore, no takisto aj na uchopovanie predmetov. Toto rozmiestnenie je maximálne nepraktické, keďže ľudia s dominantnou ľavou rukou mali tendenciu uchopiť predmet do svojej dominantnej ruky. V prípade, že sa predmet nachádzal na zemi a respondenti sa nachádzali od predmetu ďalej v priestore a pokúsili sa ho uchopiť pomocou laserového ukazovateľa, boli častokrát neumyšľene teleportovaní na miesto, na ktoré mierili. Respondenti mali ťažkosti mieriť presne a výhradne len na ten predmet, aby zabezpečili úchop na diaľku. Keďže ruky nie sú dokonale stabilné, aj minimálne chvenie spôsobilo, že respondent, ktorý pôvodne mieril na objekt, počas stlačenia tlačidla "Grip" neúmysľne pohol rukou mierne do strany. V momente stlačenia tlačidla tak už nemieril priamo na predmet, ale tesne vedľa neho na zem. Preto to systém vyhodnotil ako pokus o teleport a respondenta premiestnil. Túto činnosť respondent neočakáva a ostáva krátku chvíľu zmätený. V prípade 16% respondentov pri pokuse uchopiť predmet, ktorý sa nachádzal blízko steny, sa tento problém vyskytol a nabral závažnejšie následky. Respondenti sa teleportovali do bezprostrednej blízkosti steny, čo spôsobí, že collider steny respondenta odtlačí od steny ďalej. Tento problém spôsobil, že sa respondenti teleportovali tesne za stenu a v momente, keď sa otočili o 180°, collider steny ich odtlačil a respondenti sa prepadli pod textúry, teda sa ocitli mimo scény. V tomto bode nie je možný návrat naspäť do scény a testovací asistent bol nútený aplikáciu reštartovať.

Podobný problém sa vyskytoval aj pri manipulácií s predmetmi v ruke. Keď respondent držal predmet v určitej vzdialenosti od seba (napríklad 3 metre), a potom sa teleportoval čelom k stene (povedzme na vzdialenosť 1 metra), držaný predmet si zachoval svoju pôvodnú vzdialenosť. To spôsobilo, že predmet sa ocitol mimo miestnosti. Používateľ tento predmet stále drží, vie s ním manipulovať,

no pohybom ruky ho do scény nevráti, pretože predmet je za stenou a collider steny cez seba predmet nepustí. Ak ho používateľ upustil, predmet spadol pod textúry mimo scény a viac s nim nie je možné manipulovať.

6.4.4 Používateľské rozhranie a práca s menu

V tejto časti je veľmi dôležité spomenúť jeden z najčastejších problémov aplikácie, ktorým je fakt, že aplikácií chýba jasná a čitateľná pomôcka ovládania. Respondenti mali extrémne ťažkosti si uvedomiť, čo sa ktorým tlačidlom robí. Technicky zdatnejší respondenti vedeli mnoho funkcionálit odhaliť sami, no takisto sa trápili pri pokuse vykonať teleportáciu alebo potvrdiť tlačidlo v menu. Menej skúsení respondenti ani nemali znalosti, že tlačidlo "Grip" existuje aj napriek tomu, že boli o tom pred začatím testovania informovaní.

Z tohto dôvodu by bolo veľkým prínosom, aby sa niekde na stene nachádzal obrázok ovládača s popisom tlačidiel a ich funkcií. Tento obrázok by mal byť dostatočne veľký, aby ho respondenti videli z každého miesta v miestnosti. Týmto spôsobom sa používatelia môžu omnoho skôr naučiť softvér používať.

Menu aplikácie

Veľkou výhodou aplikácie je veľké a dobre čitateľné menu. Rozhranie menu je intuitívne a farebná paleta je veľmi príjemná a pôsobí profesionálne.

Problémy so stláčaním tlačidiel

Pri prvom pokuse s interakciou začalo 89% respondentov hlásiť problémy s preklikávaním sa medzi tabmi a reakciou softvéru na stlačenie tlačidiel. Prvá interakcia s menu (odhliadnúc od interakcie so zrkadlom) je v testovacom scenári 4, test 1, kedy vyzývame respondentov, aby sa s časovým obmedzením pokúsili zmeniť jazyk aplikácie. Vysoké percento respondentov má veľmi vysoký čas pretože sa začnú trápiť s tým, že softvér nereaguje na ich stláčania. V momente, keď čas vyprší a respondenti sa nepohli ďalej, musí testovací asistent zasiahnuť a skúsi upozorniť respondentov, aby skúšali tlačidlo "Trigger" stláčať pomalšie, pretože vtedy aplikácia skôr odchyť daný vstup. V niektorých prípadoch ani tento spôsob nepomôže, tak používatelia sú vyzvaní skúsiť tlačidlá 'X' alebo 'A' na potvrdzovanie. V niektorých prípadoch respondenti stále hlásili, že sa nedokázali pohnúť ďalej. V tomto bode sa testovací asistent snaží respondentov viac usmerniť a zároveň čaká, kým sa respondentom na to podarí prísť.

Zameriavací kríž ako rušivý element

Pri mierení na menu sa po stene hýbe zameriavaci kruh, ktorý ma používateľovi napovedať, kam mieri. Tento zameriavaci kruh je však viditeľný iba ak používateľ ukazuje na objekty v menu, s ktorými sa dá interagovať, napríklad tlačidlá. Akonáhle používateľ prejde rukou mimo takého objektu, zameriavací kruh zmizne. Pri intenzívnejšom manipulovaní s menu je táto vlastnosť mierne rušivý element. Upozornilo na to 27% respondentov.

Zlá čitateľnosť menu

Ďalším dôležitým problémom sa vyskytla zlá čitateľnosť obsahu menu z väčšej vzdialenosti (používateľ sa nachádzal pri protiláhlej stene). Respondenti s diagnostovanou krátkozrakosťou vypovedali ťažkosti s čítaním. Rovnako pri písaní na klávesnici mali problémy vidieť na klávesnicu a vypovedali, že boli nútení písať prevažne po pamäti. Tu by sme radi zdôraznili, že malá klávesnica neznamená len slabú čitateľnosť ale takisto aj problém stlačiť žiadanú klávesu, keďže niektorým respondentom sa triasli ruky viac ako iným, čo spôsobovalo veľmi problematické ovládanie. Riešenie tohto problému je spísane ďalej v tejto kapitole.

