

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
DATORIKAS FAKULTĀTE

**DAŽĀDU SIMETRIJU TELPU UZTVERE
VIRTUĀLAJĀ VIDĒ**

MAGISTRA DARBS

Autore: **Marija Isupova**

Stud. apl. Nr. mi13010

Darba vadītājs: profesors, Dr.phil. Jurgis Šķilters

RĪGA 2021

ANOTĀCIJA

Virtuālās realitātes izmantošanai ir liels potenciāls telpiskās navigācijas pētīšanā, jo tā sniedz iespēju simulēt jebkuras telpas - gan reālas, gan imagināras, tajā pašā laikā lietotājam radot iegremdēšanās sajūtu virtuālajā vidē. Maģistra darbā virtuālās realitātes tehnoloģijas tika izmantotas, lai pārbaudītu, vai telpas spoguļsimetrija ietekmē spēju tajā orientēties. Simetrija ir viens no fundamentālajiem jēdzieniem cilvēka uztverē, tāpēc var sagaidīt, ka telpas simetrijas manipulēšana ietekmēs spēju atrast ceļu tajā. Eksperimenta veikšanai tika izstrādāta virtuālā vide, izmantojot *Unity* spēļu dzini. Pētījuma rezultātā tika novērota tendence uz to, ka ceļa atrašanai nepieciešamais laiks simetriskajās telpās ir īsāks, salīdzinot ar telpām, kurās simetrija ir izjaukta, kā arī subjektīvi tika uztverts, ka atrast ceļu tajās ir vieglāk.

Atslēgvārdi: virtuālā realitāte, telpiskā uztvere, telpiskā navigācija, simetrija, Unity

ABSTRACT

The use of virtual reality is very prospective for studying spatial navigation since it enables simulating any spaces, both real and imaginary, also providing an immersive virtual environment for the user. In the "Perception of spaces with different symmetry in virtual environment" Master's thesis, virtual reality technologies were used to verify that the reflection symmetry of space can influence the users' ability to navigate it. Symmetry is one of the fundamental concepts in human perception, so it can be expected that manipulating the symmetry of the environment can affect the wayfinding ability in it. For the experiment, a virtual environment was developed using the *Unity* game engine. It was observed that the time elapsed for wayfinding tasks was less in spaces with the reflection symmetry than in less symmetric spaces and that symmetric spaces were subjectively easier to navigate.

Keywords: virtual reality, spatial cognition, spatial navigation, symmetry, Unity

AUTOREFERĀTS

Maģistra darba ietvaros tika veikta literatūras izpēte par cilvēka telpiskās navigācijas mehānismiem, cilvēka simetrijas uztveri, un to, kā var izmantot virtuālās realitātes tehnoloģijas telpiskās uztveres pētījumos. Darba autore izstrādāja eksperimentu, kura ietvaros pārbaudīja, vai pastāv atšķirības navigācijā telpā ar spoguļsimetrijas elementiem un telpā, kurā šī simetrija ir izjaukta. Eksperimenta vajadzībām tika radītas divas 3D virtuālās vides un lietotne eksperimenta veikšanai. Lietotnes izstrādei tika lietots *Unity* spēļu dzinis un *C#* programmēšanas valoda. Eksperimenta dati tika uzglabāti *MongoDB* datubāzē, saziņa ar kuru tika nodrošināta ar *Node.js* tīmekļa servera starpniecību, kurš savukārt bija izstrādāts, lietojot *JavaScript* programmēšanas valodu. Dati tika vizualizēti un analizēti, izmantojot *R* valodu. Eksperimentā iegūtie rezultāti, kuri pārklājās ar iepriekš veiktajiem un maģistra darbā aprakstītajiem pētījumiem, atbilst sagaidāmajam.

Virtuālās tehnoloģijas ierīces kļūst ar katru gadu lētākas un pieejamākas, un to potenciālu pētījumos, kur ir nepieciešama kontrolēta un viegli pārveidojama vide, ir grūti pārvērtēt. Virtuālā realitāte spēj radīt iegremdēšanās sajūtu, kad lietotājam šķiet, ka viņš tiešām fiziski atrodas virtuālajā telpā. Virtuālajā vidē ir iespējams uzkonstruēt tādas vides, kuras pēc struktūras un savstarpējo telpu izvietojuma ir vienādas, bet atšķiras ar simetrijas pakāpi. Reālajā vidē tādas telpas uzkonstruēt būtu sarežģīti. Ar telpu simetriju saistītie pētījumi virtuālajā realitātē gandrīz nebija veikti iepriekš.

Darba autore patstāvīgi projektēja un izstrādāja maģistra darbā lietoto programmatūru eksperimenta veikšanai, lietojot *Unity* spēļu dzināja iespējas, tajā iebūvētas programmatūras pakotnes un bezmaksas pieejamos *Unity Asset Store* platformā 3D modeļus. *Node.js* tīmekļa serveris arī tika patstāvīgi izstrādāts, lietojot *Express* programmatūras ietvaru. Programmatūras pirmkods ir pieejams darba autores *GitHub* repozitorijā, saite uz kuru ir pieejama maģistra darba 1. pielikumā. Darba ietvaros izstrādātā programmatūra ir detalizēti aprakstīta 4. nodaļā.

Darbs tika noformēts atbilstoši Latvijas Universitātes Datorikas fakultātes maģistra darba izstrādes un aizstāvēšanas metodiskiem norādījumiem. Darbā ir izmantoti 107 avoti, no kuriem 77 ir raksti zinātniskajos žurnālos, raksti konferenču rakstu krājumos un grāmatas.

SATURA RĀDĪTĀJS

APZĪMĒJUMU SARAKSTS.....	7
IEVADS	8
1. CILVĒKA TESPISKĀS NAVIGĀCIJAS MEHĀNISMI.....	10
1.1. Dinamiskā informācijas atjaunošana pārvietošanās procesā.....	10
1.2. Kognitīvās kartes.....	11
1.3. Telpas mērogi.....	13
1.4. Individuālās atšķirības telpiskās navigācijas kontekstā.....	14
1.5. Navigācija un arhitektūras dizains	15
2. SIMETRIJAS UZTVERE.....	17
2.1. Fundamentālā simetrijas uztvere.....	17
2.2. 3D objektu simetrijas uztvere.....	18
2.3. Simetrija arhitektūrā.....	19
3. VIRTUĀLĀS REALITĀTES TEHNOLOĢIJAS	22
3.1. Virtuālā realitāte telpiskās uztveres pētījumos.....	23
3.2. Pārvietošanās VR	25
3.3. Kiberslimība.....	26
3.4 Ceļa atrašana virtuālajā un fiziskajā realitātē.....	27
4. EKSPERIMENTA DIZAINS UN METODOLOĢIJA.....	29
4.1. Eksperimenta uzdevumi un darbplūsma.....	30
4.2. Unity spēļu dzinis.....	31
4.3. Eksperimenta vižu izstrāde.....	32
4.3.1. Unity ainu struktūra.....	35
4.3.2. VR integrācija	37
4.4. Ietvars attālināto pētījumu veikšanai.....	39
4.5. Pētījuma dalībnieku raksturojums	40
4.5.1. 1. eksperiments.....	40
4.5.2. 2. eksperiments.....	43
5. PĒTĪJUMA DATU ANALĪZE	48
5.1. Datu sagatavošana.....	48
5.2. 1. eksperimenta datu analīze	51
5.3. 2. eksperimenta datu analīze	57
5.4. 1. eksperimenta un 2. eksperimenta savstarpēja salīdzināšana	63

5.5. Eksperimentu rezultāti.....	65
REZULTĀTI.....	68
SECINĀJUMI.....	70
IZMANTOTĀ LITERATŪRA UN AVOTI.....	72
PIELIKUMI.....	81
1. pielikums. Eksperimenta projekta pirmkods.....	82
2. pielikums. Saite uz 1. eksperimentu.....	83
3. pielikums. Saite uz 2. eksperimentu.....	84
4. pielikums. Montekarlo simulācijas 1. eksperimenta izlases kopai.....	85
5. pielikums. <i>TutorialManager.cs</i> klase apmācību loģikas kontrolēšanai.....	87
6. pielikums. <i>CollectItems.cs</i> klase savākto objektu piefiksēšanai.....	90
7. pielikums. <i>InputTracker.cs</i> klase eksperimenta dalībnieka ceļa pierakstam.....	92
8. pielikums. <i>Node.js</i> servera pirmkods.....	95

APZĪMĒJUMU SARAKSTS

VR – virtuālā realitāte (*Virtual Reality*)

XR – saliktā realitāte (*Extended Reality*)

HMD – uzgalvas displejs (*Head-Mounted Display*)

UI – lietotāja saskarne (*User Interface*)

API – lietojumprogrammu saskarne (*Application Programming Interface*)

UML – vienotā modelēšanas valoda (*Unified Modelling Language*)

XML – paplašināmās marķēšanas valoda (*eXtensible Markup Language*)

fMRI – funkcionālā magnētiskā rezonanse (*Functional Magnetic Resonance Imaging*)

IEVADS

Telpiskā navigācija ir intensīvi pētīta nozare kognitīvajās zinātnēs, neirozinātnēs, telpiskās informācijas apstrādes sistēmās, kā arī datorzinātnēs, tajā skaitā mākslīgā intelekta pētniecībā. Viens no nozīmīgākajiem notikumiem šajā nozarē bija 1948. gada Tolmana raksta publikācija [1], kur viņš eksperimentu sērijā parādīja, kā žurkas veido telpas izkārtojuma mentālo karti, kuru viņš nosauca par kognitīvo karti. Kopš tā laika parādījās daudz pētījumu par gan cilvēku, gan dzīvnieku navigāciju [2]. Tehnisko līdzekļu pieejamība ļāva īstenot sarežģītākus eksperimentus, piemēram, izmantojot funkcionālās magnētiskās rezonanses caurskates (fMRI) metodi [3], pētīt smadzeņu aktivitāti, veicot navigācijas uzdevumus, vai pētīt telpiskās navigācijas procesu virtuālajā realitātē [4], kura ļauj simulēt jebkuru iespējamo telpu. Šī pētniecība kulminējās 2014. gadā piešķirtajā Nobela prēmijā E. un B. Moseriem, kā arī Dž. Okīfam “par šūnu atklāšanu, kas veido pozicionēšanas sistēmu smadzenēs”. Šis atklājums potenciāli palīdzēs atrisināt plašu cilvēka navigācijas jautājumu spektru, sākot ar to, kāpēc cilvēks mēdz apmaldīties savā dzimtajā pilsētā, beidzot ar to, kādi procesi notiek smadzenēs, attīstoties Alcheimera slimībai [5].

Vislielākā virtuālās realitātes izmantošanas priekšrocība telpiskās navigācijas pētīšanā ir iespēja simulēt jebkuras telpas - gan reālas, gan imagināras, kā arī tās telpas tiek pilnībā kontrolētas. Joprojām tiek diskutēts, cik lielā mērā rezultātus, kuri tika iegūti virtuālajā realitātē, var pārnest uz navigāciju reālajā telpā, bet ir vairāki pēdējo gadu pētījumi, kuros nav bijusi konstatēta nozīmīga atšķirība [6,7]. No otras puses, tiek uzskatīts, ka navigācijas procesā cilvēks aktīvi izmanto arī ķermeņa informāciju (vestibulārus un proprioceptīvus signālus jeb signālus no maņu un muskuļu receptoriem) [8] un, atkarībā no virtuālās realitātes ierīces, šī pieredze var nebūt pilnībā simulēta. Jāņem vērā arī citi virtuālas realitātes briļļu ierobežojumi, piemēram, viena no biežākām sūdzībām ir šūpes kaite [9], kā arī vads, kurš savieno brilles un datoru, mēdz ierobežot kustību un traucēt iegremdēšanos. Šīs problēmas tiek pakāpeniski risinātas, jo tirgū ir aizvien vairāk lētāku un pieejamāku bezvadu briļļu ar lielu ekrāna izšķirtspēju un augstu ekrāna frekvenci, kas samazina nepatīkamu efektu varbūtību [10].

Virtuālās realitātes tehnoloģijas ļauj pētīt arī to, kā mainās uztvere, mainot dažādas telpas īpašības. Piemēram, tika parādīts, ka cilvēkiem vairāk patīk telpas, kuras tika konstruētas izmantojot izliektas (apaļīgas) formas, salīdzinot ar telpām, kur ir daudz šauro leņķu [11]. Runājot par navigāciju, ir zināms, ka, piemēram, griestu augstums ietekmē spēju atrast nepieciešamo maršrutu - jo augstāki griesti, jo ātrāk cilvēki spēj tikt ārā no labirinta [12].

Cilvēka uztvere ir īpaši jūtīga pret simetriju. Simetrija pastāv dabā visos mērogos, kā arī ir bieži sastopama mākslīgajā vidē (var iedomāties krēslu vai divriteni), daļēji tāpēc, ka simetriskām būtnēm (cilvēkiem) ir vieglāk mijiedarboties ar simetriskiem objektiem [13]. Līdz ar to, simetrija ir bieži sastopama arī arhitektūrā un dažādu telpu uzbūvē. Neskatoties uz to, telpu simetrijas ietekme uz navigāciju gandrīz nav pētīta, it īpaši virtuālās realitātes kontekstā.

Maģistra darba mērķis ir veikt literatūras avotu izpēti par simetrijas uztveri, navigācijas mehānismiem un navigācijas pētījumiem virtuālajā realitātē, kā arī veikt eksperimentu par dažādu simetriju telpu uztveri virtuālajā vidē. Darba mērķa sasniegšanai ir izvirzīti sekojoši **uzdevumi**:

- Izpētīt cilvēka telpiskās navigācijas mehānismus, cilvēka simetrijas uztveri un virtuālās realitātes pielietojumiem navigācijas pētniecībā;
- Izstrādāt navigācijas eksperimenta virtuālajā vidē dizainu;
- Uzprojektēt 3D modeļus dažādu simetriju virtuālajām telpām;
- Izstrādāt programmatūru eksperimentu veikšanai, kā arī infrastruktūru eksperimenta datu glabāšanai;
- Veikt eksperimentā iegūto datu analīzi un izdarīt secinājumus.

1. CILVĒKA TELPISKĀS NAVIGĀCIJAS MEHĀNISMI

Navigācija ietver sevī vairākus procesus: pārvietošanās plānošana caur telpu, pozīcijas atjaunošana un orientēšanās pārvietošanās laikā un apmaldīšanās gadījumā, pārorientēšanās un pārvietošanās turpinājums galamērķa virzienā [14]. Viens no veidiem, kā aprakstīt, kā cilvēks navigē telpā, ir divu komponentu sistēma, no kurām viena ir dinamiska informācijas atjaunošana pārvietošanās procesā (*path integration*) un otra ir kognitīvās kartes veidošana, kura apkopo telpisko atmiņu par vietām, telpiskajiem orientieriem un to savstarpējo izvietojumu [15]. Ir būtiski, ka kognitīvās kartes ietver ne tikai telpisko informāciju, bet arī emocijas un subjektīvas asociācijas [16]. Šajā nodaļā tiek detalizēti aprakstīti šie mehānismi.

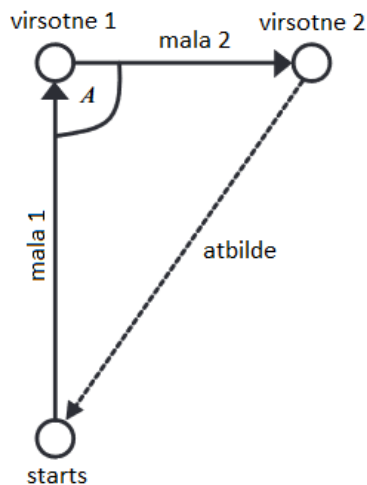
1.1. Dinamiskā informācijas atjaunošana pārvietošanās procesā

Ar dinamisko informācijas atjaunošanu pārvietošanās procesā ir domāta ķermeņa informācijas izmantošana. Sākot kustību, vestibulārā sistēma izmanto informāciju par kustības izmaiņām un līdzsvara noturēšanu, lai noteiktu lineāro paātrinājumu vai palēninājumu. Savukārt, izmantojot šo informāciju, var aptuveni noteikt kustības ātrumu un, teorētiski, noieto attālumu [17]. Lai izvērtētu, cik precīza ir kustības ātruma novērtēšana, izmantojot vestibulāro aparātu, ir jānoteic, cik precīza ir cilvēka laika uztvere. Pētījumi rāda, ka cilvēka laika uztvere ir diezgan neprecīza: palielinoties laika intervāla ilgumam, pagājušā laika uztvere kļūst mazāk precīza [18], kā arī tā ir atkarīga no apkārtējās vides [19]. Tas nozīmē, ka izmantojot tikai informāciju no vestibulārās sistēmas, nevar panākt precīzu attāluma novērtējumu.

Bez vestibulārās sistēmas navigācijas procesā ir iesaistīta arī proprioceptīvā sistēma, kura izmanto signālus no muskuļiem un locītavām. Tā ir spēja sajūst un kontrolēt muskuļu pielikto spēku un spiedienu. Bez šīs sistēmas pilnvērtīgas funkcionēšanas nav iespējams veikt precīzas kustības, līdz ar to arī pilnvērtīgi navigēt telpā [20]. Ejot vai skrienot kaut kādā virzienā, notiek kāju kustības, no šo kustību leņķa un ātruma, kā arī no spēka, ar kuru kājas atsit pret zemi, var noteikt kustības ātrumu un noieto attālumu [21].

Beidzot, navigējot, ir izmantota arī optiskā informācija, kura nav tiešā veidā saistīta ar telpisko orientieru atpazīšanu. Optiskā plūsma, kas ir ātrums, ar kuru apkārtējie vizuālie objekti pārvietojas, salīdzinājumā ar to, kas veic kustību, arī ļauj novērtēt noieto attālumu [22]. Tā, izmantojot informāciju no vairākām organisma sistēmām, var panākt, ka informācija par apkārtējo vidi tiek dinamiski atjaunota kustības procesā.

Viens no eksperimentiem, kurš demonstrē vestibulārās un proprioceptīvās sistēmas nozīmi navigācijas procesā, ir trijstūra pabeigšanas eksperiments, kura ietvaros dalībniekiem ir ierobežota pieeja vizuālajai informācijai. Vispirms viņi tiek pavadīti gar trijstūra divām malām, pēc tam dalībniekiem tiek prasīts novērtēt nepieciešamo attālumu un leņķi, lai pabeigtu trijstūri [23]. Trijstūra pabeigšanas eksperimenta shēma ir parādīta attēlā 1.1.



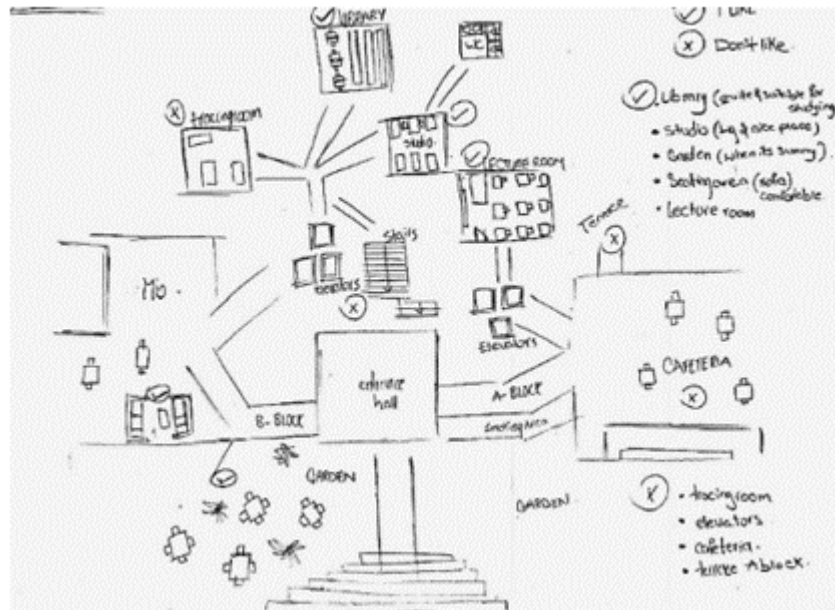
1.1.att. Trijstūra pabeigšanas eksperimenta shēma. 1. un 2. malas ir fiksētas, 3. mala ir atbilde [24]

Originālā eksperimenta ietvaros tika konstatēts, ka īstais pagrieziena leņķis un malas garums ir stipri korelēti. No citas puses, tika arī konstatēts, ka dalībnieki vidēji pārāk par zemu novērtē gan pagrieziena leņķi, gan attālumu, kuru ir nepieciešams noiet. Var secināt, ka arī bez vizuālajiem stimuliem var samērā sekmīgi navigēt mazajās telpās, tomēr tie joprojām ir nepieciešami precīzo leņķu un attālumu noteikšanai.

1.2. Kognitīvās kartes

Otrais mehānisms, kurš ir iesaistīts navigācijas procesā, ir kognitīvās kartes, kuras ir kādas vides mentālā reprezentācija. Tās ir būtiski atšķirīgas no kartogrāfiskām kartēm, kuras precīzi attēlo detaļas un attālumus. Kognitīvās kartes ir drīzāk topoloģiskas, tātad saglabā attiecības starp objektiem, nevis precīzo ģeometrisko informāciju. Arī ļoti liela detalizācijas pakāpe nav obligāti nepieciešama, lai veiksmīgi navigētu telpā. Kognitīvās kartes no kartogrāfiskajām kartēm atšķir arī tas, ka tās ir paredzētas navigācijai no pirmās personas skatiena, nevis skatoties uz vidi no augšas [15]. Tipisks veids, kā pētīt kognitīvās kartes, ir uzdevumi, kuri ir saistīti ar kartes skici zīmēšanu, bet jāņem vērā, ka skice tomēr ir mēģinājums attēlot mentālo reprezentāciju uz papīra, un tajā var

parādīties arī kartogrāfisko karšu īpašības, tādas kā skats no augšas. Attēlā 1.2 ir kognitīvās kartes skices piemērs.



1.2.att. Arhitektūras studenta universitātes teritorijas kognitīvās kartes skice [25]

Sīgels un Vaits (*Siegel & White*) izdalīja trīs zināšanu tipus, kuri ir nepieciešami, lai konstruētu un izmantotu kognitīvās kartes: orientieru zināšanas, ceļu zināšanas un mērījumu zināšanas. Orientieru zināšanas ir informācija par konkrētajām vides iezīmēm, piemēram, konkrēto objektu klātbūtni noteiktajā vidē. Ceļu zināšanas ir informācija par pārvietošanās veidiem no vienas lokācijas uz citu. Citiem vārdiem, orientieri ir kognitīvās kartes punktveida elementi, un ceļi ir kognitīvās kartes līnijveida elementi. Trešais zināšanu tips ir mērījumu zināšanas, kuras tiek integrētas metriskās informācijas veidā par savstarpējo orientieru izvietojumu un novērtēto attālumu starp tiem. Kartogrāfiskā karte, ja tiek pareizi izmantota, var paplašināt cilvēka mērījumu zināšanas [26]. Jautājums par to, cik lielā mērā cilvēks integrē no pieredzes iegūto metrisko informāciju kognitīvajās kartēs, ir plaši diskutēts. Pētījumi liecina, ka drīzāk dominē navigācijas stratēģija, kura ir balstīta uz orientieriem un aptuveno mērījumu informāciju, kura tiek iegūta no sensoriskās sistēmas [27].

Ar orientieriem ir cieši saistīts arī enkuru punktu jeb vienkārši enkuru jēdziens, kurš ir definēts enkuru punktu teorijas ietvaros. Gan orientieri, gan enkuri ir vizuālas vides iezīmes, ar to atšķirību, ka orientieri mēdz būt vieni un tie paši dažādu cilvēku uztverē, bet enkuri ir individuālo kognitīvo karšu īpašības. Kaut arī daži konkrēta indivīda kognitīvās kartes enkuri var būt konkrēti

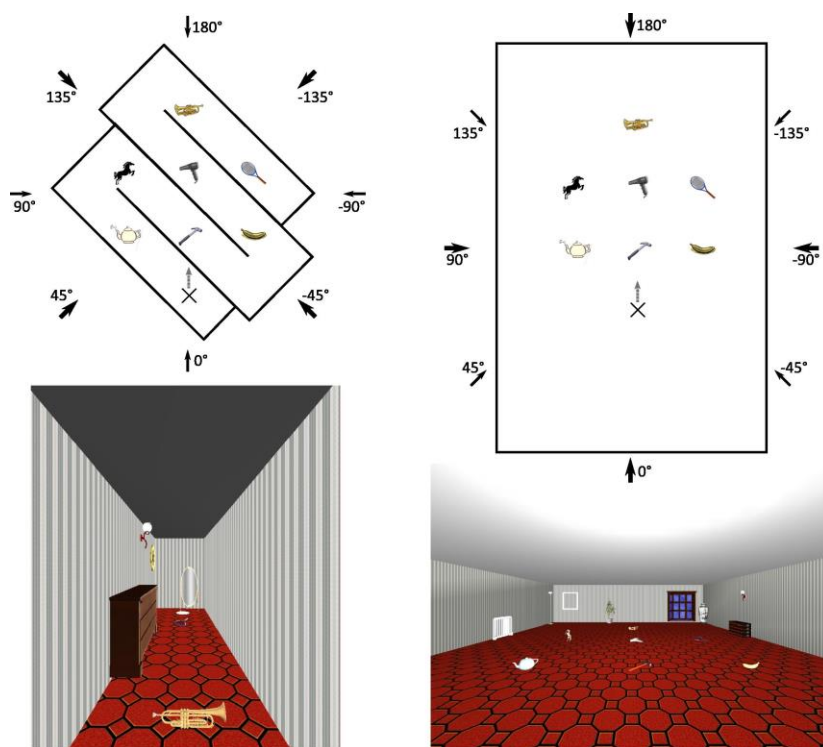
lokālie orientieri, daudzi no tiem (tādi kā mājas vai darbs) ir pārāk personīgi, lai tie būtu nozīmīgi citiem. Visnozīmīgākā enkuru īpašība ir tāda, ka tie ir saistīti ar kognitīvās vides hierarhisko reprezentāciju. Visbūtiskākās telpas iezīmes jeb primārie enkuri (visbiežāk sastopamais tāds enkurs ir mājas) piesaista mazāk būtiskas iezīmes, kuras savukārt darbojas kā enkuri vēl mazāk būtiskām iezīmēm. Tā enkuri palīdz organizēt telpisko kognitīvo informāciju un strukturēt kognitīvās kartes.

Kaut arī kognitīvo karšu teorija ir diezgan populāra, jāpiemin, ka tā bieži tiek arī kritizēta. Piemēram, tiek teoretizēts, ka cilvēka uztverē apkārtējā vide tiek transformēta, tātad vides mentālajai reprezentācijai jābūt ne-Eklīda, līdz ar to kognitīvās kartes nav piemērotas tam, lai attēlotu šādu mentālo reprezentāciju [28]. Kognitīvo karšu teorija neizskaidro arī to, kāpēc dažiem cilvēkiem navigācijas procesā veidojas kartei līdzīgas mentālās vides reprezentācijas, bet citi atceras daudz neprecīzāko informāciju [29]. Neskatoties uz to, kognitīvo karšu teorija joprojām ir lietderīga telpiskās uztveres un telpiskās navigācijas pētīšanā, jo tā joprojām ir ērta metafora, lai aprakstītu to, kā tiek mentāli reprezentēta telpiskā informācija.

1.3. Telpas mērogi

No telpas mēroga ir atkarīgs tas, kā šī telpa tiks uztverta un mentāli reprezentēta. Montello piedāvāja iedalīt telpas dažādās grupās pēc to izmēra: maza mēroga, istabas lieluma telpas, kuras var būt apskatītas no viena skatupunkta; liela mēroga telpas, kuras var izpētīt, tikai pārvietojoties tajās (tātad ir nepieciešama informācijas, kura tika iegūta kādā laika periodā, apkopošana); ģeogrāfiskā telpa, kura ir pārāk liela, lai to izpētītu tikai pārvietojoties pa to, bet to ir iespējams izpētīt, izmantojot simboliskās reprezentācijas, piemēram, kartogrāfiskās kartes [30]. Šī darba ietvaros tiks apskatītas tikai tādas telpas, kuras var izpētīt, pārvietojoties tajās.

Viena no maza un liela mēroga telpu uztveres atšķirībām ir tāda, ka attālums starp objektiem tiek uztverts dažādi atkarībā no tā, vai objekti atrodas tajā pašā telpā, vai tie tiek atdalīti ar necaurspīdīgo sienu: otrajā gadījumā attālums vidēji tiek uztverts kā lielāks [31]. Virtuālās realitātes pētījumā tika parādīts, ka maza mēroga telpā dalībnieki spēja ar lielāko precizitāti atcerēties objekta pozīciju, salīdzinot ar telpām, kuras tika atdalītas ar sienām [32]. Šī pētījuma telpu shēma un objektu izkārtojums ir parādīti attēlā 1.3.



1.3.att. Liela un maza mērogu telpu shēma un objektu izkārtojums, kurš tika izmantots pētījumā par necaurspīdīgo robežu ietekmi uz spēju atcerēties objektu pozīcijas [32]

1.4. Individuālās atšķirības telpiskās navigācijas kontekstā

Navigācijas pētniecībā būtiskas kļūst navigācijās prasmju individuālās atšķirības: daži cilvēki dabiski spēj ātrāk iemācīties navigēt nezināmajā telpā, atcerēties telpiskos orientierus un veikt citus saistītus ar navigāciju uzdevumus. Zinātniskā pētījuma kontekstā šo problēmu var daļēji atrisināt ar izlases randomizāciju, lai saprastu, kā navigē tipiskais cilvēks, tomēr telpiskās navigācijas prasmju vidējo atšķirību starp dažādām demogrāfiskām grupām nevar ignorēt.

Telpiskās navigācijas spējas ir nozīmīgi atkarīgas no vecuma. Grūtības navigācijas procesā ir bieža veselīgas novecošanas sūdzība. Vecāka gadagājuma cilvēki paši par sevi ziņo, ka viņiem ir grūtības liela mēroga telpu navigācijā, un viņi bieži mēdz izvairīties no nezināmajiem maršrutiem un ceļiem, kā arī cenšas nebraukt uz nezināmajām vietām. Interesanti, ka, ja ir pieejama proprioceptīvā informācija (tā var nebūt pieejama, ja, piemēram, navigācija notiek virtuālajā telpā), tad navigācijas spēju atšķirības starp dažādām vecuma grupām kļūst mazākas [33]. Šī darba ietvaros tas nozīmē, ka, veicot eksperimentu, ir jāapzinās, ka pētījuma dalībnieku vecuma grupas var ietekmēt iegūto rezultātu.

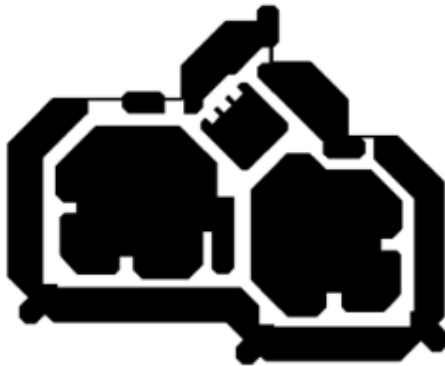
Navigācijas spējas var ietekmēt arī stress. Augsts stresa līmenis ietekmē telpisko atmiņu un spēju plānot ceļu, stresa ietekmē ir novērojama tendence izvēlēties un paļauties uz pazīstamiem ceļiem, nevis izmantot jaunus, bet īsākus ceļus [34]. No citas puses, stresa izjūta var likt neapzināti mainīt navigācijas stratēģiju: tiek paaugstināta preference alocentriskajai navigācijas stratēģijai (novērtējot savstarpējo orientieru izvietojumu) pretstatā egocentriskajai stratēģijai (novērtējot orientieru izvietojumu no sava skatupunkta) [35].

Bez pieminētajiem faktoriem telpiskās navigācijas prasmes var ietekmēt arī iepriekšējā pieredze, piemēram, ceļošanas pieredze [36] vai datorspēļu spēlēšanas pieredze [37], kā arī ir labi dokumentētas dzimumu atšķirības telpiskās uztveres kontekstā: sievietes veic ar telpiskām prasmēm saistītos uzdevumus vidēji sliktāk nekā vīrieši [38]. Visi šie apsvērumi ir jāņem vērā, analizējot eksperimenta gaitā iegūtos datus.

1.5. Navigācija un arhitektūras dizains

No arhitektūras viedokļa ir nozīmīgi saprast, kā telpas īpašības ietekmē spēju tajā orientēties. Šajā kontekstā bieži tiek pieminēta tā saucamā telpas sarežģītība. Viens no veidiem, kā to izmērīt, ir aprēķināt vidējo izvēļu skaitu punktos, kur ir jāpieņem lēmums (piemēram, iet pa labi, pa kreisi vai turpināt ceļu uz priekšu) [39]. Tika parādīts, ka telpas, kurām šī metrika ir lielāka, tiešām tika uztvertas kā sarežģītākas, kā arī navigācijas laiks līdz mērķim šādās telpās ir bijis lielāks [40].

Vēl viena pazīme, kura, pēc novērojumiem, ietekmē navigācijas sarežģītību, ir telpas konstruktīvo elementu savstarpējais novietojums. Piemēru tam, ka atsevišķu konstruktīvo elementu savstarpējais novietojums var apgrūtināt navigāciju telpā, ir aplūkojams Vācijas pilsētas Getingenes rātsnama plānā (sk. attēlu 1.4). Šīs ēkas īpašība ir tāda, ka tā ir sadalīta trīs daļās, turklāt viena no ēkas daļām ir pagriezta uz 45⁰ attiecībā pret pārējām ēkas daļām. Intervijās ar ēkas darbiniekiem un apmeklētājiem tika atklāts, ka šī plānojuma īpašība apgrūtina ceļa atrašanu, jo sanāk, ka telpā pastāv divi konfliktējošie references ietvari [41].



1.4. att. Göttingenes rātsnama Vācijā plāns. Telpa ap liftu augšā ir pagriezta uz 45⁰ attiecībā pret pārējām ēkas daļām [41]

Arī ēkās rotācijas simetrijai ir zināms ietekmes efekts uz spēju orientēties tajā. Jo vairāk simetrijas asu ir ēkā, jo grūtāk ir reorientēties, izmantojot apkārtējās vides vizuālo informāciju, līdz ar to ir nepieciešams sekot līdz savām kustībām telpā. Telpās ar bezgalīgo skaitu rotācijas asu (apļveida telpās) vide visos virzienos izskatās vienādi, līdz ar to bez citiem vizuāliem orientieriem tajās ir viegli pazaudēt virziena izjūtu [42].

2. SIMETRIJAS UZTVERE

2.1. Fundamentālā simetrijas uztvere

Simetrija un simetriskie objekti ir plaši sastopami dabā, kā dzīvos organismos, tā arī kristālos un molekulās, un arī cilvēka radītos objektos: arhitektūrā, mākslā. No cilvēka uztveres skatupunkta simetrija ir interesanta ar to, ka tā ir ļoti ātri un efektīvi atpazīstama ar cilvēka vizuālo sistēmu. Geštalta teorijas ietvaros tiek uzskatīts, ka simetrija pret asi ir viens no faktoriem, pēc kuriem notiek vizuālā grupēšana, tas parasti tiek nosaukts par simetrijas likumu [43]. Piemērs tādai grupēšanai pēc simetrijas ir apskatāms attēlā 2.1.



2.1. att. Vizuālās grupēšanas pēc simetrijas piemērs. Punkti šajā attēlā tiek uztverti kā sadalīti divās grupās [43]

Tiek izdalīti četri simetrijas tipi (bet ir arī citas klasifikācijas): translācijas simetrija, kas ir atkārtotāšanās gar taisno līniju, rotācijas simetrija, kur tiek fiksēts viens punkts un notiek rotācija ap to, spoguļsimetrija, kas ir spoguļattēls ap kādu asi un slidošais atspulgs, kas ir translācija gar kādu asi kombinācijā ar spoguļattēla veidošanu [44] (sk. att. 2.2).

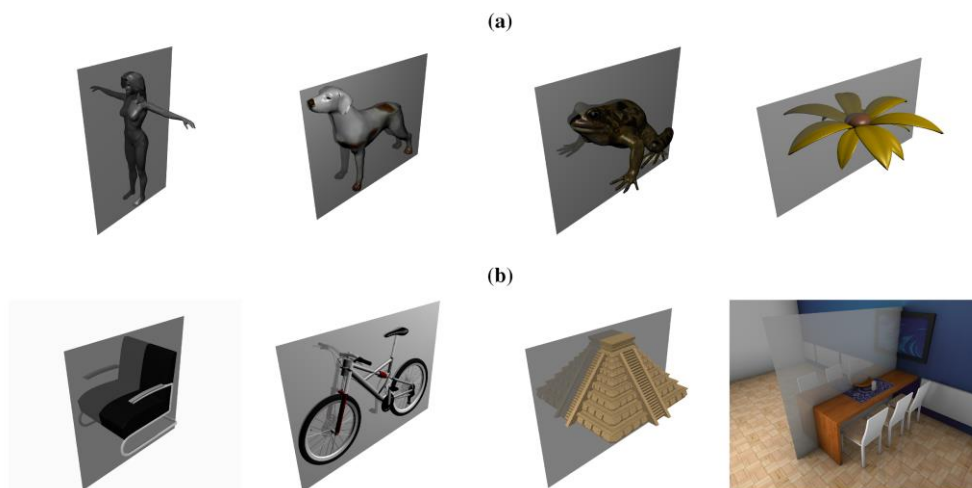


2.2. att. Simetrijas tipu ilustrācija [45]

Cilvēka uztvere ir visjutīgāka tieši pret spoguļsimetriju, tās uztvere ir arī vislabāk izpētīta. Lai detektētu translācijas vai rotācijas simetriju, ir nepieciešama koncentrācija, turklāt spoguļsimetrijas detektēšana notiek ātri, bez piepūlēs un spontāni [46]. Piemēram, eksperimentos, kur stimulš tika demonstrēts 100 milisekunžu laikā, spoguļsimetrija tika konstatēta ar lielāko precizitāti, salīdzinot ar translācijas simetriju [47]. Arī atspoguļotu elementu skaitu palielināšana būtiski nepalielina simetrijas atpazīšanas laiku [48].