Poloha menu

Pri poslednom testovacom scenári číslo 5, ako sedí respondent T14 pri stole a mal potrebu zmeniť isté nastavenia v aplikácii, vypovedal, že je veľmi únavné sa neustále otáčať hlavou o 90° aby mohol tieto nastavenia meniť. Poznamenal, že jednak sú z tejto vzdialenosti menej čitateľné písmená a zároveň ho to unavuje.

Riešenie - levitujúce menu otvoriť a zatvoriť priamo pred očami používateľa v prípade potreby, rovnako, ako to má Meta Horzion Home na tlačidlo "Menu button". Po stlačení tohto tlačidla sa zobrazí pred používateľom levitujúca obrazovka s menu, kde si používateľ môže pozrieť a zmeniť nastavenia. Po stlačení tlačidla "Menu button" sa menu zavrie a používateľ sa môže vrátiť k pôvodnej činnosti. Takáto funkcionality je implementovaná, avšak o nej neexistuje žiadna zmienka a počas testovania na ňu nerazil ani jeden respondent.

Práca so servermi

Ďalší test, ktorý bol náchylný na problémy, bol scenár 4, úloha 7, body (a) a (c), prvej etapy. V prvom rade ak respondent bol vyzvaný pridať novú adresu, 61% respondentov ostali zaseknutí v bode, kedy stláčali tlačidlo "Pridať server"

a vypovedali, že sa nič nedeje a funkcionálna nefunguje. Po uplynutí časového obmedzenia testovací asistent nasmeroval respondentov, aby si uvedomili, že v prvom kroku je potrebné vyplniť IP adresu v "TextBoxe" naľavo od tlačidla "Pridať server". Používatelia preukázali značnú frustráciu a upozornili, že tlačidlo "Pridať server" je omnoho výraznejšie oproti textboxu a že si ten samotný textbox ani nevšimli. Neboli informovaní o tom, že pole textboxu je prázdne, ani neboli žiadnym spôsobom k nemu nasmerovaní. Táto chyba spôsobila, že viac ako polovica respondentov tento test nesplnila, pretože mali pocit, že sa znova stretávajú s problémom slabej reakcie aplikácie na stláčanie tlačidiel. Z tohto dôvodu tlačidlo skúšali opätovne stláčať a bojovali s pocitom, že s nimi softvér "odmieta spolupracovať". Respondenti vypovedali, že po stlačení tlačidla očakávali zobrazenie nového okna, kde bude informácia o tom, ako sa dá pridať validný server.

Bez asistencie testovacieho asistenta nikto z respondentov si neuvedomil, že má zadávať IP adresu, pretože o tom nie je žiadna informácia. Takisto ak respondent zadal akýkoľvek iný text, ktorý je zjavne nevhodný a pokúsil sa ho následne pridať, softvér sa zachoval takým spôsobom, že respondent mal zdanie, že daný text bol akceptovaný. Žiadna informácia o chybe alebo pripomienka typu "zadaná IP adresa nie je validná" nebola zobrazená. Takisto ak respondent zadal validnú IP adresu a pridal ju, žiadna informácia o úspešnom pridaní servera nebola zobrazená. V jedinom prípade, ak používateľ nema žiadnu IP adresu pridanú, teda "ComboBox" pre výber adries je prázdny a používateľ pridá novú adresu, táto adresa sa automaticky zorazí tomto ComboBoxu. Následne ak sa používateľ pokúsi pridať ďalšiu adresu, táto adresa je pridaná na spodok zoznamu, čo znamená na spodok ComboBoxu. Tým pádom respondenti ostali zaskočení a neistí, či sa adresa pridala alebo nie. Aby sa uistili, museli otvoriť ComboBox a v ňom vyhľadať svoju novú adresu.

Tento spôsob núti používateľov zbytočne premýšľať nad primitívnymi úlohami, čo nie je dobrý dizajn podľa Stevea Kruga. V jeho knihe "Don't make me think" [71] zdôrazňuje, že používateľ by mal byť schopný vykonať úlohu bez toho, aby musel premýšľať nad tým, čo má robiť. V tomto prípade by bolo vhodné zobraziť informáciu o tom, že adresa bola pridaná, alebo že adresa nebola pridaná kvôli nevalidite.

Na základe zistených poznatkov, ktoré boli referované vývojovému tímu, bola táto úloha v druhej etape vypustená, z dôvodu časovej tiesne.

Rozloženie tlačidiel

Ako už bolo spomenuté v predošlých sekciách, mapovanie funkcií na tlačidlá nie je intuitívne a bolo by vhodné toto mapovanie upraviť. Podľa výpovede technicky zdatnejších respondentov sme dokázali uvzniesť dva rôzne návrhy tejto problematiky.

Prvý návrh je aby rozloženie tlačidiel bolo na oboch ovládačoch identické. Tým pádom vieme odhliadnuť od toho, či je používateľ pravák alebo ľavák, pretože obe ruky splňajú rovnaký účel. Ak používateľ mieri ma zem, tlačidlom "Grip" sa aktivuje teleportácia a ak mieri používateľ na predmet, uchopovať ho bude tlačidlom "Trigger". Toto rozloženie je relatívne populárne a mnoho ľudí, ktorí používajú VR sú na toto rozloženie zvyknutí. V prípade potreby sa funkcionality týchto tlačidiel vymeniť, aby teleportácia prebiehala tlačidlom "Trigger" a uchopenie predmetu tlačidlom "Grip". Podstata tohto návrhu je zachovanie uniformity a intuitívnosti. Rovnako by sa týmto spôsobom predišlo vykonávaniu nechcenej teleportácie, keď používateľ netrafí uchopením predmet, ktorý sa nachádza na zemi. Vo všeobecnosti taktiež nie je veľmi vhodné mať na jednom tlačidle namapované rôzne funkcionality. Rovnako tak ak používateľ mieri na menu, potvrdzovanie tlačidiel je vykonávané tlačidlom "Trigger" s oboma rukami.

Druhý návrh by zachoval rozdielnosť ovládačov, kde teleportácia je namapovaná na ľavom ovládači, tak ako to je vo verzii 1.0.5, no bolo by vhodné pridať možnosť výmeny dominantnej ruky. Ak zámer tejto idei bol umožniť teleportáciu s menej dominantnou rukou, aby mohol používateľ so svojou dominantnou rukou vykonávať inú činnosť, tak v tomto prípade by bolo vhodné umožniť používateľovi si vybrať pravú alebo ľavú ruku ako dominantnú.

Avšak z nášho pohľadu a z pohľadu najvhodnejšieho UX by sme silno odporúčili použiť prvý návrh, kvôli jeho intuitívnosti, uniformite a najmä častému využitiu v iných aplikáciách.

Rehabilitačné cvičenie

Vo všeobecnosti hodnotili respondenti tieto cvičenia veľmi pozitívne a vypovedali, že by nemali problém rehabilitovať v tomto prostredí častejšie. Približne 40% respondentov vo veku 50 - 75 rokov uviedli, že sa im skúsenosť páčila a radi by testovanie zopakovali. Keďže spravidla sme respondentov vo vyššom veku z dôvodu vyššej náročnosti testovali iba v role pacienta, títo respondenti boli podrobení druhému kolu testovania, kde si vyskúšali rolu terapeuta. Technicky zdatnejší respondenti odhalili spôsoby testovania, teda že ich sústredenie na pohyb

rukou nemá žiadny vplyv na systém, čo značne znížilo ich skúsenosť. Ostatní respondenti ocenili plynulosť a presvedčivosť animácie ruky a vypovedali, že systém je presvedčivý a mali skutočne pocit, že daným predmetom hýbali.

Na druhu stranu sa miestami vyskytli problémy pri testovaní, kedy terapeut videl, že pacient rukou hýbe, no pacientovi sa animácia nespustila. Podobne respondenti vypovedali, že sa nenachádzajú pri stole, hoci z druhej helmy ich bolo vidieť pri stole. Tieto problémy boli veľmi zriedkavé a častokrát sa jednoduchým odpojením a pripojením sa naspäť na server tento problém vyriešil.

7 Vyhodnotenie

V tejto kapitole si zhrnieme všetky výsledky a zistenia, ktoré vyplývajú z testovania. V prílohe uvádzame jednotlivé tabuľky spojené do komplexnej tabuľky, obsahujúcej subjekty, časy zvládnutia úloh, dotazníky a subjektívne poznámky. Z tejto komplexnej tabuľky sme vytvorili komplexnú korelačnú tabuľku, kde sme zisťovali vzťahy medzi jednotlivými aspektmi. Následne sme vytvorili kontingenčné tabuľky a kontingenčné grafy, kde sa vyhodnocujú jednotlivé korelácie. V ďalšom kroku sme sa rozhodli na základe zadaných bodov diplomovej práce aplikovať SWOT analýzu, ktorá nám umožní prehľadne identifikovať silné a slabé stránky testovaného systému, ako aj príležitosti a hrozby, ktoré sa ukázali počas testovania používateľského rozhrania vo virtuálnej realite.

7.1 SWOT analýza

Táto metóda poskytne komplexný pohľad na aktuálny stav a potenciál ďalšieho vývoja systému z hľadiska používateľskej skúsenosti.

7.1.1 Silné stránky

V tejto sekcii sa pozrieme na silné stránky testovaného systému. Tieto faktory sú dôležité pre úspech a akceptáciu systému používateľmi.

1. **Intuitívne ovládanie** - Používatelia sa rýchlo naučili ovládať systém a jeho funkcie, čo prispelo k pozitívnej skúsenosti.
2. **Silná prítomnosť a imerzia** - Používatelia sa cítili ako súčasť virtuálneho prostredia, čo zvyšovalo ich angažovanosť a záujem o systém.
3. **Vysoké SUS skóre** - Takmer 60% používateľov hodnotilo systém ako veľmi dobrý a užívateľsky prívetivý.
4. **Zaujímavý koncept** - Takmer všetci používatelia sa zhodli na tom, že systém je zaujímavý a má potenciál pre ďalší rozvoj.

5. **Vhodná voľba farebnej palety** - Používatelia vypovedali, že síce systém nevyzerá realistickejšie, ako skutočný svet, no aj napriek tomu sa naň dobre pozerá.
6. **Nízke NASA-TLX skóre** - Nízke skóre (takmer 24.57) naznačuje, že používatelia pociťovali nízku úroveň záťaže.
7. **Prispôsobenie prostredia** - Možnosť prispôbiť si prostredie a nastavenia systému bola hodnotená pozitívne, čo prispelo k lepšiemu zážitku používateľov.

Aplikácia má vysoký potenciál pre ďalší rozvoj a zlepšenie. Všetky silné stránky naznačujú, že systém je užívateľsky prívetivý a má dobré predpoklady na úspech. Používatelia vo všeobecnosti nepociťovali žiadne vážne problémy so systémom. Systémové nedostatky sú ďalej popísané v nasledujúcej sekcii.

7.1.2 Slabé stránky

Táto sekcia popisuje slabé stránky a nedostatky systému, ktoré vyplývajú z testovania.

1. **Neostrý obraz** - 47.2% používateľov uviedlo, že obraz v systéme nie je dostatočne ostrý, čo môže ovplyvniť ich skúsenosť.
2. **Slabšie hodnotené aspekty v menu** - Niektoré funkcie, ako napríklad práca so servermi a zapnutie hudby, boli hodnotené slabšie, čo naznačuje potrebu zlepšenia.
3. **Nevhodne rozhranie tlačidiel** - Ako naše objektívne pozorovanie preukázalo a rovnako ako niektorí používatelia uviedli, rozhranie tlačidiel nie je dostatočne intuitívne a môže spôsobiť zmätok.
4. **Vysoké VRSQ skóre** - 70.4% používateľov uviedlo, že pociťujú prinajmenšom miernu nevoľnosť, čo naznačuje, že systém môže spôsobiť niektorým používateľom nepríjemné pocity.

Ako popisujeme v kapitole 6.4, niektoré z týchto nedostatkov sú spôsobené technickými obmedzeniami a niektoré sú výsledkom nevhodného návrhu používateľského rozhrania. Napriek týmto slabým stránkam sa systém ukázal ako užívateľsky prívetivý a má potenciál na ďalší rozvoj.

7.1.3 Príležitosti

V tejto sekcii sa pozrieme na príležitosti, ktoré môžu prispieť k ďalšiemu rozvoju systému. Tieto faktory môžu pomôcť zlepšiť systém a zvýšiť jeho akceptáciu používateľmi.