2.2. 3D objektu simetrijas uztvere

Agrākie simetrijas uztveres pētījumi pārsvarā koncentrējās uz plakanu formu uztveri, bet aktuāls ir arī jautājums par simetrijas uztveri trīsdimensiju telpā, jo cilvēks spēj uztvert objektu dziļumu un novērtēt attālumu starp objektiem. Ikdienas dzīvē ir sastopami vairāki trīsdimensiju simetriski objekti, it īpaši ar bilaterālo simetriju, kā dabiski, tā arī mākslīgi radīti (sk. att. 2.3.). Daļēji tas ir saistīts ar to, ka cilvēks ir simetriska būtne un dažos gadījumos ir ērtāk mijiedarboties ar simetriskiem objektiem (piemēram, krēslu un divriteni). Bet arī arhitektūrā un mākslas objektos simetrija ir bieži sastopama [49].

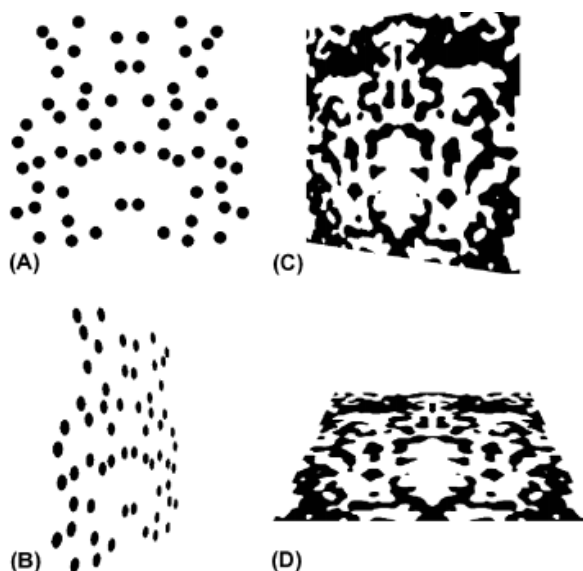


2.3. att. Simetrija dabas vidē un cilvēka radītā vidē [49]:

(a) Cilvēka, suņa un vārdes bilaterālā simetrija. Ziediem ir bieži vairāk nekā viena simetrijas plakne, šeit ir parādīta tikai viena, (b) objektu, kurus izmanto cilvēks, bilaterālā simetrija (krēsls un divritenis), simetrija arhitektūrā, vairāku objektu simetriskais izkārtojums telpā

Analizējot figūru un formu sagrozījumus perspektīvā (sk. att. 2.4.), tika konstatēts, ka, pagriežot figūru gan ap horizontālo asi, gan ap vertikālo asi, palielinās simetrijas atpazīšanas kļūdu

skaits un reakcijas laiks, tomēr simetrijas noteikšanas precizitāte un ātrums bija nozīmīgi lielāki pagriezienu ap horizontālo asi gadījumā. Tas labi saskaņojas ar to, ka pagriezienu ap horizontālo asi objekta divdimensiju reprezentācija uz tīklenes joprojām ir simetriska, bet pēc pagriešanas ap vertikālo asi simetrija nesaglabājas [50].



2.4. att. Spoguļsimetrijas dziļuma uztveres eksperimentā izmantotie stimuli [50]:

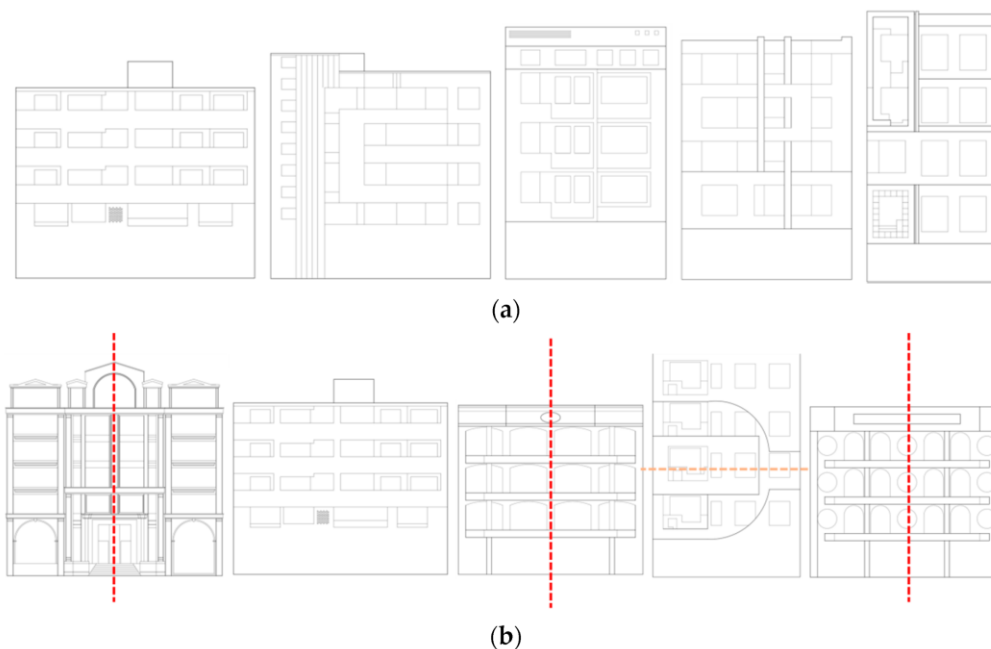
(A) punktveida struktūras skats no priekšas, (B) tāda pati punktveida struktūra ar 60° rotāciju ap vertikālo asi, (C) plankuma veida struktūra ar 30 rotāciju ap vertikālo asi, (D) plankuma veida struktūra ar 60° rotāciju ap horizontālo asi

2.3. Simetrija arhitektūrā

Arhitektūras projekti bieži satur simetriskus vai atkārtotus elementus. Tam ir vairāki iemesli: ekonomiskie, ražošanas, funkcionālie vai estētiskie apsvērumi. Arhitektūras struktūru regularitāte ļauj arī optimizēt to ražošanu un veicina masražošanu, kas noved pie ražošanas izmaksu samazināšanas.

Pētot ēku fasāžu estētiskās preferences, tika atklāts, ka pētījuma dalībnieku reakcijas laiks, pieņemot lēmumu par fasādes vērtējumu, ir lielāks asimetriskām fasādēm, salīdzinot ar simetriskām fasādēm. Tas nozīmē, ka spriest par simetriskām ēkām ir vieglāk, nekā par asimetriskām. Simetrijas ietekme ir arī pamanāma pašā ēku estētisko preferenču vērtējumā (sk. att. 2.5): tika salīdzinātas ekspertu (cilvēku vismaz ar bakalaura grādu arhitektūrā) un ne-ekspertu preferences, izrādījās, ka ne-ekspertiem pārsvarā patika simetriskās fasādes (att. 2.5. (b)), turklāt

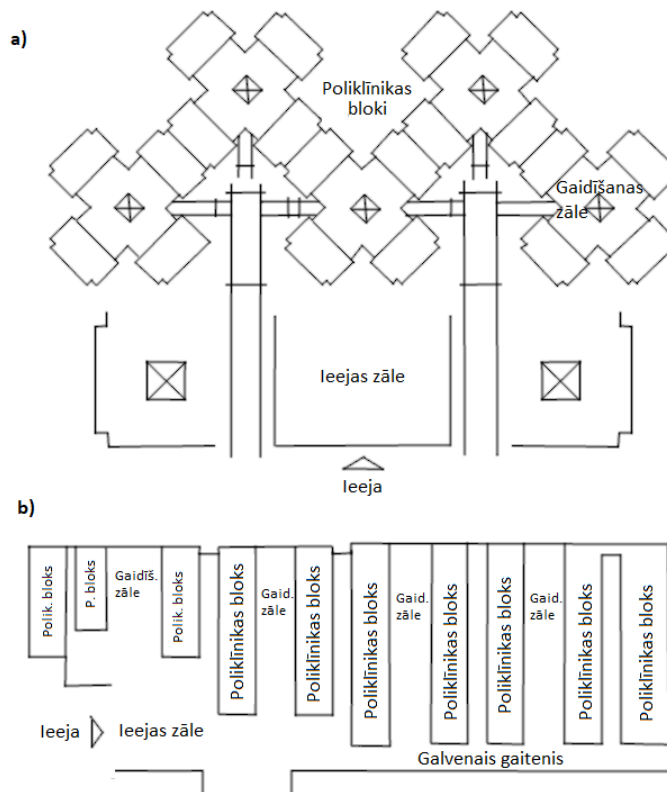
pārsvārā ar vertikālo simetrijas asi. Tas varētu būt saistīts ar to, ka ne-eksperti vērtē ēku fasādes kopskatā, līdz ar to arī globālās īpašības, tādas kā simetrija, kļūst būtiskas [51]. Cilvēkiem arī vairāk patīk “dabai līdzīgas” arhitektūras struktūras (tieši imitē dzīvnieku vai augu īpašības, satur dabas formu imitāciju, satur koka vai akmens elementus utt.), kā arī tās ir saistītas ar augsto psiholoģiskā komforta līmeni, kas arī varētu daļēji izskaidrot simetrisko ēku fasāžu preferenci [52] (kā jau tika minēts, simetrija ir plaši sastopama dabā).



2.5 att. Ekspertu un ne-ekspertu visaugstāk novērtētu ēku fasāžu divdimensiju attēli [51]:

(a) Ekspertu visaugstāk novērtētas fasādes, (b) ne-ekspertu visaugstāk novērtētas fasādes un to simetrijas asis

Lai izpētītu ēkas simetrijas ietekmi uz ceļa atrašanās sarežģītību, tika īstenots eksperiments [53], kurā arhitektūras studentiem bija jāatceras un jāuzskicē divu poliklīniku plāni, kuri atšķirās ar simetriju (sk. att. 2.6). Pirmā poliklīnika bija ar regulāro simetrisko dizainu, tās plāns sastāvēja no vienādiem atkārtotiem simetriskiem blokiem. Vienīgā atšķirība starp atsevišķiem blokiem bija to augstums - trīs bloki pa vidu bija divreiz augstāki nekā divi bloki ārpusē (sk. att. 2.6. a)). Otrās poliklīnikas dizains bija regulārs asimetrisks, kur bloki atradās gar garu taisnu gaiteni (sk. att. 2.6.b)).



2.6. att. Divu poliklīniku plāni (adaptēts no [54]):

a) Simetriskā struktūra b) Asimetriskā struktūra.

63.2% dalībnieku atzīmēja, ka viņi jutās “pilnīgi pazuduši” pirmajā poliklīnikā, salīdzinot ar 6.5% otrajā. Uzzīmētās skices asimetriskajā gadījumā arī bija precīzākas, nekā simetriskajā gadījumā, tomēr daži dalībnieki, kuri uzzīmēja nepilnīgas skices simetriskās ēkas gadījumā, tomēr spēja atrast ceļu tajā. Tas saskaņojas ar cita pētījuma rezultātu, kur tika parādīts, ka reorientācija notiek sliktāk tajās telpās, kur ir vairāk simetrijas asu [54]. Pētījuma autori atzīmēja, ka ir ļoti būtiski izveidot orientieru sistēmu ēkā ar simetriju, lai palīdzētu apmeklētājiem tajā naviģēt. Jāatzīmē, ka bez atšķirībām simetrijā, ēkas tomēr ir diezgan dažādas struktūras ziņā, kā arī nav zināms, kādi orientieri tur jau bija, tāpēc nevar ar lielu pārliecību apgalvot, ka novērotās atšķirības bija tikai simetrijas dēļ.

3. VIRTUĀLĀS REALITĀTES TEHNOLOĢIJAS

Eksperimenta apstākļos ir ļoti būtiski izolēt mainīgos, lai noteiktu un pierādītu cēloņsakarības. Veicot navigācijas pētījumus reālajā vidē, gandrīz nav iespējams kontrolēt visus interesējošos mainīgos, - informācijas apjoms, kuru iegūst eksperimenta dalībnieki, ir pārāk liels. Viens no risinājumiem ir radīt virtuālās telpas, kur ir iespējams veidot jebkuras iedomājamās telpas un manipulēt ar to parametriem.

Lai vēl vairāk palielinātu iegremdēšanās sajūtu, var izmantot virtuālās realitātes (VR) tehnoloģijas. Virtuālā realitāte ir simulēta vide, ar kuru lietotājs var mijiedarboties, izmantojot speciālās elektroniskās ierīces, viena no atpazīstamām virtuālās realitātes ierīcēm ir uzgalvas displejs (HMD - no head-mounted display). HMD bieži tiek saukts vienkārši par brillēm. Bez HMD ir arī citas sistēmas, piemēram, CAVE - tāda virtuālās realitātes telpa, kur virtuālais saturs tiek projicēts uz istabas izmēra ekrāniem, tomēr tāda sistēma ir pārāk liela, lai to varētu ērti izmantot [55].

Virtuālajai realitātei, atbilstoši tās iezīmēm, būtu jābūt šādai [56]:

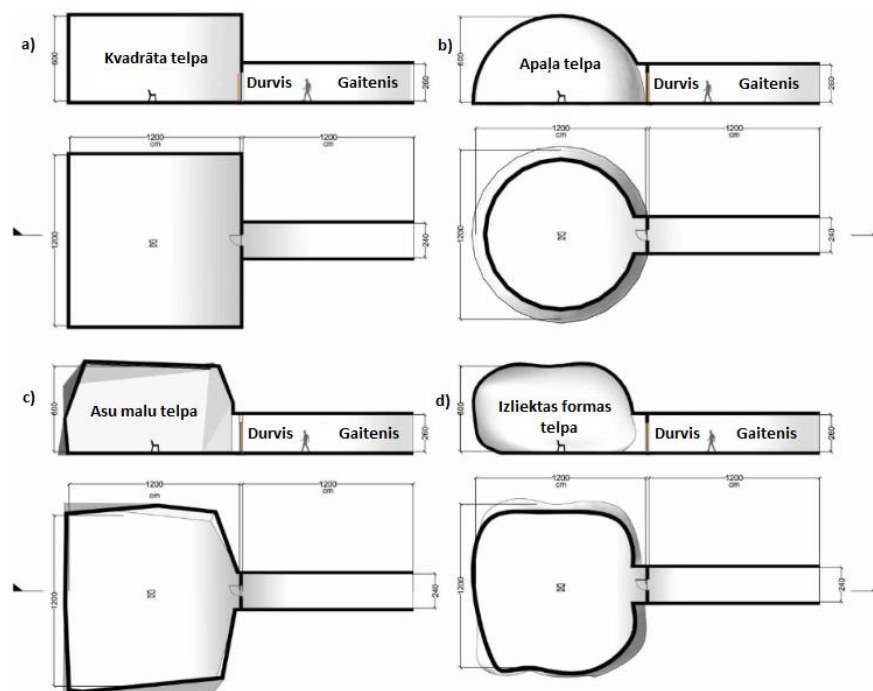
1. **Ticama.** Lietotājam ir jātic, ka viņš tiešām atrodas virtuālajā pasaulē (neatkarīgi no tā, vai tas ir Marss, vai jebkura ikdienā pieejama telpa), pretējā gadījumā pazudīs VR ilūzija;
2. **Interaktīva.** Virtuālajai telpai jāpārvietojas kopā ar lietotāju;
3. **Datorģenerēta.** Tikai ar datora palīdzību ir iespējams uzģenerēt tādas telpas, kuras gan izskatās pietiekoši reālistiski, gan spēj mainīties, lietotājam pārvietojoties tajās;
4. **Liela un detalizēta.** Atšķirībā no gleznas, kura parāda tikai vienu ainu no vienas perspektīvas, VR jābūt iespējai izpētīt virtuālo pasauli no dažiem skatupunktiem;
5. **Iegremdējoša.** VR jābūt gan ticamai, gan interaktīvai, jāmijiedarbojas gan ar prātu, gan ar ķermeni.

Ar katru gadu VR tehnoloģijas, it īpaši HMD, kļūst, no vienas puses, lētākas un pieejamākas, un no otras puses, tehniski labākas. 2021. gadā tirgū jau ir pieejamas bezvadu brilles (kas ir ļoti būtiski iegremdēšanās sajūtai), nepieprasa savienojumu ar datoru, lai darbotos, ar lielu izšķirtspēju (1832 x 1920 pikseli katrai acij) un par pieejamo cenu (piemēram, *Facebook* kompānijas *Oculus Quest 2* [57]). Tas padara VR par plašāk pieejamo tehnoloģiju un ļauj īstenot lielu klāstu telpiskās uztveres pētījumu.

Ir jāpiemin, ka VR pētījumi notiek arī vairākās citās jomās: tiek meklēti potenciāli pielietojumi posttraumatiskā stresa sindroma simptomu mazināšanai [58], trauksmes un stresa mazināšanai [59], izglītības jomā [60] utt.

3.1. Virtuālā realitāte telpiskās uztveres pētījumos

Nodaļā 1.3. tika parādīts, kā VR var būt izmantota telpas mēroga uztveres pētījumos. Vēl viens VR izmantošanas piemērs telpiskās uztveres pētniecībā ir pētījums par cilvēku reakciju uz dažādu formu telpām [61]. Pētījuma dalībniekiem bija jāizpēta un jāizsaka savs viedoklis par četrām virtuālām telpām (sk. att. 3.1): kvadrāta simetriska telpa, simetriska pussfēras veida telpa, asimetriska telpa ar asajām malām un asimetriska izliektas formas telpa. Eksperimenta procesā pētījuma dalībniekiem bija jāienāk telpā caur gaiteni, jāpienāk pie krēsla telpas vidū, jāizpēta telpa, un jāpamet tā pēc izpētes beigām. Šeit arī tika ievērota atšķirība starp ekspertiem (šajā gadījumā - dizaina studentiem) un ne-ekspertiem: ne-ekspertiem izliektas formas telpa likās interesantāka, nekā ekspertiem, 90.5% ne-ekspertu nosauca šo telpu par interesantu. Jāatzīmē, ka tas, vai telpa bija simetriska, šajā gadījumā pētījuma dalībnieku preferences neietekmēja.