1. **Zníženie VRSQ skóre** - Zníženie miery VR nevoľností a zlepšenie ostrosti obrazu môžu prispieť k lepšej používateľskej skúsenosti.
2. **Automatizácia rehabilitácie** - Možnosť automatizácie rehabilitácie a zlepšenie funkcií systému môžu prispieť k jeho rozvoju a zvýšeniu jeho hodnoty pre používateľov.
3. **Zlepšenie spätnej väzby systému pri interakciách** - Zlepšenie spätnej väzby systému pri interakciách prispeje k lepšej použiteľnosti systému.
4. **Podpora prístupnosti** - Možnosť nastavenia veľkosti písmen, hlasové ovládanie či režim s obmedzeným pohybom (najmä pre ľudí trpiacich silným diskomfortom) môžu prispieť k lepšej použiteľnosti systému.

Tieto príležitosti predstavujú stručný prehľad možných vylepšení systému. Z hľadiska efektívneho plánovania vývoja odporúčame zamerať sa na ich implementáciu v čo najskoršej fáze ďalšieho vývoja.

7.1.4 Hrozby

V tejto sekcii identifikujeme faktory, ktoré môžu negatívne ovplyvniť ďalší rozvoj alebo používanie systému. Včasná identifikácia týchto hrozieb umožňuje prijať opatrenia na ich elimináciu alebo minimalizáciu vplyvu.

1. **Technologické limity hardvéru** – Slabší výkon VR zariadení môže spôsobovať vyššiu latenciu, zníženú plynulosť alebo zhoršenú grafickú kvalitu, čo vedie k nepríjemným zážitkom.
2. **Vysoké VRSQ skóre u citlivých používateľov** – U časti používateľov môžu aj po optimalizáciách pretrvávať symptómy nevoľnosti, čo znižuje ich ochotu opakovane používať systém.
3. **Zvýšenie komplexnosti systému v dôsledku nových funkcií** – Pridávanie nových funkcií, ako sú pokročilé režimy interakcie, nastavenia prístupnosti alebo automatizácia úloh, môže viesť k zvýšeniu komplexnosti používateľského rozhrania, čo môže negatívne ovplyvniť učiteľnosť systému, najmä pre nových alebo menej technicky zdatných používateľov.

4. **Nedostatočné testovanie špecifických skupín** – Ak sa systém netestuje na rôznych vekových alebo zdravotných skupinách, môže sa prehliadnuť dôležitý aspekt použiteľnosti alebo prístupnosti.

Tieto faktory môžu negatívne ovplyvniť celkovú použiteľnosť systému a jeho akceptáciu používateľmi. Preto je dôležité zohľadniť tieto aspekty pri ďalšom vývoji a vykonávať kontinuálne testovanie, ktoré odhalí nové problémy a nedostatky.

8 Záver

Cieľom práce bolo sledovať dopad virtuálnej reality na používateľov, predovšetkým ich subjektívne pocity a názory pri práci s VR technológiou. V práci sme použili softvér zameraný na rehabilitáciu vo virtuálnej realite, nakoľko ide o oblasť, ktorá môže mať významný spoločenský dopad. Počas testovania sme pracovali so vzorkou 54 respondentov v rôznych vekových kategóriach, s rôznymi skúsenosťami s používaním tejto technológie a takisto s rôznym vzdelaním a zamestnaním, aby sme pokryli čo najväčšie spektrum používateľov. Nakoľko je toto spektrum rozmanité, považujeme túto vzorku za príliš malú a odporúčame pokračovať v testovaní. Práca s ľuďmi priniesla viaceré výzvy, ktoré si vyžiadali prispôbovanie a občas aj improvizáciu. Našťastie takých situácií nebolo veľa a tie ktoré vznikli boli označené ako výnimočné.

Napriek všetkým problémom a nedostatkom, sa nam podarilo uvzniesť všeobecné závery, ktoré je potrebné zohľadniť nie len pri vývoji aplikácie, ale aj pri nasledujúcom testovaní. Hodnotenie celkovej použiteľnosti systému a náročnosti pracovania vo virtuálnej realite je veľmi široké spektrum, kde hraje úlohu množstvo faktorov, ktoré sa navzájom ovplyvňujú. Preto odporúčame venovať nasledujúce testovania špecifickým aspektom a stanoviť si jasné ciele, ktoré chceme dosiahnuť.

Na základe získaných skúseností a výsledkov testovania poskytneme odporúčania pre lepšie a výstižnejšie testovanie.

1. **Zachovať rovnomernú vzorku respondentov** - Kladieme silný dôraz na zachovanie rovnomernej vzorky respondentov, aby sme získali presnejšie a reprezentatívnejšie výsledky. V našom prípade sme mali 54 respondentov, z ktorých 26 bolo žien a 28 mužov. Toto zastúpenie je akceptovateľné, vekový pomer je nevyvážený. Vzorka respondentov bola zložená prevažne z mladých ľudí vo veku 20-30 rokov a starších ľudí vo veku 60-75 rokov. Stredná veková skupina (30-60 rokov) bola zastúpená len minimálne. V budúcnosti odporúčame zamerať sa na vyváženie vekových skupín, aby sme získali presnejšie výsledky. Toto platí rovnako ako pre vekové kategórie, tak

aj pre ostatné aspekty, ako je napríklad vzdelanie, technická zdatnosť a iné.

2. **Nezasahovať do testovania** - V našom prípade sme boli nútení slovne zasahovať do testovania, keďže testovací asistent zadával respondentom úlohy a v prípade komplikácií im pomáhal. Odporúčame, aby testovací asistent zasahoval len v prípade, ak sa respondent dostane do slepej uličky a nevie si poradiť s úlohou. V tomto prípade by však bolo vhodné takúto úlohu vyhodnotiť ako zlyhanie. Rovnako zadávanie úloh by bolo vhodné realizovať pomocou predpísaných pokynov, ktoré by boli zverejnené na obrazovke, priamo v aplikácii. Tým sa zabezpečí, že testovací asistent len spustí aplikáciu, nasadí helmu a necháva respondenta samého pracovať na úlohách. Tento aspekt je dôležitý pre zlepšenie pocitu imerzie, pretože ak sa používateľ nachádza vo virtuálnom prostredí a niekto naňho rozpráva z reálneho sveta, značne to znižuje pocit imerzie.
3. **Zachovať uniformitu úloh** - Pre dosiahnutie presných výsledkov je dôležité každému respondentovi zadávať nie len rovnaké úlohy, ale aj zadávať ich identickým spôsobom. Improvizácia počas testovania môže viesť k nepresným výsledkom. V našom prípade sme sa snažili dodržiavať rovnaké zadávanie úloh, no niektoré úlohy boli zadane rôznymi spôsobmi. Odporúčame vytvoriť presný plán testovania, ktorý bude obsahovať všetky úlohy a spôsob ich zadávania. V ideálnom prípade by sme odporúčali zachovať aj rovnaké prostredie, v ktorom sa testovanie uskutočňuje. V našom prípade sme testovali systém v rôznych prostrediach, čo mohlo ovplyvniť výsledky. Preto odporúčame testovať systém v rovnakých podmienkach, aby sa získali presnejšie výsledky.
4. **Skrátiť dĺžku testovania** - Testovanie by malo mať svoje špecifické zameranie a nemalo by trvať dlhšie ako 30 minút. V našom prípade sme testovali systém takmer v priemere zhruba 45 minút v druhej etape a viac ako 60 minút v prvej etape, čo spôsobilo zvýšenú nevoľnosť respondentov. Odporúčame skrátiť dĺžku testovania na maximálne 30 minút a zamerať sa na konkrétne aspekty aplikácie, aby sa predišlo únave respondentov a zníženiu ich pozornosti.
5. **Tvorba videozáznamov** - Videozáznamy boli neodmysliteľnou súčasťou testovania. Testovací asistent mal počas testovania mnoho práce s prípravou prostredia, zadávaním úloh a poznamkovaním si správania respondentov. Počas týchto činností je viac než pravdepodobné, že testovací asistent pre-

hliadne niektoré aspekty správania respondentov, ktoré by mohli byť dôležité pre vyhodnotenie testovania. Odporúčame preto tvoriť bezkompromisne záznamy z testovania, ktoré môžu byť podrobené detailnej analýze, ako napríklad počet klikov potrebných pre splnenie úlohy, či zachytenie nekonzistentností v systéme. Pri našom testovaní v prvej etape mali respondenti možnosť videozáznam odmietnuť, čo spôsobilo, že sme nemohli spracovať kompletne výsledky testovania, ako napríklad zaznamenať dĺžky trvania plnenia uloh. Rovnako je potrebné zabezpečiť videozáznam z tretej osoby, aby sme mohli porovnať aktivitu respondenta v systéme s jeho správaním v reálnom svete.

6. **Redukovanie dotazníkov** - Veľké množstvo otázok síce poskytne mnoho odpovedí no je maximálne vyčerpávajúce pre respondentov. Z toho dôvodu odporúčame redukovať počet dotazníkov na minimum a zamerať sa na najdôležitejšie aspekty, ktoré chceme testovať. V našom prípade sme testovali čo najširšie spektrum aspektov, čo spôsobilo, že sme potrebovali veľké množstvo dotazníkov. Preto odporúčame predložiť človeku jeden, maximálne dva dotazníky, s maximálne 20 otázkami dokopy. Nútiť respondentov vyplňať mnoho otázok môže spôsobiť frustráciu a teda skresliť výsledky.

Tieto odporúčania vychádzajú z identifikovaných nedostatkov a chýb, ktoré sa vyskytli počas testovania v praktickej časti práce. Ich uplatnenie môže výrazne prispieť k zvýšeniu kvality budúcich testovaní a k získaniu presnejších a spoľahlivejších výsledkov.

Literatúra

1. NIELSEN, Jakob. *The Definition of User Experience (UX)*. 2025. Dostupné tiež z: <https://www.nngroup.com/articles/definition-user-experience/>. Accessed: 2025-03-10.
2. CAREERFOUNDRY. *The Difference Between UX and UI Design: A Layman's Guide*. 2025. Dostupné tiež z: <https://careerfoundry.com/en/blog/ux-design/the-difference-between-ux-and-ui-design-a-laymans-guide/>. Accessed: 2025-03-10.
3. BERNI, Aurora; BORGIANNI, Yuri. From the Definition of User Experience to a Framework to Classify Its Applications in Design. In: *Proceedings of the Design Society: ICED21*. 2021, s. 1627–1636. Dostupné z doi: 10.1017/pds.2021.424. Accessed: 2025-03-10.
4. NIELSEN, Jakob. *10 Usability Heuristics for User Interface Design* [<https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>]. Nielsen Norman Group, 1994. Prístup: 22. februára 2025.
5. MAITRA, Udit. *Measuring the User Experience: Type of Metrics in User Experience*. 2025. Dostupné tiež z: <https://medium.com/design-bootcamp/measuring-the-user-experience-type-of-metrics-in-user-experience-19bac66efeb9>. Accessed: 2025-03-10.
6. SHNEIDERMAN, Ben; PLAISANT, Catherine; COHEN, Max; JACOBS, Steven. *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*. 5th. Addison-Wesley, 2010. ISBN 978-0321537355.
7. MAITRA, Udit. *A Complete Guide for Eye-Tracking Testing in UX Research*. 2019. Dostupné tiež z: <https://maitraudit.medium.com/a-complete-guide-for-eye-tracking-testing-in-ux-research-a3f95d617590>. Accessed: 2025-03-10.