3.1. att. Eksperimentā izmantoto telpu plāni un šķērsgriezumi (adaptēts no [61]):

- a) kvadrāta simetriskā telpa, b) simetriska pussfēras veida telpa, c) asimetriska telpa ar asajām malām, d) asimetriska izliektas formas telpa

Par navigāciju VR arī tika veikti daži pētījumi. Viens no tiem, izmantojot VR kopā ar elektroencefalogrāfiju, izpētīja, kā cilvēka vecums, dzimums, izglītības līmenis un telpas griestu augstums ietekmē cilvēka uzvedību, meklējot ceļu labirintā [62]. Secinājumi ir sekojoši:

- Vīrieši ātrāk atrada izeju no labirinta zemo griestu telpā (vidēji 133 sekundes salīdzinot ar 143 sekundēm sievietēm);
- Dalībnieki vecumgrupā no 19 līdz 40 gadiem bija veiksmīgāki, nekā gados vecāki dalībnieki;
- Ir diezgan grūti noteikt izglītības līmeņa ietekmi uz ceļu atrašanas uzvedību, tomēr tika konstatēts, ka visi dalībnieki ar universitātes izglītību bija spējīgi atrast izeju no labirinta;
- Griestu augstums viennozīmīgi ietekmēja ceļa atrašanas ātrumu. Tika analizēti labirinti ar trim dažādiem griestu augstumiem - 2.5 metri, 3 metri un 3.5 metri. Vidējais izejas atrašanas laiks bija 137 sekundes, 122 sekundes un 112 sekundes attiecīgi. Elektroencefalogrāfijas dati arī apstiprināja augsto griestu pozitīvo ietekmi.

Dzimumu un vecumgrupu atšķirības jau tika aprakstītas nodaļā 1.4., savukārt, informāciju par griestu augstuma ietekmi uz ceļa meklēšanu ir vērts izmantot šī maģistra darba eksperimenta telpu izstrādē.

Tika pētīta arī dažādu ceļrāžu sistēmu ietekme uz ceļa atrašanas laiku [63]. Virtuālajā telpā tika salīdzinātas horizontālā (kur nepārtrauktas krāsainas līnijas uz grīdas veda līdz galapunktam) un vertikālā (norādes uz sienas ar bultām un piktogrammām) ceļrāžu sistēmas, kā arī tās tika salīdzinātas ar neitrālo gadījumu bez norādēm (sk. att. 3.2.). Tika konstatēts, ka navigācija paātrinās, salīdzinot gadījumu bez norādēm un ar tām, tomēr starp horizontālo un vertikālo ceļrāžu sistēmām nebija konstatētas nozīmīgas atšķirības.



3.2. att. **Horizontālā un vertikālā ceļrāžu sistēmas [63]:**

a) Horizontālā sistēma, b) vertikālā sistēma, c) neitrālais gadījums bez norādēm

3.2. Pārvietošanās VR

Pārvietošanās VR var īstenot vairākos veidos. VR pārvietošanās veidu apkopojumā *Locomotion Vault* [64, 65] šī maģistra darba izstrādes laikā bija aprakstīti 109 pārvietošanās veidi virtuālajā realitātē, un šis saraksts tiek pastāvīgi papildināts, tomēr jāatzīmē, ka vairākums no tiem ir diezgan eksotiski un nav plaši pielietojami

Visbiežāk pielietotus un izpētītus pārvietošanās veidus VR var sadalīt trīs veidos: soļošana, imitējot reālo kustību; teleportācija, - pārvietojoties virtuālajā telpā, bet paliekot uz vietas reālajā telpā; “gludā” pārvietošanās, - ir līdzīga tam, kā pārvietošanās parasti notiek “tradicionālajās” videospēlēs uz plakana ekrāna. Kaut arī pārvietošanās kājām ir intuitīvāka un vieglāka [66], ne vienmēr ir pieejams pietiekoši daudz vietas, lai efektīvi pārvietotos ar soļošanu; tāds pārvietošanās veids arī mēdz provocēt kiberslimību (jūras slimību) un citas nepatīkamas sajūtas (par to detalizētāk izklāstīts nodaļā 3.3.).

Teleportācija notiek, lietotājam pārvietojoties uz to vietu, kuru viņš ir norādījis ar kursoru. Šī tehnika samazina kiberslimības izpausmes, tomēr samazina lietotāja klātbūtnes sajūtu virtuālajā telpā, līdz ar to, samazinot arī iegremdēšanās sajūtu [67]. “Gludajam” pārvietošanās veidam ir tieši pretējs efekts: tam ir raksturīga augstāka klātbūtnes sajūta, bet lielāks kiberslimības risks [68]. 2019. gada publikācijā par VR pārvietošanās veidiem tika izteikta hipotēze, ka klātbūtnes sajūta un kiberslimība ir negatīvi saistīti, tomēr šis apgalvojums netika pārbaudīts eksperimentāli [69].

Tiek izstrādātas vairākas metodes, lai iegūtu iespēju pārvietoties pa lielo virtuālo telpu, fiziski atrodoties mazākajā telpā. Tās visas ir balstītas uz to, lai pārvirzītu cilvēku reālajā telpā tā, lai viņš to pēc iespējas nepamanītu. Starp tām ir translācija (kustības virziena noteikšana un attiecīga soļu mēroga maiņa) [70], nemanāma kameras pagriešana (pagriežot kameru nelielos leņķos, var manipulēt ar lietotāja galvas virzienu un līdz ar to ar viņa kustības virzienu) [71], sakāžu pagriešana (ātro acs kustību noteikšana, kad nenotiek vizuālās informācijas apstrāde, un kameras pagriešana tajā momentā) [72], ne-Eiklīda ģeometrijas izmantošana (“neiespējamo” telpu konstruēšana, kur, piemēram, divas blakusesošas istabas pārklājas, un lietotājam rodas ilūzija, ka telpa ir lielāka nekā tā patiesībā ir) [73] utt. Tika parādīts, ka vienkāršākajās kameras pagriešanas realizācijās lietotājus var novirzīt uz 49% vairāk vai 20% mazāk nekā uztverta virtuālā rotācija, lai viņi nepamanītu atšķirību. Aprēķinot fizisko telpu, kura ir nepieciešama, lai varētu iet uz priekšu bezgalīgi, to nepamanot, sanāk aplis ar rādiusu apmēram 22 metri jeb laboratorijas izmēram jābūt aptuveni 40 metri × 40 metri [71]. Pielietojot modernākas metodes, tika parādīts, ka potenciāli var pietikt arī ar

apli ar rādiusu 11.6 metri vai 6.4 metri, atkarībā no aprēķina metodes [74], kas ļauj pielietot pārvirzīšanās metodes arī mazākajā telpā.

Arī teleportācijas metodes tiek attīstītas. Piemēram, *Telepath* tehnoloģija apvieno teleportācijas pieeju ar lineāro kustību. Tā ļauj ar rokas kustību norādīt vēlamu galapunktu un ceļu pie tā, un kamera automātiski sāk pārvietoties, lietotājam fiziski paliekot uz vienas vietas. Pārvietošanās laikā var apstāties vai mijiedarboties ar apkārtējiem objektiem. *Telepath* izstrādātāji norāda, ka kiberslimības risks joprojām pastāv, bet tas ir mazāks, ja salīdzināt ar soļošanas pieeju [75].

Kopumā visām trim pieejām ir savas priekšrocības un savi trūkumi. Kā tika minēts nodaļā 1.1., vestibulārā un propioceptīvā sistēmas ir būtiskas navigācijas procesā, tāpēc tas ir arguments, lai izmantotu soļošanu, pārvietojoties virtuālajā telpā. No otras puses, fiziskās telpas trūkums arī ir nopietns apsvēruma teleportācijas vai “gludās” pārvietošanās izmantošanai. Izvēloties starp teleportāciju un “gludo” pārvietošanās veidiem, jāņem vērā arī tas, ka teleportācijas metodē lietotājs momentāni parādās citā vietā, līdz ar to, pēc katras pārvietošanās lietotājam jāveic reorientācija no jauna. Tika parādīts, ka, salīdzinājumā ar tām metodēm, kur kustība notiek nepārtraukti, teleportācijas izmantošana tiešām noved pie lielāka kļūdu skaita uzdevumos, kuri ir saistīti ar dinamiskās informācijas atjaunošanu pārvietošanās procesā [76].

Ņemot vērā visu iepriekš teikto, tika pieņemts lēmums maģistra darba ietvaros veiktajā eksperimentā izmantot “gludo” pārvietošanās veidu. Navigācijai lielajās virtuālajās telpās ir nepieciešama salīdzinoši liela reālā telpa, lai varētu izmantot dabisko pārvietošanās veidu; savukārt, teleportācija mēdz izraisīt dezorientācijas sajūtu, kas ir nopietns apsvēruma, veicot ar navigāciju telpā saistītu pētījumu.

3.3. Kiberslimība

Viens no ierobežojošiem faktoriem VR izmantošanai gan pētniecībai, gan arī personīgai lietošanai, ir kiberslimības un citu nepatīkamu sajūtu rašanās. Tā parādās 25-40% no visiem VR lietotājiem [77]. Kā jau tika minēts, viens no faktoriem, kas izraisa kiberslimību, ir pārvietošanās metodes izvēle, teleportācija retāk izraisa nepatīkamas sajūtas, salīdzinot ar fizisko pārvietošanos telpā vai ar nepārtrauktām pārvietošanās metodēm [78].

Kiberslimība VR var būt saistīta arī ar izmantoto aparatūru. Piemēram, ja ekrāna frekvence ir pārāk maza, tad bilde uz ekrāna reaģē uz lietotāja darbībām ar aizturi, tā radot nepatīkamas

sajūtas, jo notiekošais uz ekrāna nesakrīt ar sagaidīto. Tas pats attiecināms arī uz citiem aizturu cēloņiem (piemēram, tīkla aizturēm, ja attēls tiek straumēts) [79].

Vēl viens faktors ir saistīts ar individuālo pieredzi. Jo mazāk laika pagāja starp VR sesijām, jo mazāka ir kiberslimības izpaušanas varbūtība. Arī sesijas ilgums ir nozīmīgs: jo ilgāka ir sesija, jo vairāk parādās kiberslimības simptomu. Turklāt šī likumsakarība vairākos pētījumos ir tuva lineārajai [80].

Arī demogrāfiskie faktori ir nozīmīgi: sievietēm šūpes kaite parādās ap 2 reizēm biežāk nekā vīriešiem [81]. Arī ja cilvēkam bija šūpes kaite vēsture ar citiem, ar VR nesaistītiem cēloņiem, tad ir lielāka varbūtība, ka viņš izjutīs diskomfortu arī VR [82].

Apkopojot visu iepriekš teikto, aparatūra ar laiku kļūst arvien labāka un jaudīgāka, palielinās ekrānu frekvence, samazinās aiztures, tas pats par sevi ir faktors, kurš ļaus nākotnē mazināt kiberslimības izpausmes. Eksperimenta apstākļos ir vērts apsvērt teleportācijas lietošanu kustībai, ja tas ir iespējams, kā arī padarīt sesijas pēc iespējas īsākas.

3.4 Ceļa atrašana virtuālajā un fiziskajā realitātē

Kā tika minēts ievadā, virtuālā realitātē nodrošina kontrolētu un salīdzinoši vieglu veidu, kā veikt navigācijas eksperimentus: nav nepieciešams konstruēt sarežģītas struktūras reālajā fiziskajā telpā, kā arī pastāv iespēja mainīt tikai dažus eksperimenta parametrus, tā nodrošinot iespēju salīdzināt neatkarīgos mainīgos.

Tomēr rodas jautājums, vai rezultātus, kuri ir iegūti, naviģējot virtuālajā realitātē, var pielietot, lai izdarītu secinājumus par navigāciju fiziskajā realitātē. Citiem vārdiem sakot, cik precīzi VR iegūtie rezultāti izskaidro fiziskajā realitātē novērotas parādības. Visvairāk pētījumu līdz šim brīdim tomēr bija par navigācijas procesiem, meklējot ceļu virtuālajā vidē, kura tika izvadīta uz parastā plakanā ekrāna, salīdzinājumā ar fizisko realitāti (kas izriet no tā, ka stacionārie datori ar plakano displeju plašā lietošanā ir daudz ilgāk nekā VR ierīces).

Viens no tādiem pētījumiem tika veikts pat 1999. gadā, pārbaudot, kā atšķiras ēkas plānojuma apgūšana, mācoties to pēc kartes, izstaigājot reālajā vidē vai izstaigājot virtuālajā vidē rekonstruēto modeli [83]. Tika konstatēts, ka gājēji virtuālajā vidē bija vairāk dezorientēti pēc rotācijas, bet kopumā, telpisko orientieru atcerēšanās abās vidēs bija līdzīga, un pētījuma dalībnieku spēja apgūt virtuālās telpas plānojumu bija cieši saistīta ar spēju apgūt plānojumu reālajā telpā.

Arī vēlākajos pētījumos tika konstatētas līdzības starp navigāciju virtuālajā vidē un reālajā vidē. 2015. gada pētījumā tika novērtēts, vai cilvēka navigācijas uzvedība virtuālajā vidē var būt izmantota, lai spriestu par navigācijas uzvedību tādā pašā reālajā vidē [84]. Tika konstatēts, ka uzdevumos, kur ir jāmeklē vai jāatceras ceļš un vizuālie orientieri, nav nozīmīgas atšķirības, kādu vidi lietot - virtuālo vai reālo, tomēr uzdevumos, kur ir jāizpēta telpas ģeometriskā informācija (piemēram, virziena un pozīcijas telpā noteikšana), reālā vide ir pārāka par virtuālo. Tas arī apstiprina pieņēmumu, ka dažos uzdevumos, tādos, kā virziena noteikšana, proprioceptīva informācija ir būtiska, un to nevar simulēt, izmantojot plakano ekrānu, tastatūru un peli.

Viens no nedaudziem pētījumiem par šo problēmu VR ir pētījums, kurā tika salīdzināta kustības uzvedība reālajā un virtuālajā muzejos [85]. Virtuālais muzejs bija tāds pats, kā reālais, rekonstruēts 3D virtuālajā vidē. Nozīmīgas atšķirības navigācijā bija novērotas pirmajās divās minūtēs, tālāk ceļš muzeja telpās nozīmīgi neatšķīrās abās vidēs. No šī pētījuma izriet, ka, testējot tos cilvēkus, kuriem nav pieredzes VR, ir jāvelta laiks adaptācijai (tomēr līdz galam nav skaidrs, vai šis efekts tiešām pazudīs).

No iepriekš aprakstītā var secināt, ka virtuālā realitāte ir piemērots veids telpu simetrijas uztveres pētīšanai. Maģistra darba ietvaros bija nolemts veikt eksperimentus gan virtuālajā realitātē, gan virtuālajā vidē uz plakana ekrāna, lai varētu salīdzināt, vai pastāv nozīmīgas atšķirības starp šiem diviem gadījumiem.

4. EKSPERIMENTA DIZAINS UN METODOLOĢIJA

Maģistra darba ietvaros bija veikti divi eksperimenti par telpas elementu spoguļsimetrijas ietekmi uz navigācijas spējām. Telpu spoguļsimetrija tika izvēlēta vairāku iemeslu dēļ:

- Darba autorei neizdevās atrast pētījumus, kuros tā būtu pētīta virtuālās realitātes vidē;
- Spoguļsimetrija ir visbiežāk sastopamā simetrijas forma reālajās ēkās un vispārīgi arhitektūrā [86] (gan fasādēs un kopējā ēkas plānojumā, gan arī ēkas atsevišķajos elementos, piemēram, gaitenēs un taisnstūra formas istabās);
- Cilvēka uztvere ir īpaši jutīga tieši pret spoguļsimetriju, tāpēc varētu sagaidīt, ka būs novērojama tās klātbūtnes vai izjaukšanas ietekme uz navigācijas spējām.

Šajā nodaļā tiks detalizēti izstāstīts, kā tika izstrādātas virtuālās vides, kurās notika eksperimenti, kā notika pētījuma dalībnieku atlase, un tiks aprakstīta pašu eksperimentu norise. Eksperimenta vižu izstrādei un paša eksperimenta veikšanai tika izmantots *Unity* [87] spēļu dzinis, datu glabāšanai tika izmantota *MongoDB* [88] datubāze, un datu apmaiņa starp eksperimenta lietotni un datubāzi notika ar *Node.js* [89] tīmekļa servera starpniecību. 1. pielikumā ir pieejama saite uz pilno eksperimenta lietotnes pirmkodu.

Abi eksperimenti notika vienās un tajās pašās virtuālajās vidēs (simetriskajā un asimetriskajā) ar to atšķirību, ka pirmais eksperiments norisinājās, izmantojot parasto plakano displeju, un otrais eksperiments notika virtuālajā realitātē, izmantojot HMD. Divi atsevišķi eksperimenti bija nepieciešami tāpēc, lai saprastu, cik atšķirīgi ir navigācijas procesi, lietojot dažādus displejus, kuri nodrošina dažādu subjektīvu iegremdēšanās sajūtu.