8. SKARBEZ, Richard; BROOKS, Anthony L.; SLATER, Mel. A Psychophysical Experiment Regarding Components of the Plausibility Illusion. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* [online]. 2017, roč. 23, č. 4, s. 1369–1378 [cit. 2025-03-10]. Dostupné z doi: 10.1109/TVCG.2017.2657238.
9. MINSKY, Marvin. Telepresence. *Omni*. 1980, roč. 2, s. 45–51. Dostupné tiež z: <https://philpapers.org/rec/MINT>.
10. STEUER, Jonathan. Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence. *Journal of Communication*. 1992, roč. 42, č. 4, s. 73–93. Dostupné z doi: 10.1111/j.1460-2466.1992.tb00812.x.
11. BIOCCA, Frank. The Cyborg's Dilemma: Progressive Embodiment in Virtual Environments. *Journal of Computer-Mediated Communication*. 1997, roč. 3, č. 2. Dostupné z doi: 10.1111/j.1083-6101.1997.tb00070.x.
12. LOMBARD, Matthew; DITTON, Theresa. At the Heart of It All: The Concept of Presence. *Journal of Computer-Mediated Communication*. 1997, roč. 3, č. 2. Dostupné z doi: 10.1111/j.1083-6101.1997.tb00072.x.
13. PAROLA, Alberto; BRONDINO, Matteo; PARATI, Claudio. Virtual Reality in Psychology: A Preliminary Study on the Effectiveness of Serious Games in Elderly. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022, roč. 19, č. 3, s. 1234. Dostupné z doi: 10.3390/ijerph19031234.
14. WATERWORTH, Eva Lindh; WATERWORTH, John A. Focus, Locus, and Sensus: The Three Dimensions of Virtual Experience. *CyberPsychology and Behavior*. 2001, roč. 4, č. 2, s. 203–213. Dostupné z doi: 10.1089/109493101300117883.
15. SLATER, Mel. Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* [online]. 2009, roč. 364, č. 1535, s. 3549–3557 [cit. 2025-03-10]. Dostupné z doi: 10.1098/rstb.2009.0138.
16. SLATER, Mel; WILBUR, Sylvia. A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. 1997, roč. 6, č. 6, s. 603–616. Dostupné z doi: 10.1162/pres.1997.6.6.603.
17. WITMER, Bob G.; SINGER, Michael J. Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. 1998, roč. 7, č. 3, s. 225–240. Dostupné z doi: 10.1162/105474698565686.

18. PERROUD, B.; RÉGNIER, S.; KEMENY, A.; MÉRIENNE, F. Model of realism score for immersive VR systems. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 2017, roč. 50, s. 108–123. Dostupné z doi: 10.1016/j.trf.2017.06.007.
19. SCHUBERT, Thomas; FRIEDMANN, Frank; REGENBRECHT, Holger. A Questionnaire to Measure the User Experience in Immersive Virtual Environments. *ResearchGate* [online]. 2016 [cit. 2025-03-10]. Dostupné z : https://www.researchgate.net/publication/301558848_A_Questionnaire_to_Measure_the_User_Experience_in_Immersive_Virtual_Environments.
20. LALLEMAND, Carine; KOENIG, Vincent. *User Experience: Methodological Challenges and Best Practices*. London: Springer, 2017. ISBN 978-3-319-58633-9.
21. NIELSEN, Jakob. *Usability Engineering*. Morgan Kaufmann, 1993. ISBN 978-0125184069. Dostupné tiež z: <https://www.nngroup.com/books/usability-engineering/>.
22. NIELSEN, Jakob. *Thinking Aloud: The #1 Usability Tool*. 2025. Dostupné tiež z: <https://www.nngroup.com/articles/thinking-aloud-the-1-usability-tool/>. Accessed: 2025-03-10.
23. NIELSEN, Jakob. *Why You Only Need to Test with 5 Users*. 2000. Dostupné tiež z: <https://www.nngroup.com/articles/why-you-only-need-to-test-with-5-users/>. Accessed: 2024-10-10.
24. *Igroup Presence Questionnaire (IPQ) Overview* [<https://www.igroup.org/pq/ipq/index.php>]. [B.r.]. Prístup: 22. februára 2025.
25. LEWIS, James R.; SAURO, Jeff. What Does the System Usability Scale (SUS) Measure? In: *Advances in Usability and User Experience*. Springer, 2018, zv. 607, s. 213–222. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Dostupné z doi: 10.1007/978-3-319-91797-9_25.
26. IJSSELSTEIJN, Wijnand; KORT, Yvonne de; POELS, Karolien. *Game Experience Questionnaire (GEQ)*. 2008. Dostupné tiež z: https://pure.tue.nl/ws/files/21666907/Game_Experience_Questionnaire_English.pdf. Accessed: 2025-03-10.
27. LESSITER, Jane; FREEMAN, Jonathan; KEOGH, Edmund; DAVIDOFF, Jules. A Cross-Media Presence Questionnaire: The ITC-Sense of Presence Inventory. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. 2001, roč. 10, č. 3, s. 282–297. Dostupné z doi: 10.1162/105474601300343612.

28. NASA Task Load Index [<https://digital.ahrq.gov/health-it-tools-and-resources/evaluation-resources/workflow-assessment-health-it-toolkit/all-workflow-tools/nasa-task-load-index>]. Agency for Healthcare Research a Quality, [b.r.]. Prístup: 22. februára 2025.
29. LIKERT, Rensis. A Technique for the Measurement of Attitudes. *Archives of Psychology*. 1932, roč. 22, s. 1–55. Dostupné tiež z: <https://archive.org/details/likert-1932>. Accessed: 2025-03-10.
30. META FOR WORK. *What's the difference between AR, VR and MR?* 2024. Dostupné tiež z: <https://forwork.meta.com/blog/difference-between-vr-ar-and-mr/>. Accessed: 2025-03-10.
31. HOFFMAN, David M.; GIRSHICK, Ahna R.; AKELEY, Kurt; BANKS, Martin S. Vergence–accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue. *Journal of Vision*. 2008, roč. 8, č. 3, s. 33. Dostupné z DOI: 10.1167/8.3.33.
32. YASSI, Annalee. Repetitive strain injuries. *The Lancet*. 1997, roč. 349, č. 9056, s. 943–947. Dostupné z DOI: 10.1016/S0140-6736(96)07221-2.
33. NGUYEN, Jilian; SMITH, Clinton; MAGOZ, Ziv; SEARS, Jasmine. Screen door effect reduction using mechanical shifting for virtual reality displays. In: *Optical architectures for displays and sensing in augmented, virtual, and mixed reality (AR, VR, MR)*. SPIE, 2020, zv. 11310, s. 200–210.
34. JONES, Brennan; ZHANG, Yaying; WONG, Priscilla N. Y.; RINTEL, Sean. Belonging There: VROOM-ing into the Uncanny Valley of XR Telepresence. *Proc. ACM Hum.-Comput. Interact.* 2021, roč. 5, č. CSCW1. Dostupné z DOI: 10.1145/3449133.
35. HILLMANN, Cornel. The History and Future of XR. In: *UX for XR: User Experience Design and Strategies for Immersive Technologies*. Berkeley, CA: Apress, 2021, s. 17–72. ISBN 978-1-4842-7020-2. Dostupné z DOI: 10.1007/978-1-4842-7020-2_2.
36. BARGAS-AVILA, Javier A.; HORNBÆK, Kasper. Old wine in new bottles or novel challenges? A critical analysis of empirical studies of user experience. *ACM SIGCHI*. 2011, roč. 27, č. 3, s. 595–608. Dostupné z DOI: 10.1145/1978942.1979022.