Iepriekšējos pētījumos par navigāciju telpās ar rotācijas simetriju, minētos 1. un 2. nodaļās [41, 53], tika konstatēts, ka šādās telpās ir mazāk vizuālo “enkuru”, balstoties uz kuriem var reorientēties telpā. Pieņemot, ka šis efekts varētu daļēji saglabāties arī telpās ar spoguļsimetriju, tika noformulētas sekojošas hipotēzes:

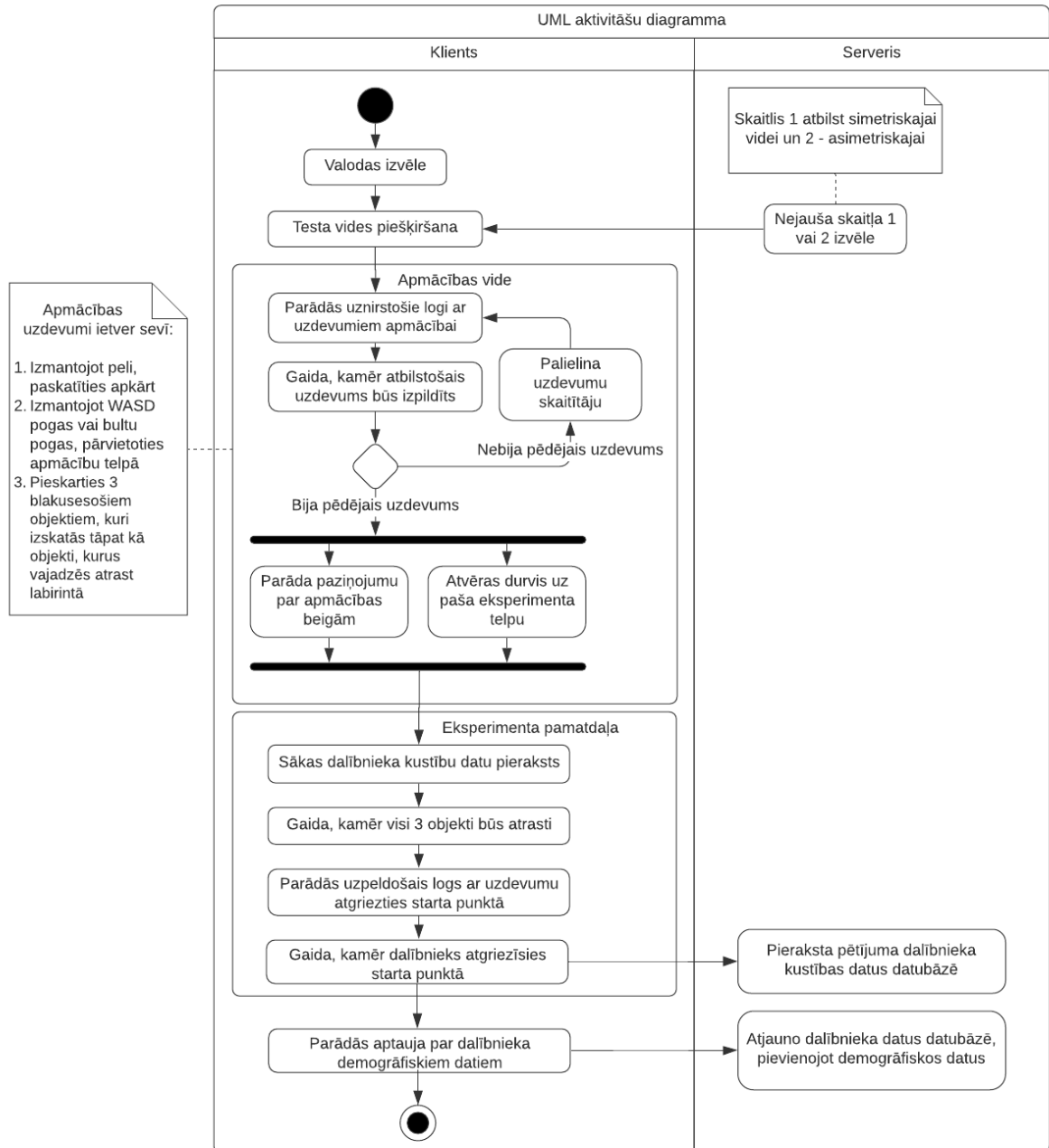
H1: Vidē, kurā dominē spoguļsimetrija, gājējiem ir nepieciešams ilgāks laiks, lai atrastu vajadzīgo ceļu, salīdzinot ar telpu, kurā spoguļsimetrija ir izjaukta.

H2: Vidē, kurā dominē spoguļsimetrija, gājējiem ir izteiktāka sajūta, ka viņi ir pazuduši, meklējot vajadzīgo ceļu, salīdzinot ar telpu, kurā spoguļsimetrija ir izjaukta.

H3: Gājēju navigācijas efektivitāte (novirze no visīsākā ceļa) būtiski atšķiras, veicot navigācijas procesu uz plakana displeja vai izmantojot virtuālās realitātes ierīci.

4.1. Eksperimenta uzdevumi un darbplūsma

Abos eksperimentos, gan uz plakana displeja, gan virtuālajā realitātē, eksperimenta dalībniekiem bija viens un tas pats uzdevums: labirinta veida telpā atrast trīs dažādus objektus un atgriezties atpakaļ, bez laika ierobežojuma. Karte vai cits telpas plāns netika demonstrēts, dalībniekiem bija jāorientējas uz vietas. Eksperimenta soļu secība ir apkopota UML aktivitāšu diagrammā (sk. att. 4.1).



4.1.att. Eksperimenta gaitas UML aktivitāšu diagramma

Pirms eksperimenta sākuma pētījuma dalībniekiem tika piedāvāta īsa apmācība, kur tika aprakstīts, kā kustēties telpā un skatīties apkārt (tāpat, kā parasti datorspēlēs, izmantojot WASD pogas vai bultu pogas un peli, VR gadījumā izmantojot VR ierīces pultis). Pēc apmācības beigām atvērās durvis paša eksperimenta telpās.

Pēc eksperimenta beigām dalībniekiem tika uzdoti daži jautājumi par viņu demogrāfiskiem datiem: par izglītības līmeni, navigācijas ierīču izmantošanas biežumu un videospēļu spēlēšanas laiku nedēļā. VR eksperimentā tika papildus uzdots jautājums par VR spēļu spēlēšanas laiku nedēļā.

4.2. Unity spēļu dzinis

Visvienkāršākais veids, kā izveidot 3D virtuālo vidi, ar kuru lietotājs var mijiedarboties, ir izmantot jau gatavo spēļu dzini, kurā jau ir iebūvēta grafikas renderēšana, fizikas dzinis, darbs ar tīklu, skriptu atbalsts utt. Viens no visizplatītākajiem spēļu dzinjiem ir *Unity*, kurā izstrādātas spēles un lietotnes tiek palaistas vairāk nekā uz 2.5 miljardiem ierīcēm ik mēnesi (tomēr jāpiemin, ka programmatūra, kura tika veidota, izmantojot *Unity*, ir mobilās spēles) [90]. *Unity* atbalstītā programmēšanas valoda ir *C#*.

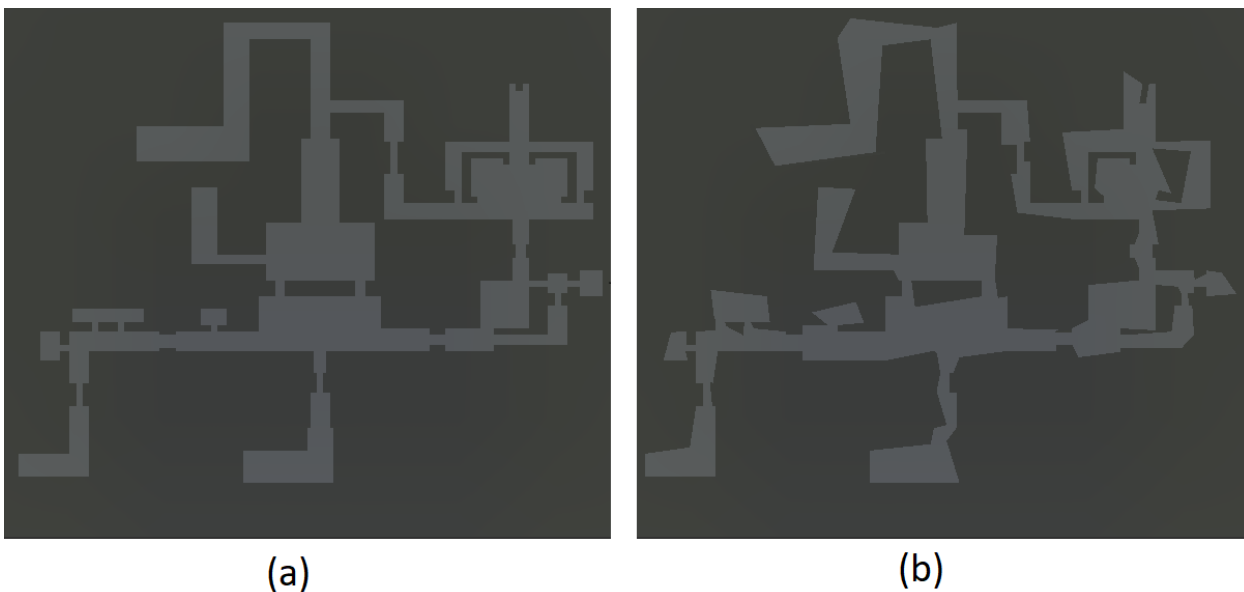
Šī darba veikšanai *Unity* tika izvēlēts sekojošo apsvērumu dēļ:

- Darba autorei nebija iepriekšējās pieredzes ar programmatūras izstrādi, izmantojot spēļu dzinjus, un *Unity* tiek uzskatīts par vienu no iesācējiem draudzīgāko spēļu dzini: ir pieejami vairāki apmācības materiāli, kā pašā *Unity* mājaslapā, tā arī vairākās interneta izglītības platformās, tādās kā *Coursera* vai *Udemy*;
- *Unity* ir ļoti plaša izstrādātāju kopiena, uz vairākiem iespējamiem jautājumiem jau ir sniegtas atbildes *Unity* forumā, kā arī tur var vērsties, ja ir radušās problēmas izstrādes gaitā;
- *Unity* ir ļoti attīstīts materiālu, 3D objektu un spraudņu veikals *Unity Asset Store*, kurā gan par brīvu, gan par maksu var dabūt papildmateriālus savam projektam;
- *Unity* ir iebūvēts VR atbalsts, kā arī ir pieejama *XR Interaction Toolkit* pakotne, lai īstenotu mijiedarbību ar vidi virtuālajā realitātē. Maģistra darba izstrādes laikā šī pakotne vēl nebija oficiāli izlaista, bet bija pieejama tās priekšskatījuma versija, kurā jau bija pieejama visa darba autorei nepieciešama funkcionalitāte.

Parasti *Unity* projekts ir sadalīts vairākās ainās (oriģinālā: *scene*). Tās apvieno vairākus objektus - telpas, šķēršļus, dekorācijas, kā arī katram objektam var pievienot vairākas komponentes, sākot no komponentēm, kuras nosaka objektu pozīciju un atskaņo audiofailus, beidzot ar *C#* skriptiem, kuri apraksta loģiku, pēc kuras darbosies objekti ainā.

4.3. Eksperimenta vižu izstrāde

Eksperimentu veikšanai tika izstrādātas divas saistīto telpu sistēmas, kuras pēc struktūras un savstarpējo telpu izvietojuma ir līdzīgas, bet vienā gadījumā atsevišķas istabas un gaiteni ir aksiāli simetriski (simetriski attiecībā pret vienu vai vairākām simetrijas asīm), bet otrajā gadījumā simetrija ir pēc iespējas izjaukta (sk. 4.2. att.).



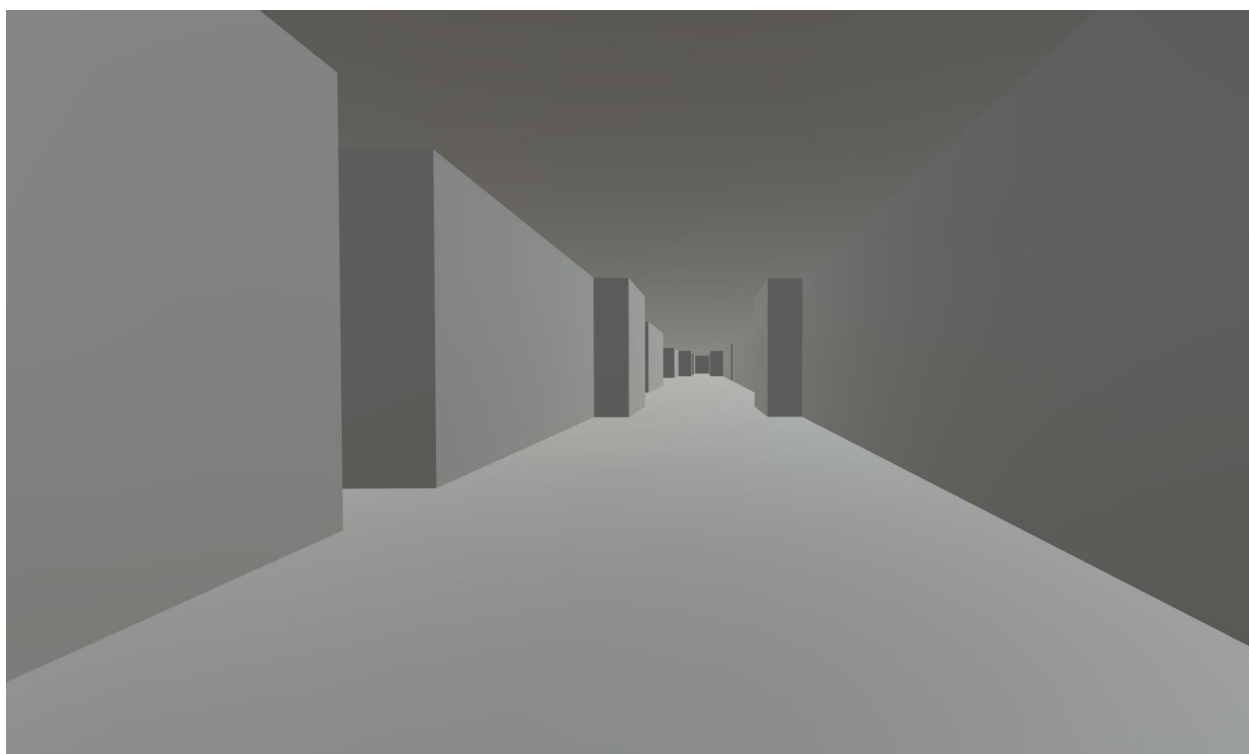
4.2.att. Pētījuma ietvaros izstrādāto telpu plāni; eksperimenta dalībnieki sāka kustību no kreisā apakšējā stūra:

(a) simetriskās telpas (b) asimetriskās telpas

Telpas eksperimenta veikšanai tika izstrādātas pa *Unity* vidē, izmantojot bezmaksas pieejamo programmatūras pakotni *ProBuilder*. Tā ir, galvenokārt, paredzēta datorspēļu līmeņu prototipēšanai un konstruēšanai, bet pastāv arī pilnīgi pabeigti projekti, kur vides izstrādei izmantoja tikai *ProBuilder*. Darba autore izvēlējās tieši šo rīku, jo tas ļauj ātri un viegli konstruēt un mainīt vides bāzes ģeometriju, tajā pašā laikā pētījuma ietvaros nav nepieciešams konstruēt telpas ar sarežģītām ģeometriskām formām. Tas arī ļauj uzreiz redzēt, kā izskatīsies vide no pētījuma dalībnieka skata punkta.

Lai varētu optimāli salīdzināt pētījuma dalībnieku uztveres un navigācijas atšķirības šajās telpās, ir jānodrošina, lai tās izskatītos reālistiski no kameras skata punkta. Kamera tika izvietota apmēram 1.8 metru augstumā, (griesti ir 4 metru augstumā), gaiteņu platums ir vidēji ap 4-5 metriem.

Īpaša uzmanība tika veltīta arī telpu sienu, griestu un grīdas krāsai. Darba autores mērķis bija izvēlēties tādu krāsu, kura pēc iespējas mazāk ietekmētu pētījuma dalībnieku spēju orientēties un veikt navigācijas uzdevumus. Tika izvēlēta pelēkā krāsa, jo atšķirībā no, piemēram, sarkanās krāsas, tā neizraisa uztraukuma pieaugumu [91] un neietekmē intelektuālo uzdevumu izpildi [92]. Galarezultāta piemērs no dalībnieka skata punkta ir apskatāms 4.3. attēlā.



4.3. att. Simetriskās vides izskats no pētījuma dalībnieka skata punkta

Lai eksperimenta dalībnieki varētu pārvietoties eksperimenta vidē, tika izveidots objekts *Player*, kuram bija piesaistīta kameras komponente, lai redzamais uz ekrāna atjaunotos atbilstoši peles kustībām un nospiešamajām pārvietošanās pogām. Lai nodrošinātu iespēju kustināt kameru ar peli un pārvietoties, spiežot atbilstošās tastatūras pogas, *Player* objektam tika pievienota *First Person Controller* modulis (sk. att. 4.4.), paņemta no *Unity* nodrošinātajiem standarta moduļiem *Standard Assets* [93], kuri ir bezmaksas pieejami *Unity Asset Store* veikalā.

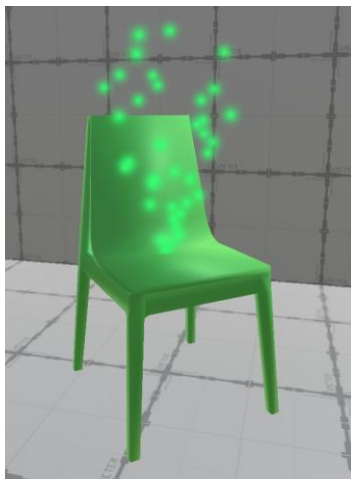
Attēlā 4.4. var redzēt visus parametrus, kurus var mainīt *First Person Controller* modulim. Treknrakstā ir tie parametri, kuru vērtība atšķiras no noklusējuma vērtībām. Tika mainīti soļošanas un skriešanas ātrumi (*Walk Speed* un *Run Speed*), kā arī tika mainīts skriešanas soļa garums (*Runstep Length*), lai vizuāli skriešana neatšķirtos no soļošanas. Tā pēc būtības tika aizliegta skriešanas iespēja, nemainot moduļa kodu, lai nedotu priekšrocības pieredzējušajiem datorspēļu spēlētājiem, kuri ir pieraduši pie skriešanas iespējas datorspēlēs. Ātrums tika piemeklēts empīriski, testējot dažādas vērtības (noklusējuma soļošanas ātrums ir 5 vienības, kas likās pārāk lēns). Arī tika samazināts peles jutīgums X asī (*Mouse Look -> X Sensitivity*), jo no dažiem pirmajiem eksperimenta dalībniekiem tika saņemtas atsauksmes, ka kamera pārvietojas pārāk ātri, pārvietojot peli.



4.4. att. *First Person Controller* skripts, pievienots *Player* objektam kā komponente

Apmācības telpa bija vienāda abos gadījumos un izskatās kā neliela taisnstūra telpa, ar atšķirīgo no pārējām telpām sienu, grīdas un griestu tekstūru. Tajā tika izvietoti tie paši trīs objekti (krēsls, galds un futbola bumba), kuri bija izvietoti pamata eksperimenta telpās (tie tika paņemti

no “*Toon Furniture*” [94] 3D objektu kolekcijas no *Unity Asset Store*). Abās vidēs visi trīs objekti atradās uz vienām un tām pašām vietām, lai būtu iespēja objektīvi salīdzināt eksperimenta dalībnieku metrikas. Kad eksperimenta dalībnieks pietuvinājās šiem objektiem, tie mainīja krāsu uz zaļu un radīja vizuālo daļiņu efektu (sk. att. 4.5.), lai dalībniekam būtu skaidrs, ka šis objekts tika pierēģistrēts kā atrastais.



4.5. att. Vizuālais indikators tam, ka objekts tika atrasts

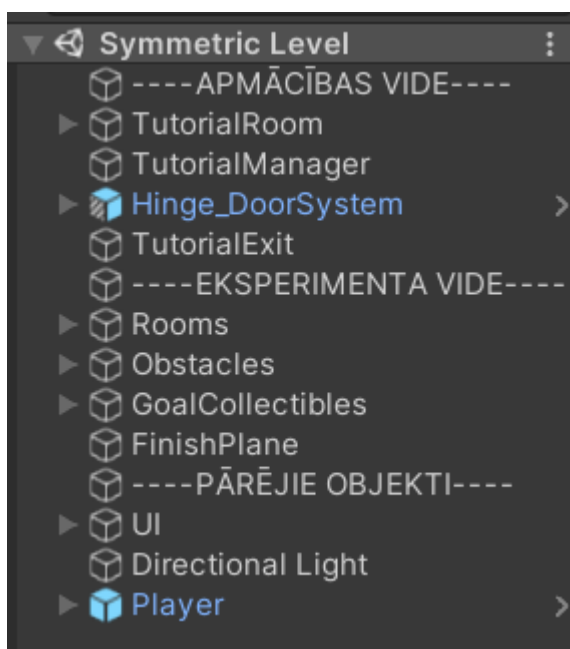
4.3.1. *Unity* ainu struktūra

Tika izveidotas divas atsevišķas ainas simetriskajām un asimetriskajām telpām, eksperimenta dalībnieki parādījās nejauši izvēlētajā ainā. AINU struktūra ir līdzīga abos gadījumos, un tā ir apskatāma 4.6. attēlā.

Apmācības vides blokā atrodas pati apmācības telpa, durvis starp apmācības telpu un eksperimenta telpu, kuras atvērās pēc apmācības beigām, un plakne *TutorialExit*, gājēja pieskāriens pie kuras nozīmēja, ka viņš ir izgājis no apmācības telpas. Arī šajā blokā atrodas tukšs objekts *TutorialManager*, pie kura kā komponente tika pievienota apmācību pārvaldnieka klase *TutorialManager.cs* (tā pirmkodu var apskatīt 5. pielikumā).

Eksperimenta vides blokā atrodas saistīto telpu sistēmas, kurās ir nepieciešams atrast objektus, un kurās tiek uzņemti eksperimenta dalībnieku kustības dati. Pašas telpas ir apkopotas *Rooms* objektā, objektā *Obstacles* atrodas visi pārējie arhitektūras elementi (piemēram, uz telpu plāniem attēlā 4.2. tie ir tukšumi telpu iekšā). *GoalCollectibles* objektā atrodas priekšmeti, kurus ir nepieciešams atrast, un *FinishPlane* ir plakne, pie kuras pieskaroties tiek fiksētas eksperimenta beigas.

Pēdējā blokā atrodas visi pārējie funkcionālie objekti. *UI* atrodas lietotāju saskarnes elementi, *Directional Light* ir atbildīgs par apgaismojumu telpā un *Player* objekts ir spēlētāja objekts, pie kura ir piesaistīta kamera un kustības moduļi. Papildus tam, pie *Player* objekta ir piesaistīta *Collect Items* klase (6. pielikums), kura piefiksēja, ka meklējamie objekti tika atrasti un atbilstoši pārkrāsoja tos, un *Input Tracker* klase (7. pielikums), kura pierakstīja eksperimenta dalībnieka pozīciju ik pēc 4 kadriem un pēc eksperimenta beigu sasniegšanas aizsūtīja to uz tīmekļa servera, lai pierakstītu savāktos datus datubāzē.



4.6. att. Unity ainas simetriskajai telpai struktūra

Savukārt pēc eksperimenta beigām eksperimenta dalībnieki tika automātiski pārvietoti citā ainā, kurā tika uzdoti daži demogrāfiski jautājumi, un kura sastāv no vairākiem lietotāja saskarnes elementiem. Attēlā 4.7. ir šīs ainas gala izskats no galalietotāja skata punkta.

Apsveicu, Jūs veiksmīgi izpildījāt uzdevumu! Lai pabeigtu eksperimentu, atbildiet, lūdzu, uz dažiem jautājumiem. Ja vēlaties, varat atstāt savu e-pasta adresi, lai saņemtu pētījuma rezultātus.

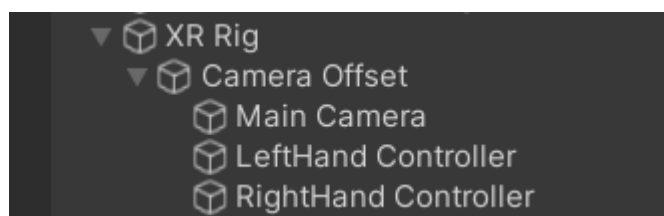
Vaists	Cik stundas nedēļā Jūs spēlējāt videospēles (arī uz mobilā telefona)
<input type="text" value="Latvija"/>	<input type="text" value="---"/>
Dzimums	Cik bieži Jūs lietojat navigācijas ierīces (Google Maps, Waze utt.)?
<input type="text" value="---"/>	<input type="text" value="---"/>
Vecums	Vai Jums ir krāsu redzes traucējumi?
<input type="text"/>	<input type="text" value="---"/>
Augstākais iegūtais izglītības līmenis	E-pasts (nav obligāti)
<input type="text" value="---"/>	<input type="text"/>

4.7. att. Aina ar jautājumiem pētījuma dalībniekiem

4.3.2. VR integrācija

Lai izveidotās ainas varētu lietot VR, tās bija atbilstoši jāpielāgo. Šim nolūkam tika izmantota *XR Interaction Toolkit* pakotne.

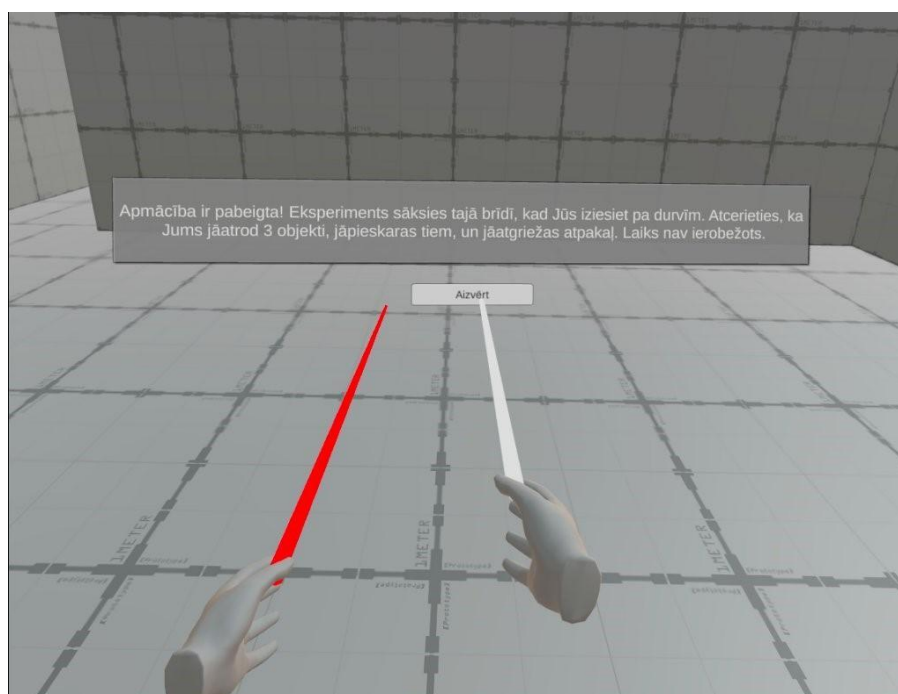
Player objekts tika aizvietots ar *XR Interaction Toolkit* standarta objektu *XR Rig* (sk. att. 4.8). Tas sastāv no kameras, kuras augstums telpā tiek automātiski noteikts atkarībā no HMD lietotāja augstuma, un diviem objektiem, kuri atbilst lietotāja labajai un kreisajai pulstī. Pēc noklusējuma pie labās un kreisās rokām ir piesaistīti stari, kuri var būt izmantoti mijiedarbībai ar objektiem vai lietotāju saskarni.



4.8. att. *XR Rig* objekta no *XR Interaction Toolkit* hierarhija

XR Rig tika modificēts, lai pielāgotu to eksperimenta vajadzībām. Labās un kreisās rokas objektiem tika pievienoti 3D roku modeļi (sk. att. 4.9.) no *Oculus Hand Models* pakotnes [95], lai pastiprinātu klātbūtnes sajūtu [96]. Roku 3D modeļi ir animēti.

Lietotāju saskarne arī tika modificēta tā, lai atbilstu VR lietotāju saskarnes labākajai praksei [97]. Lietotāja saskarne nebija “piestiprināta” pie ekrāna tāpat, kā tas tiek darīts tradicionālajās lietotāja saskarnēs, tā pastāvēja kā fiziskais objekts eksperimenta vidē (sk. att. 4.9.). Tika modificēta gan apmācības lietotāju saskarne, gan aptauja eksperimenta beigās. Mijiedarbības stari tika iespējoti tikai tad, kad tika parādīta lietotāju saskarne. Kustība tika aizliegta līdz brīdim, kamēr lietotājs nospiedīs pogu uz dialoga loga, lai pārliecinātos, ka viņš ir izlasījis dialoga loga saturu.



4.9. att. Lietotāju saskarnes piemērs VR kopā ar 3D roku modeļiem. Mijiedarbības stars kļūst par baltu, kad ar objektu ir iespējams mijiedarboties

Pēc noklusējuma *XR Rig* nav iebūvēta kustības sistēma, tā bija jāpievieno atsevišķi. Eksperimentā tika īstenota “gluda” pārvietošanās, līdzīgi kā datorspēlēs uz parastā plakanā displeja. Lai pārvietotos, lietotājs varēja izmantot gan labo, gan kreiso pultī. Par dažādo kustības veidu VR priekšrocībām un trūkumiem bija detalizēti izstāstīts 3. nodaļā. Darba autorei neizdevās piesaistīt pietiekoši daudz eksperimenta dalībnieku, lai pielietotu starpgrupu pētījuma dizainu un pārbaudītu navigācijas procesu, izmantojot dažādus pārvietošanās veidus, tāpēc tika izvēlēta

“gluda” pārvietošanās, jo tā ir viena no visplašāk izmantojamām VR spēlēs un lietotnēs, un tā ļauj kustēties ar konstantu ātrumu.

Jāatzīmē, ka kustības ātrums bija apmēram 2 reizes lēnāks nekā eksperimenta versijā uz plakana ekrāna. VR gadījumā kustības ātrums atbilda ātrās soļošanas ātrumam, savukārt uz plakana ekrāna eksperimenta dalībniekiem likās, ka tāds ātrums ir pārāk lēns, kas izraisīja negatīvas emocijas eksperimenta laikā. Nepieciešamais palēninājums tika noteikts empīriski, testējot to uz dažādiem cilvēkiem. Interesanti, ka šī parādība nav pieminēta spēļu izstrādātāju interneta resursos, tomēr netieši tiek apspriesta tiešsaistes diskusijas grupās. Spēlēs, kuras vispirms bija “tradicionālās” datorspēles un tika vēlāk pārnestas virtuālajā realitātē, mēdz būt pārāk liels uztvertais kustības ātrums, kas varētu būt izskaidrots ar to, ka izstrādātāji nemaina spēlētāja kustības ātrumu, pārnesot spēli virtuālajā realitātē [98].

4.4. Ietvars attālināto pētījumu veikšanai

Visā maģistra darba izstrādes laikā bija spēkā ar COVID-19 saistītie ierobežojumi, līdz ar to bija lemts abus eksperimentus veikt attālināti. Tas nozīmē, ka izstrādātās programmas bija jāpielāgo tā, lai eksperimenta dalībnieki varētu tajās piedalīties, izmantojot savu datoru un tehnisko aprīkojumu.

1. eksperiments tika uztaisīts tā, lai to varētu palaist interneta pārlūkā. Šim nolūkam tika izmantots *WebGL* [99] API (application programming interface - lietojumprogrammu saskarne). *Unity* ir iebūvēts *WebGL* atbalsts, līdz ar to programmatūru var uzreiz būvēt tā, lai tai varētu piekļūt, izmantojot pārlūku. Projekts tika izvietots *DigitalOcean* [100] mākonī kā statiskā tīmekļa lapa (tās saturs nemainās atkarībā no lietotāja darbībām). Saites uz projekta tīmekļa versiju ir 2. pielikumā.

2. eksperiments tika īstenots, vadoties pēc 2021. gadā publicētā raksta par VR pētījumu veikšanu, piesaistot dalībniekus, kuriem jau ir personīgais HMD [101]. Tā kā darba autorei bija iespēja notestēt eksperimenta lietotni tikai uz *Oculus Quest 2* ierīces, tika piesaistīti tieši *Oculus Quest* vai *Oculus Quest 2* īpašnieki (abos šajos HMD lietotnes ir palaistas kā atsevišķas *Android* lietotnes un nepieprasa datora lietošanu to izmantošanai). Lietotne tika izplatīta, izmantojot *SideQuest* [102] infrastruktūru: *SideQuest* ir līdzīgs tiešsaistes veikalam *Oculus Quest* vai *Oculus Quest 2* ierīcēm, no kura vienlaikus var ērti lejupielādēt iegādātās lietotnes uzreiz savā HMD, izmantojot kabeli. Vēl viena *SideQuest* platformas priekšrocība ir tāda, ka platformas

administratori publikācijai iesniegtas lietotnes parasti pārbauda un apstiprina apmēram 24 stundu laikā. Saītes uz darba autores *SideQuest* publicēto lietotni ir aplūkojamas 3. pielikumā.

Tā kā abi eksperimenti notika attālināti, bija jānodrošina dalībnieku datu pierakstīšana datubāzē. Šim nolūkam tika izstrādāts vienkāršs *Node.js* serveris, kurš arī tika izvietots *DigitalOcean* mākonī. Tas arī ģenerēja nejaušo skaitli 1 vai 2 1. eksperimenta sākumā, lai noteiktu, kurā vidē nokļūs pētījuma dalībnieks (tas bija nepieciešams tāpēc, ka no jauna inicializētais *C#* iebūvētais nejaušo skaitļu ģenerators ģenerē vienu un to pašu skaitli kādā laika periodā, līdz ar to šis skaitlis tika iegūts no cita avota). Šī servera pirmkods ir pieejams 8. pielikumā.

4.5. Pētījuma dalībnieku raksturojums

Šajā nodaļā tiks aprakstīts, kā tika piesaistīti abu eksperimentu dalībnieki, kādas ir katras grupas īpašības un būtiskākas atšķirības. Datu apstrādei un vizualizācijām tika izmantota *R* valoda.

4.5.1. 1. eksperiments

1. eksperimentam pārsvarā bija piesaistīti dalībnieki no darba autores paziņu loka, kuriem bija pieeja datoram ar tastatūru un peli (eksperiments nebija pielāgots, piemēram, viedtālruniem vai klēpj datoriem ar skārienpaliktņiem). Rezultātā eksperimentā piedalījās 76 dalībnieki, no tiem 30 sievietes, 45 vīrieši, un viens dalībnieks atzīmēja, ka nevēlās atbildēt uz šo jautājumu. 40 dalībniekiem tika piešķirta simetriskā eksperimenta vide, 36 - asimetriskā. Tabulās 4.1. un 4.2. ir apkopots eksperimenta dalībnieku sadalījums pēc dzimuma dažādās eksperimenta vidēs.

4.1. tabula

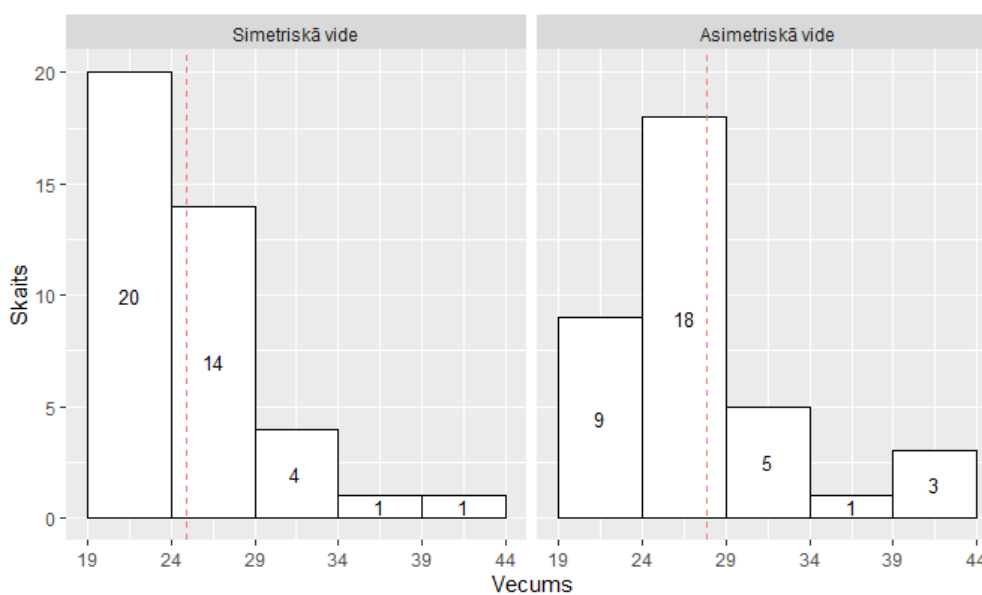
Eksperimenta dalībnieku, kuri pildīja uzdevumu simetriskajā vidē, sadalījums pēc dzimuma

Dzimums	Skaitis	Procentuāli
Sieviete	17	42,5%
Vīrietis	23	57,5%

Eksperimenta dalībnieku, kuri pildīja uzdevumu asimetriskajā vidē, sadalījums pēc dzimuma

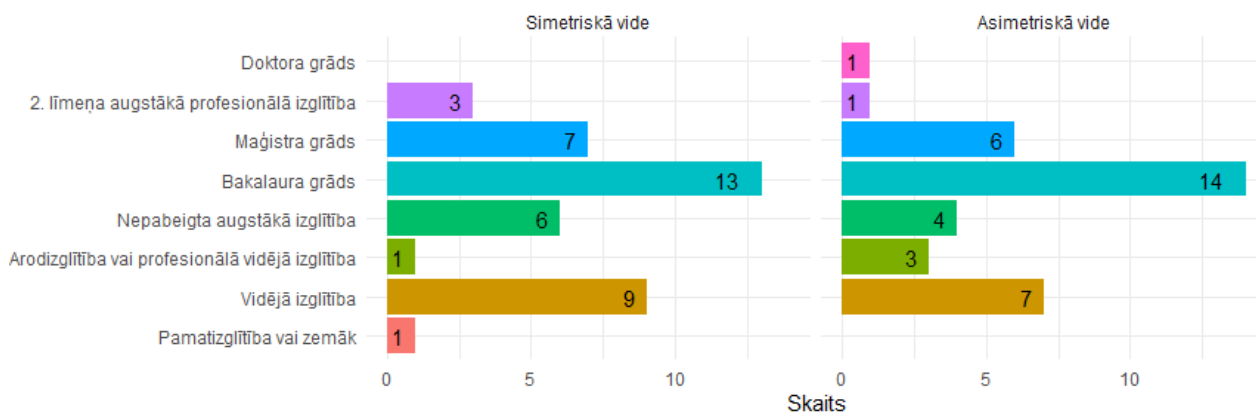
Dzimums	Skaitis	Procentuāli
Sieviete	13	36%
Vīrietis	22	61%
Cits	1	3%

Eksperimenta dalībnieku vecums bija robežās no 19 gadiem līdz 43 gadiem, tomēr lielāka daļa dalībnieku bija vecuma grupā no 19 līdz 29 gadiem. Vidējais vecums simetriskās vides grupā ir 25 gadi un asimetriskās vides grupā - 28 gadi. Pilns vecumu sadalījums ir apkopots histogrammā attēlā 4.10.