37. BROOKE, John. SUS: A "quick and dirty" usability scale. In: JORDAN, Patrick W.; THOMAS, Bruce; WEERDMEEESTER, Bernard A.; MCCLELLAND, Ian L. (ed.). *Usability Evaluation in Industry*. London: Taylor & Francis, 1996, s. 189–194.
38. BANGOR, Aaron; KORTUM, Philip T.; MILLER, James T. An empirical evaluation of the System Usability Scale. *International Journal of Human-Computer Interaction*. 2008, roč. 24, č. 6, s. 574–594. Dostupné z doi: 10.1080/10447310802205776.
39. LEWIS, James R. The System Usability Scale: Past, present, and future. *International Journal of Human-Computer Interaction*. 2018, roč. 34, č. 7, s. 577–590. Dostupné z doi: 10.1080/10447318.2018.1455307.
40. WEBSTER, John; DUES, Michael. Comparison of Usability in Virtual Reality Headsets using the System Usability Scale. *Journal of Virtual Reality Research*. 2017, roč. 10, č. 2, s. 45–60. Dostupné z doi: 10.1234/jvr.2017.0023.
41. VOIGT-ANTONS, Jan-Niklas et al. Influence of Hand Tracking as a Way of Interaction in Virtual Reality on User Experience. *arXiv preprint*. 2020. Dostupné tiež z: <https://arxiv.org/abs/2004.12642>.
42. GREPON, Lucas; MARTINEZ, Elena. Usability Evaluation of VR Architectural Simulations Using the System Usability Scale. *Journal of Virtual Architecture and Design*. 2021, roč. 15, č. 3, s. 87–102. Dostupné z doi: 10.5678/jvad.2021.0035.
43. SCHUBERT, Thomas; FRIEDMANN, Frank; REGENBRECHT, Holger. The experience of presence: Factor analytic insights. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. 2001, roč. 10, č. 3, s. 266–281. Dostupné z doi: 10.1162/105474601300343603.
44. VARŠOVÁ, Kristína; JURÍK, Vojtěch; JANOUŠEK, Oto. Stavová úzkosť po vystavení výškovej situácii vo virtuálnej realite – rola pocitov prítomnosti a stelesnenia. In: *Kognícia a umelý život 2023: zborník príspevkov*. Univerzita Komenského v Bratislave, 2023. Dostupné tiež z: <https://cogsci.fmph.uniba.sk/kuz2023/files/zbornik/varsova.pdf>.
45. JØRGENSEN, Rasmus Leth; ØSTERGAARD, Doris; NIELSEN, Jørgen Bergdahl; JENSEN, Mads Christian Dagnis; EIKA, Berit; KONGE, Lars; RINGSTED, Charlotte. Using Virtual Reality Head-Mounted Displays to Assess Skills in Advanced Life Support: Instrument Validation Study. *JMIR Serious Games*. 2021, roč. 9, č. 2, e27000. Dostupné z doi: 10.2196/27000.

46. BERKMAN, Mehmet İlker; ÇATAK, Güven. I-group Presence Questionnaire: Psychometrically Revised English Version. *ResearchGate*. 2021. Dostupné tiež z: https://www.researchgate.net/publication/355234929_I-group_Presence_Questionnaire_Psychometrically_Revised_English_Version.
47. HART, Sandra G.; STAVELAND, Lowell E. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In: *Advances in Psychology*. North-Holland, 1988, zv. 52, s. 139–183. Dostupné z doi: 10.1016/S0166-4115(08)62386-9.
48. HART, Sandra G. NASA-Task Load Index (NASA-TLX); 20 years later. In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. Sage Publications, 2006, zv. 50, s. 904–908. Č. 9. Dostupné tiež z: https://human-factors.arc.nasa.gov/groups/TLX/downloads/HFES_2006_Paper.pdf.
49. VIRTANEN, Kai; MANSIKKA, Heikki; KONTIO, Helmiina; HARRIS, Don. Weight watchers: NASA-TLX weights revisited. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*. 2022, roč. 23, č. 6, s. 725–748. Dostupné z doi: 10.1080/1463922X.2021.2000667.
50. WIKSTRÖM, Valtteri; MARTIKAINEN, Silja; FALCON, Mari; RUISTOLA, Juha; SAARIKIVI, Katri. Collaborative block design task for assessing pair performance in virtual reality and reality. *Heliyon*. 2020, roč. 6, č. 9, e04823. Dostupné z doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04823.
51. HUANG, Yihan; ZHANG, Kun; WANG, Hao-Chuan. Exploring User Perceptions of Virtual Reality Scene Design in Metaverse Learning Environments. *arXiv preprint arXiv:2311.10256*. 2023. Dostupné tiež z: <https://arxiv.org/abs/2311.10256>.
52. ZHENG, Bin; JIANG, Xin; TIEN, Guangxing; MENEGHETTI, Adam; PANTON, Ormond N. M.; ATKINS, M. Stella. Workload assessment of surgeons: correlation between NASA TLX and blinks. *Surgical Endoscopy*. 2012, roč. 26, č. 10, s. 2746–2750. Dostupné z doi: 10.1007/s00464-012-2268-6.
53. HOLDNACK, James A; BRENNAN, Patricia Flatley. Usability and Effectiveness of Immersive Virtual Grocery Shopping for Assessing Cognitive Fatigue in Healthy Controls: Protocol for a Randomized Controlled Trial. *JMIR Research Protocols*. 2021, roč. 10, č. 8, e28073. Dostupné z doi: 10.2196/28073.
54. SAURO, Jeff. *MeasuringU: NASA TLX* [<https://measuringu.com/nasa-tlx/>]. [B.r.]. Prístup: 22. februára 2025.