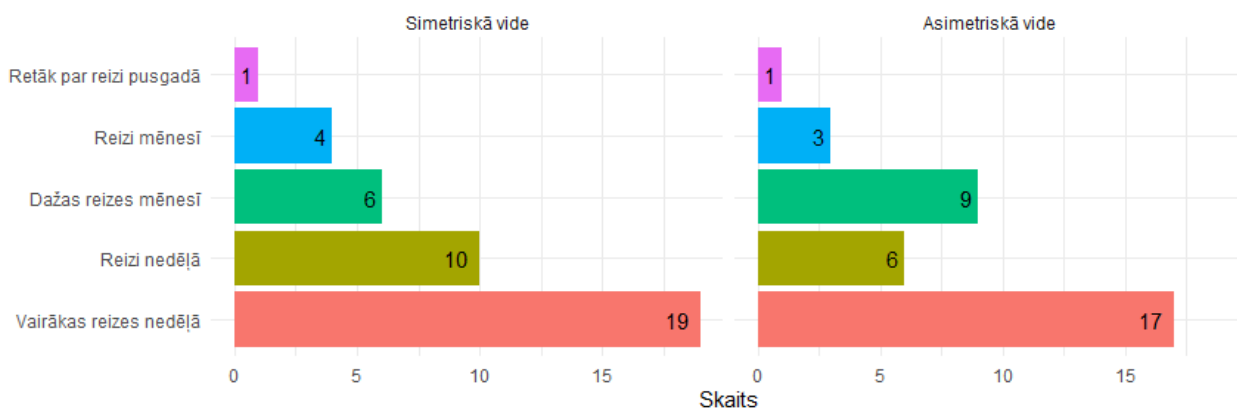


4.10. att. 1. eksperimenta dalībnieku vecumu sadalījuma histogramma. Ar sarkano līniju ir atzīmēts vidējais vecums

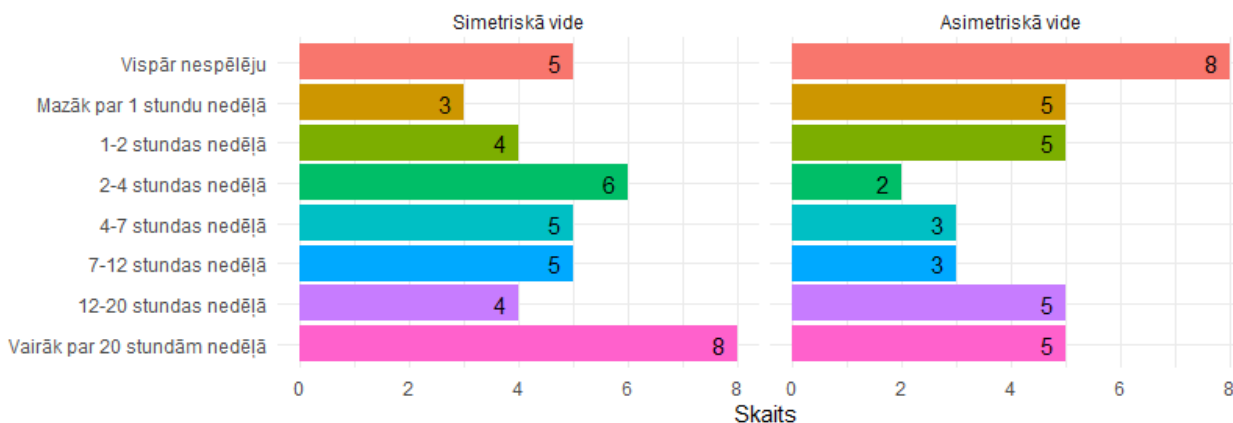
Pēc eksperimenta beigām dalībniekiem tika arī uzdoti jautājumi par viņu izglītības līmeni, navigācijas ierīču izmantošanas biežumu, un videospēļu (ieskaitot mobilās spēles) spēlēšanas laiku nedēļā. Šie dati ir apkopoti uz grafikiem attēlos 4.11, 4.12 un 4.13. Arī tika uzdots jautājums par krāsu redzes traucējumiem, bet eksperimenta dalībnieku ar tādiem traucējumiem bija tikai 2, tāpēc tālākajā analizē tas netika ņemts vērā.



4.11. att. 1. eksperimenta dalībnieku izglītības līmeņa sadalījums



4.12. att. 1. eksperimenta dalībnieku navigācijas ierīču izmantošanas biežuma sadalījums



4.13. att. 1. eksperimenta dalībnieku videospēļu spēlēšanas laika nedēļā sadalījums

Kopumā eksperimenta dalībniekus varētu raksturot sekojoši: vairākumam dalībnieku bija vismaz uzsākta augstākā izglītība, gandrīz visi navigācijas ierīces izmanto vismaz reizi mēnesī,

turklāt vairākums izmanto tās vairākas reizes nedēļā, un vairākums dalībnieku spēlē videospēles vismaz 1 stundu nedēļā. Var redzēt, ka starp grupām arī nav nozīmīgu atšķirību demogrāfisko rādītāju ziņā (tas arī tika pārbaudīts ar Hī-kvadrāta testu).

4.5.2. 2. eksperiments

Kā tika minēts iepriekš, 2. eksperimentam bija piesaistīti tādi dalībnieki, kuri ir VR HMD īpašnieki. Tā kā eksperiments tika testēts tikai izmantojot *Oculus Quest 2*, bija piesaistīti tieši *Oculus Quest* vai *Oculus Quest 2* īpašnieki. Dalībnieku atlases process notika sekojoši: aptauju veikšanas platformā *Prolific* [103] tika aptaujāti cilvēki, kuri ir norādījuši, ka viņi ir VR HMD īpašnieki, un no tiem tika atsijāti tie, kuri atbilda vairākiem parametriem:

- *Oculus Quest* vai *Oculus Quest 2* īpašnieks;
- Ir gatavs uzstādīt eksperimenta lietotni uz savas ierīces;
- Ir iespēja izmantot datoru un kabeli, lai lejupielādētu šo lietotni uz savas ierīces;
- Ērti jūtas, lietojot “gludo” pārvietošanās veidu, vai arī nejūtas ērti, bet ir gatavs piedalīties eksperimentā, kurā ir lietots šāds pārvietošanās veids (tā kā šis pārvietošanās veids var izraisīt kiberslimību, bija daži respondenti, kuri atteicās piedalīties šādā eksperimentā).

Papildus tika uzdots jautājums par to, vai respondentam ir pieredze *SideQuest* lietošanā, bet šim jautājumam bija informatīva nozīme, un tas netika izmantots eksperimenta dalībnieku atlases nolūkiem.

Kopumā tika aptaujāti 824 VR HMD īpašnieki, no kuriem 720 atbildēja, ka viņi būtu gatavi piedalīties attālinātā VR pētījumā. Vispirms ir interesanti paskatīties uz šo grupas demogrāfiskām īpašībām kopumā:

- 222 respondentu bija sievietes (31%), 485 - vīrieši (67%), 13 respondenti atzīmējuši, ka nevēlās norādīt savu dzimumu, vai kādu citu iemeslu dēļ šī informācija nebija pieejama (2%);
- Minimālais respondentu vecums bija 18 gadi, maksimālais - 68 (vidējais = 27.3, standartnovirze = 8.5);
- Visvairāk respondentu bija no Apvienotās Karalistes (137 - 19%), Polijas (125 - 17%) un ASV (110 - 15%).

Tas diezgan labi sakrīt ar aptaujas rezultātiem, iegūtiem pētījumā par attālināto VR eksperimentu īstenošanu [101], kur respondenti tika piesaistīti no vairākiem avotiem: tur 23% respondentu bija

sievietes, 76% - vīrieši, ap 1% atzīmēja citu atbildi; vecumā no 18 līdz 56 gadiem (vidējais = 29.7, standartnovirze = 8.8); un vairākums respondentu bija no ASV, Apvienotās Karalistes un Vācijas.

Jāatzīmē, ka no trim, aptaujā minētajiem, populārākajiem HMD: *Playstation VR* (186 - 26%), *Oculus Quest/Oculus Quest 2* (155 - 22%) un *Cardboard* (91 - 13%) tikai *Oculus Quest* vai *Oculus Quest 2* var reālistiski izmantot attālinātā VR pētījuma veikšanai. *Playstation VR* strādā tikai kopā ar *Playstation* spēļu konsoli, tāpēc ar to nav iespējams palaist kaut kādu lietotni, kura nav pieejama *Playstation* veikalā. *Cardboard* tipa VR ir no kartona izgriezta ierīce ar lēcām, kurā tiek ievietots viedtālrunis, tāpēc šī ierīce spēj izsekot lietotāja galvas rotāciju, bet ne tās pozīciju telpā, kā arī parasti *Cardboard* tiek lietots bez ievada ierīcēm.

Interesanti, ka no 155 piesaistītiem *Oculus Quest/Oculus Quest 2* īpašniekiem tikai 33 (21%) atzīmēja, ka nav dzirdējuši par *SideQuest* platformu. 85 (55%) respondentiem bija pieredze tās lietošanā, un 37 (24%) par tādu ir dzirdējuši, bet nav lietojuši.

Tālāk šiem 155 *Oculus Quest/Oculus Quest 2* īpašniekiem bija nosūtīts uzaicinājums piedalīties pētījumā, kā arī īsa instrukcija lietotnes uzstādīšanai savā ierīcē (3. pielikums). Pēc nejaušības principa daļa no eksperimenta dalībniekiem saņēma saiti uz eksperimentu simetriskajā vidē, un pārējie - asimetriskajā. Dzimumu un vecumu sadalījums šajā grupā bija apmēram tāds pats, kā visiem aptaujātiem VR HMD īpašniekiem (34% sievietes, 65% vīrieši, 1% citi, vidējais vecums 28 gadi). Lai gan potenciālo eksperimenta dalībnieku skaits bija diezgan liels, iesaistījās tajā tikai 45 cilvēki. Tālāk, līdzīgi kā 1. eksperimentam, tiks raksturotas eksperimenta dalībnieku īpašības.

Simetriskajā vidē uzdevumu pildīja 24 cilvēki un asimetriskajā - 20. Tabulās 4.3. un 4.4. ir apkopots eksperimenta dalībnieku sadalījums pēc dzimuma dažādās eksperimenta vidēs. Var redzēt, ka sadalījums ļoti atšķiras no sadalījuma 1. eksperimentā, - lai gan atlases aptaujā 34% no respondentiem, kuri atzīmēja, ka viņi ir *Oculus Quest/Oculus Quest 2* īpašnieki, bija sievietes, lietotni uzstādīja un piedalījās eksperimentā tikai 3 sievietes.

4.3. tabula

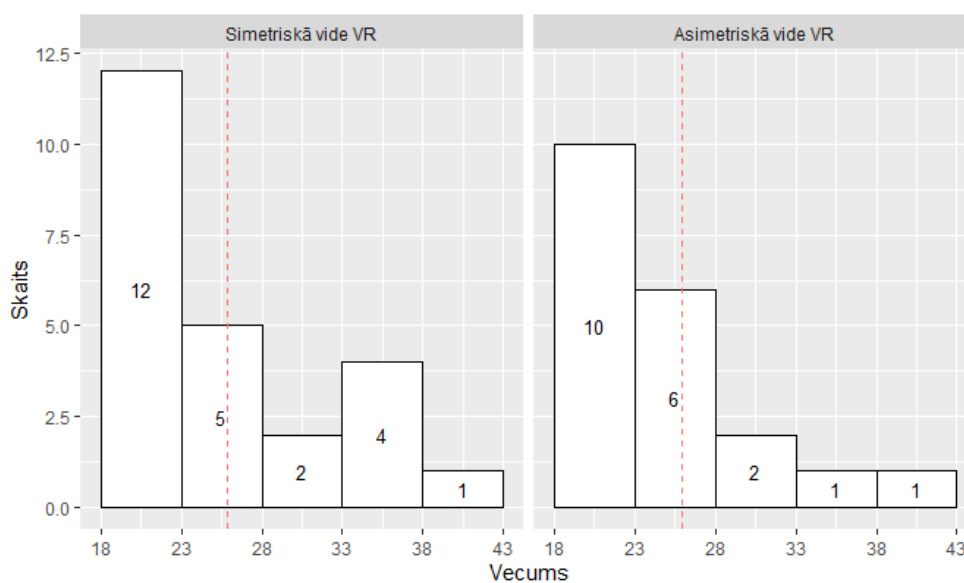
Eksperimenta dalībnieku, kuri pildīja uzdevumu simetriskajā VR vidē, sadalījums pēc dzimuma

Dzimums	Skaits	Procentuāli
Sieviete	1	4%
Vīrietis	22	92%
Cits	1	4%

Eksperimenta dalībnieku, kuri pildīja uzdevumu asimetriskajā VR vidē, sadalījums pēc dzimuma

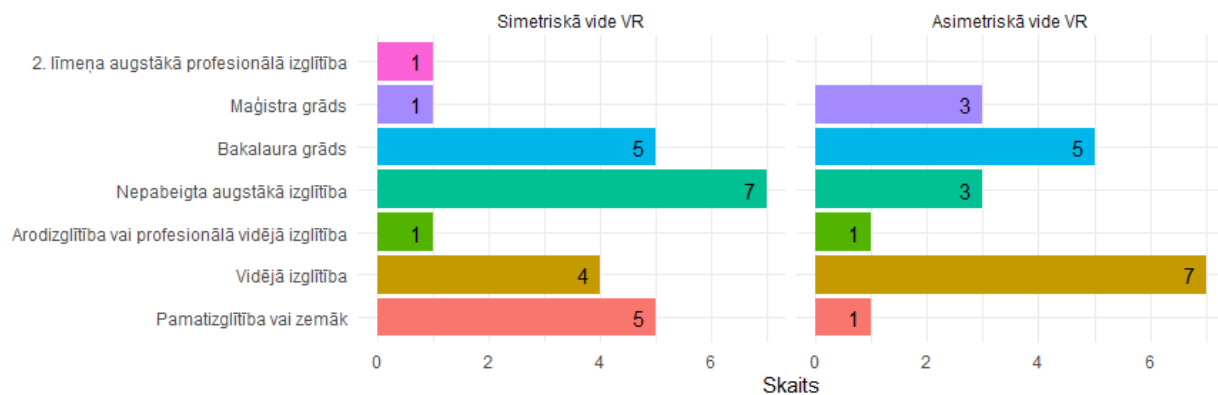
Dzimums	Skaitis	Procentuāli
Sieviete	2	10%
Vīrietis	18	90%

Eksperimenta dalībnieku vecums bija robežās no 18 gadiem līdz 43 gadiem, lielāka daļa eksperimenta dalībnieku bija vecumā līdz 30 gadiem. Vidējais vecums simetriskās vides grupā ir 26 gadi un asimetriskās vides grupā - 25 gadi. Pilns vecumu sadalījums ir apkopots histogrammā attēlā 4.13. Kopumā vecumu sadalījums 2. eksperimentā ir līdzīgs vecumu sadalījumam 1. eksperimentā.

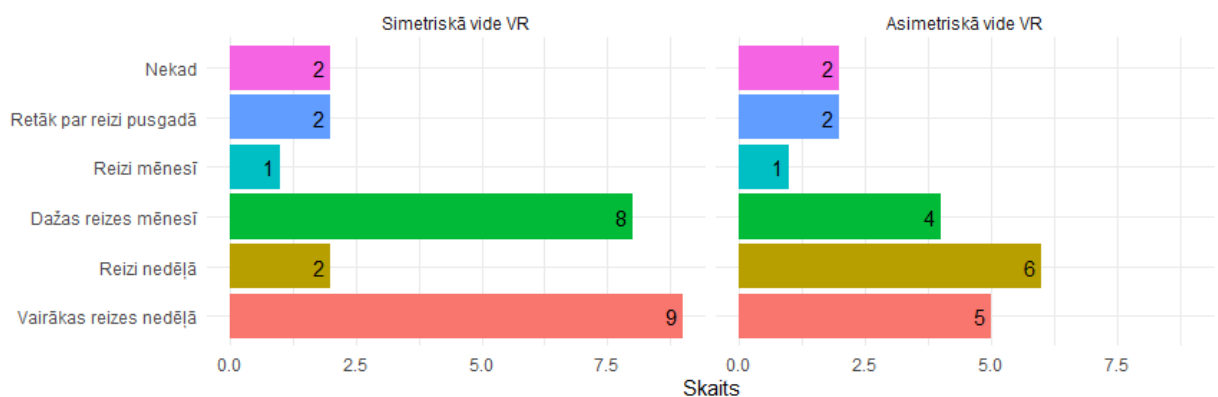


4.13. att. 2. eksperimenta dalībnieku vecumu sadalījuma histogramma. Ar sarkano līniju ir atzīmēts vidējais vecums

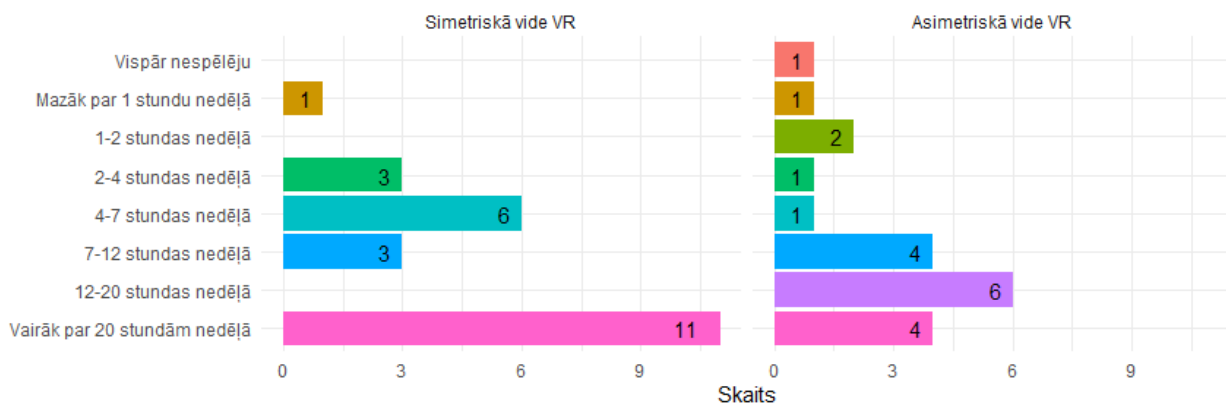
Tāpat kā 1. eksperimentā, pēc eksperimenta beigām dalībniekiem tika uzdoti jautājumi par viņu izglītības līmeni, navigācijas ierīču izmantošanas biežumu un videospēļu (ieskaitot mobilās spēles) spēlēšanas laiku nedēļā. Papildus tika uzdots jautājums par spēlēšanas laiku nedēļā tikai VR. Šie dati ir apkopoti grafikos, kuri ir apskatāmi attēlos 4.14, 4.15, 4.16 un 4.17.