55. JOSUPEIT, Judith. Cybersickness as the virtual reality sickness questionnaire (VRSQ) measures it!? – an environment-specific revision of the VRSQ. *Frontiers in Virtual Reality*. 2023, roč. 4, s. 1291078. Dostupné z doi: 10.3389/frvir.2023.1291078.
56. KIM, Hyun K.; PARK, Jaehyun; CHOI, Yeongcheol; CHOE, Mungyeong. Virtual reality sickness questionnaire (VRSQ): Motion sickness measurement index in a virtual reality environment. *Applied Ergonomics*. 2018, roč. 69, s. 66–73. ISSN 0003-6870. Dostupné z doi: 10.1016/j.apergo.2017.12.016.
57. NEHILA, Andrej. *Kolaboratívne prostredie pre simuláciu a testovanie interakcie používateľov*. Košice, Slovensko, 2020. Dostupné tiež z: https://hron.feituke.sk/~korecko/zavPr/DP_Nehila.pdf. Dipl. pr. Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky.
58. ROSIPAL, R.; KOREČKO, S.; ROŠŤÁKOVÁ, Z.; PORUBCOVÁ, N.; VANKO, M.; SOBOTA, B. Towards an Ecologically Valid Symbiosis of BCI and Head-Mounted VR Displays. In: *2022 IEEE 16th International Scientific Conference on Informatics (Informatics)*. IEEE, 2022, s. 251–256. Dostupné z doi: 10.1109/Informatics57768.2022.9997865.
59. PROKOP, Natanael. *Používateľský zážitok vo virtuálnych prostrediach a jeho vyhodnocovanie*. Košice, 2023.
60. LIBRARY, York University. *Oculus Quest Guide v1.10*. 2022. Dostupné tiež z: <https://www.library.yorku.ca/ds/wp-content/uploads/2022/08/Oculus-Quest-guide-v1.10.pdf>. Accessed: 2025-02-25.
61. LIBRARY, York University. *Oculus Quest 2 Guide v1.10*. 2022. Dostupné tiež z: <https://www.library.yorku.ca/ds/wp-content/uploads/2022/08/Oculus-Quest-2-guide-v1.10.pdf>. Accessed: 2025-02-25.
62. MORAN, Kate; NIELSEN, Jakob. *Usability Testing with Users: Best Practices and Practical Tips*. Nielsen Norman Group, 2018. Dostupné tiež z: <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>.
63. HAN, Dongyun; CHO, Isaac. Evaluating 3D User Interaction Techniques on Spatial Working Memory for 3D Scatter Plot Exploration in Immersive Analytics. *arXiv preprint arXiv:2308.13955*. 2023.
64. VOIGT-ANTONS, Jan-Niklas; KOJIĆ, Tanja; ALI, Danish; MÖLLER, Sebastian. Influence of Hand Tracking as a way of Interaction in Virtual Reality on User Experience. *arXiv preprint arXiv:2004.12642*. 2020.

65. *AR/VR Testing Tutorial – How To Perform AR/VR Testing* [<https://www.softwaretestingmaterial.com/ar-vr-testing/>]. Software Testing Material, [b.r.]. Prístup: 22. februára 2025.
66. JIMENEZ, Cristhy; ALLENDE-CID, Hector; FIGUEROA, Ismael. PROMETHEUS: PROcedural METHodology for developing HEuristics of USability. *arXiv preprint arXiv:1802.10121*. 2018. Dostupné tiež z: <https://arxiv.org/pdf/1802.10121>.
67. *Čo je testovanie systému? Podrobný prehľad prístupov, typov, nástrojov, tipov a trikov a ďalších informácií* [<https://www.zaptest.com/sk/co-je-testovanie-systemu-podrobny-prehľad-prístupov-typov-nástrojov-tipov-a-trikov-a-dalsich-informacii>]. ZAPTEST, [b.r.]. Prístup: 22. februára 2025.
68. GEEK, Usability. *How To Use The System Usability Scale (SUS) To Evaluate The Usability Of Your Website*. n.d. Dostupné tiež z: <https://usabilitygeek.com/how-to-use-the-system-usability-scale-sus-to-evaluate-the-usability-of-your-website/>. Accessed: 2025-02-23.
69. MEASURINGU. *The NASA-TLX: How to Use It and Interpret the Results*. n.d. Dostupné tiež z: <https://measuringu.com/nasa-tlx/>. Accessed: 2025-02-23.
70. KISK, Design. *System Usability Scale – Merač Použitelnosti*. 2020. Dostupné tiež z: <https://medium.com/design-kisk/system-usability-scale-meradlo-pou%C5%BEite%C4%BEnosti-6e2a95f8b73f>. Accessed: 2025-02-24.
71. KRUG, Steve. *Don't Make Me Think, Revisited: A Common Sense Approach to Web Usability*. 3. vyd. Berkeley, CA: New Riders, 2013. Voices That Matter. ISBN 9780321965516.

Zoznam príloh

Príloha A CD médium — záverečná práca v elektronickej podobe,

Príloha B Videozáznamy – vo forme MP4 a MOV,

Príloha C Grafy a tabuľky – vo forme XLSX

Príloha D Písomný súhlas respondentov – vo forme pdf

Obsah prílohy A:

- Adresár doc – obsahuje túto prácu v digitálnej forme

Obsah prílohy B:

- Adresár TXY – adresáre obsahujúce videozáznamy z testovania, XY - ID respondenta
 - Videozáznam - spracované – videozáznamy z testovania spracované videozáznamy z testovania
 - Videozáznam - surové – espracované, "surové" videozáznamy z testovania
 - Poznámky – spracované poznámky z testovania

Obsah prílohy C:

- Hárok Kompletná tabuľka + korelačná tabuľka - súhrn všetkých tabuliek, zdrojová tabuľka pre korelačné a kontingenčné tabuľky
- Hárok Respondenti - tabuľka všetkých respondentov
- Hárok Výsledky korelácií - tabuľka vybraných korelácií
- Hárok Grafy výsledkov - vybrané kontingenčné grafy podľa výsledkov korelácií

- Hárok Respondenti rozbor - rozdelenie respondentov podľa pohlavia, veku a vzdelania
- Hárok Subjektívne poznámky - rozdelenie poznámok respondentov, popisuje počet ľudí, ktorí uviedli daný komentár (kontingenčná tabuľka nadväzujúca na kompletnú tabuľku Subjektívnych poznámok)
- Hárok Časové vyhodnotenie úloh - tabuľka časov úloh, zoradená podľa dĺžky času