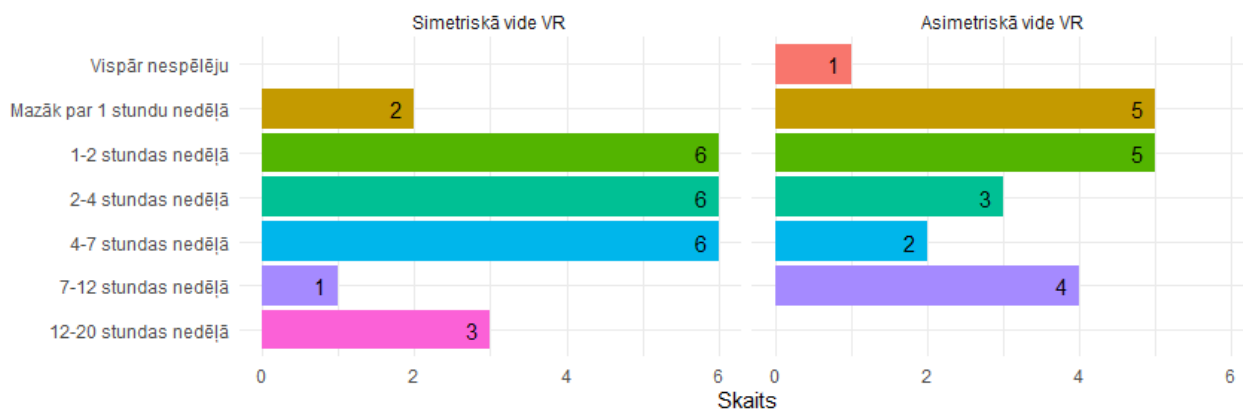
4.14. att. 2. eksperimenta dalībnieku izglītības līmeņa sadalījums



4.15. att. 2. eksperimenta dalībnieku navigācijas ierīču izmantošanas biežuma sadalījums



4.16. att. 2. eksperimenta dalībnieku videospēļu spēlēšanas laika nedēļā sadalījums



4.17. att. 2. eksperimenta dalībnieku VR videospēļu spēlēšanas laika nedēļā sadalījums

Kopumā eksperimenta dalībniekus varētu raksturot sekojoši: salīdzinot šīs grupas izglītības līmeni ar 1. eksperimenta dalībnieku grupu, var redzēt, ka šajā gadījumā tas ir vidēji zemāks, ir lielāka dalībnieku proporcija, kuriem ir vidēja izglītība vai zemāka. Gandrīz nav tādu cilvēku, kuri vispār nespēlē videospēles, turklāt vidējais spēlēšanas laiks nedēļā ir lielāks. Arī VR respondenti vidēji pavada nozīmīgu laika periodu nedēļā, spēlējot videospēles. Navigācijas ierīces tiek izmantotas vismaz dažas reizes nedēļā, tāpat ka 1. eksperimenta dalībniekiem. Starp VR eksperimenta dalībniekiem simetriskajās un asimetriskajās telpās nozīmīgu atšķirību nav.

Tomēr 1. eksperimenta dalībnieku grupa un 2. eksperimenta dalībnieku grupa diezgan nozīmīgi atšķiras savā starpā, it īpaši pēc dzimumu sadalījuma. No teorijas ir zināms, ka navigācijas process sievietēm un vīriešiem ir atšķirīgs, tāpēc nebūtu pareizi tieši salīdzināt 1. un 2. eksperimentu rezultātus savā starpā. Arī 2. eksperimenta dalībnieku grupa vidēji velta vairāk laika videospēlēm (daļēji var būt izskaidrojams ar to, ka 1. eksperimentā starp dalībniekiem tieši sievietes veltīja mazāk laika videospēlēm, kā arī ar to, ka VR ierīču īpašnieki visdrīzāk būs vairāk ieinteresēti videospēlēs), kas arī varētu ietekmēt navigāciju virtuālajās telpās.

5. PĒTĪJUMA DATU ANALĪZE

5.1. Datu sagatavošana

Uzdevuma pildīšanas laikā tika pierakstītas eksperimenta dalībnieka koordinātes un laikspiedols XML formātā ik pēc 4 kadriem (lai samazinātu gala XML faila izmēru), no kuriem tālāk tika izrēķinātas vairākas metrikas:

- Apmācību laiks;
- Kopējais objektu meklēšanas un atpakaļ atgriešanās laiks;
- 1. objekta meklēšanas laiks;
- 2. objekta meklēšanas laiks;
- 3. objekta meklēšanas laiks;
- Atpakaļ atgriešanās laiks;
- Kopējais ceļš nosacītās vienībās;
- Kopējā ceļa efektivitāte (kopējais ceļš dalīts ar visīsāko ceļu);
- Atpakaļceļa garums nosacītās vienībās;
- Pagriezīenu skaits (par pagriezīenu tika uzskatīts pagriezīens uz leņķi starp 80 un 100 grādiem).

Īsākā iespējamā ceļa noteikšanai tika izmantota *Unity* iebūvētā *NavMeshAgent* komponente, kura tika pievienota *Player* objektam. Šī komponente ļauj objektam izrēķināt ceļu līdz jebkuram citam objektam, un pārvietoties pa šo ceļu. Ceļa aprēķināšanai līdz mērķim tika izmantots īss skripts *ShowGoldenPath* skripts:

```
1. using UnityEngine;
2. using UnityEngine.AI;
3.
4. public class ShowGoldenPath : MonoBehaviour
5. {
6.     public Transform target;
7.     private NavMeshPath path;
8.     private NavMeshAgent agent;
9.
10.    void Start()
11.    {
12.        agent = GetComponent<NavMeshAgent>();
13.        path = new NavMeshPath();
14.        NavMesh.CalculatePath(transform.position, target.position, NavMesh.AllAreas, path);
15.        agent.SetPath(path);
16.    }
17. }
```

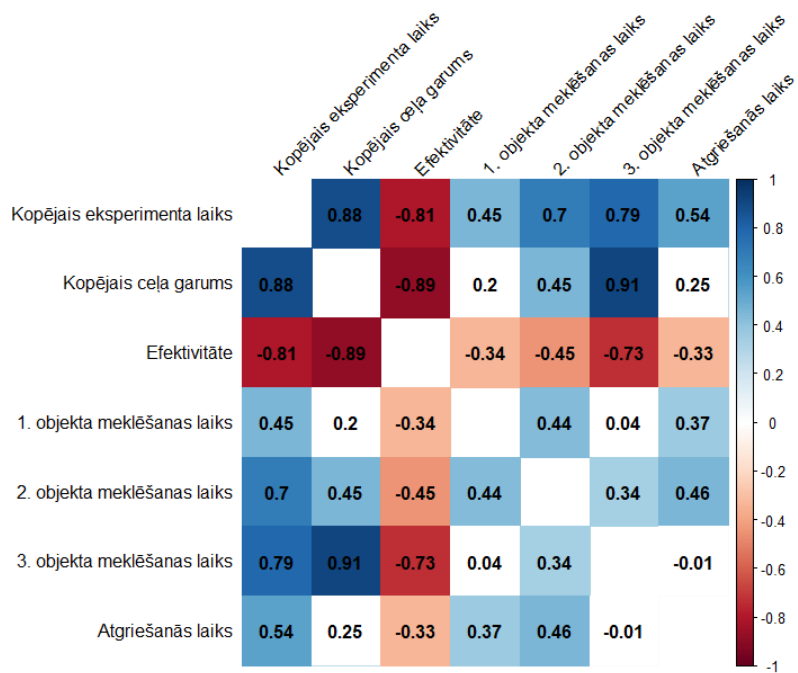
Šeit *agent* ir objekts, pie kura tika pievienota *NavMeshAgent* komponente, *target* ir objekts, līdz kuram tiek aprēķināts ceļš, *path* - aprēķinātais ceļš, un *NavMesh.AllAreas* ir tā telpa, kura tika iepriekš atzīmēta kā tāda, kurā aģentam ir atļauts kustēties. Rezultātā iegūtais īsākais ceļš simetriskajā vidē sanāca 738 nosacītās vienības un asimetriskajā - 704 (sk. att. 5.1).



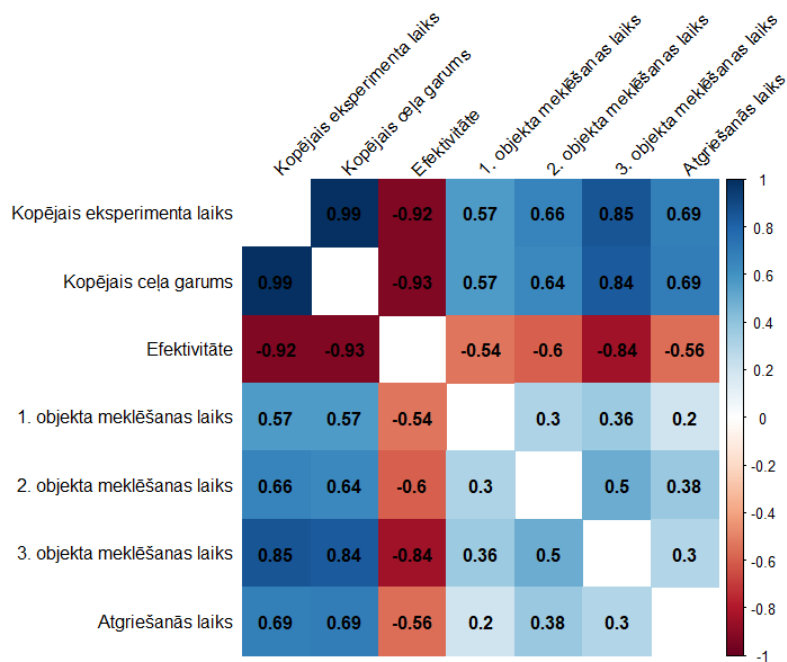
5.1. att. Īsākais nepieciešamais ceļš uzdevuma veikšanai. Ar sarkano kvadrātu ir apzīmēts sākuma punkts, ar zilajiem kvadrātiem - meklējamo objektu atrašanās vietas:

(a) simetriskās telpas (b) asimetriskās telpas

Pirms eksperimentu datu analīzes tika pārbaudītas korelācijas starp dažām aprēķinātām vērtībām (piemēram, ja starp kopējo objektu meklēšanas laiku un ceļa garumu pastāv stipra korelācija, tad nav vērts analizēt šīs divas vērtības atsevišķi). Korelāciju grafiki ir atspoguļoti attēlos 5.2 un 5.3 (1. un 2. eksperimentiem attiecīgi; 1. eksperimentam, izdalot atsevišķi sieviešu un vīriešu grupas, kopējā aina būtiski nemainās).



5.2. att. 1. eksperimentā aprēķināto metriku korelāciju grafiks



5.2. att. 2. eksperimentā aprēķināto metriku korelāciju grafiks

No korelāciju grafikiem var izdarīt dažus secinājumus: kopējais eksperimenta laiks un kopējais ceļa garums ir augsti korelēti savā starpā, kas ir izskaidrojams ar to, ka abos eksperimentos kustības ātrums bija konstants. 2. VR eksperimentā šī korelācija ir gandrīz vienāda ar 1, kas ļauj domāt, ka VR eksperimenta dalībnieki gandrīz neapstājās eksperimenta gaitā (daži iespējami

skaidrojumi ir tādi, ka VR gandrīz nav traucējošo faktoru, kas ļauj koncentrēties uz uzdevuma izpildi, vai arī lēnāks kustības ātrums deva iespēju savlaicīgi pārorientēties).

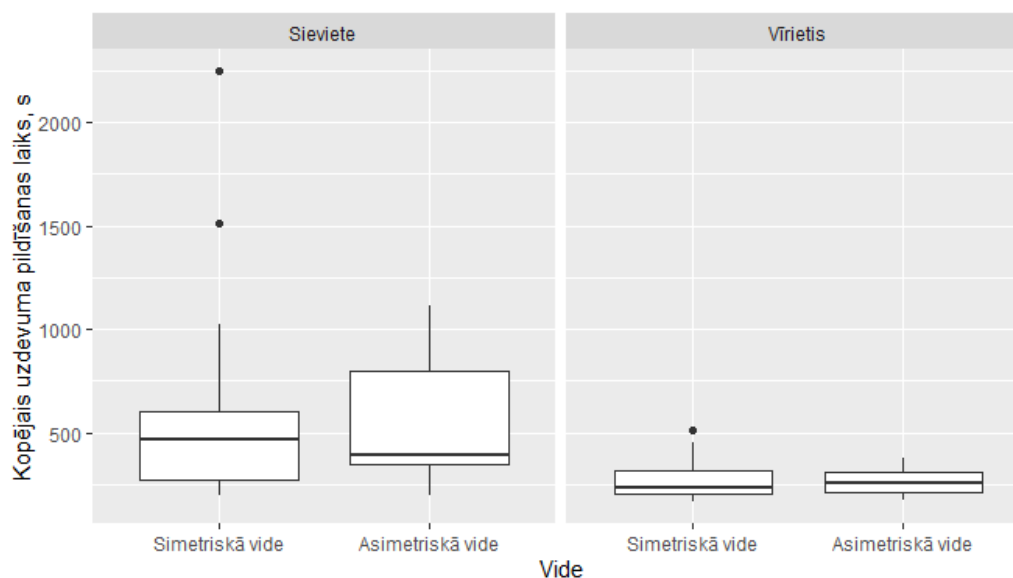
Ceļa efektivitāte tika aprēķināta, dalot ar kopējo ceļa garumu, tāpēc ir sagaidāms, ka tā būs negatīvi korelēta ar kopējo ceļa garumu.

Interesanti, ka atgriešanās laiks ir vāji saistīts ar kopējo eksperimenta laiku un ceļa efektivitāti 1. eksperimentā, darba autore sagaidīja, ka tie eksperimenta dalībnieki, kuri visātrāk spēja izpildīt eksperimenta uzdevumu, būs arī tie, kuri visātrāk atradīs izeju un otrādi. 2. eksperimentā korelācija starp šīm metrikām ir stiprāka, bet tur kopējais eksperimenta laiks, kopējais ceļa garums un ceļa efektivitāte ir vidēji stipri vai stipri korelēti ar visām pārējām metrikām.

Kā pamata metrikas tālākajai metrikai būs izmantoti: kopējais eksperimenta laiks, atgriešanās laiks (kā metrika, kura liecina, vai eksperimenta dalībnieks ir atcerējies ceļu), 3. objekta meklēšanas laiks (kā metrika, kura liecina, vai eksperimenta dalībnieks spēj saprast, kur viņš vēl nav bijis) un ceļa efektivitāte.

5.2. 1. eksperimenta datu analīze

Sākumā tika uzzīmēti eksperimenta uzdevuma pildīšanas laika kastu grafiki, lai pārbaudītu, vai iegūtajos datos ir izlecēji (sk. att. 5.3.). No teorijas ir sagaidāms, ka būs novērojamas atšķirības telpiskās navigācijas uzdevumos starp dzimumiem, līdz ar to, izlecēju pētīšanai grafiki tika uzzīmēti atsevišķi sievietēm un vīriešiem (kopā 30 sievietes un 45 vīrieši). No grafikiem uzreiz var redzēt, ka atšķirība tiešām pastāv: uzdevuma pildīšanas laiks sievietēm visbiežāk bija ilgāks, nekā vīriešiem, kā arī dispersija ir atšķirīga, - sievietēm ir novērojama lielāka rezultātu atšķirība savā starpā (par ko liecina garākas “kastes” sievietēm, un īsākas - vīriešiem). Ir arī nozīmīgi izlecēji - divi eksperimenta dalībnieki pildīja uzdevumus vairāk par 25 minūtēm, kaut arī vairākumam tas aizņēma mazāk par 10 minūtēm. Izpētot XML datus šiem diviem dalībniekiem, nebija ievērotas nozīmīgas kļūdas vai nepilnības, izskatās, ka eksperimenta dalībnieki visu eksperimenta laiku bija kustībā. Jāatzīmē, ka darba autorei trīs cilvēki, kuri mēģināja piedalīties eksperimentā, paziņoja, ka viņi nespēja atrast izeju un aizvēra eksperimentu. Tā kā datu pieraksts datubāzē notika pēc uzdevuma pilnīgas izpildīšanas, nav zināms, cik tādu cilvēku īstenībā bija; ja viņi būtu pabeiguši uzdevumu, visticamāk, viņu rezultāta laiks arī būtu lielāks par vidējo. Šo apsvērumu dēļ, agrāk pieminētie izlecēji tika izslēgti no tālākās analīzes.



5.3. att. Kopējā uzdevuma pildīšanas laika kastu grafiki, sievietēm un vīriešiem atsevišķi. Melnā līnija ir mediāna, kastes malas nosaka pirmā un trešā kvartile

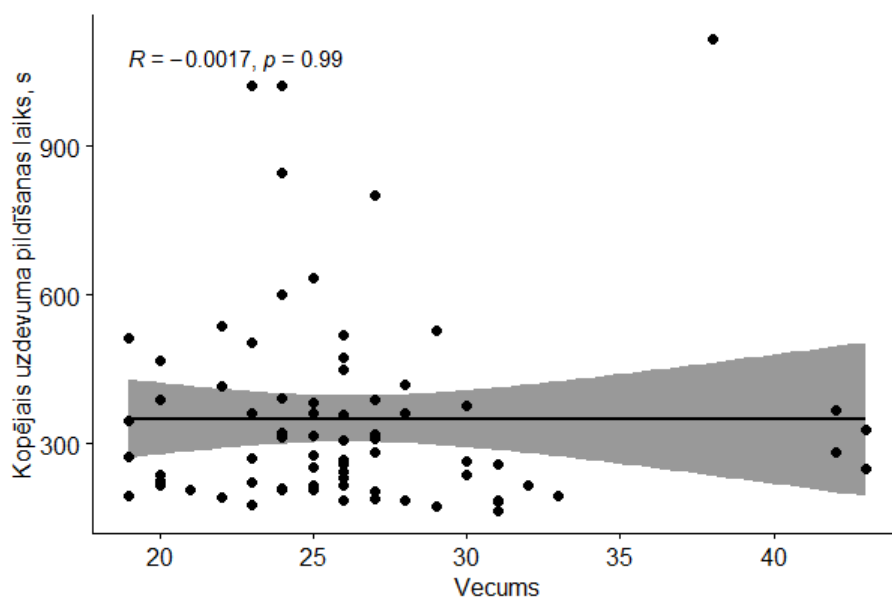
Uz kastu grafikiem var redzēt, ka pastāv dzimumu atšķirība kopējam uzdevuma pildīšanas laikam. Tāpēc tika pārbaudīts, vai šai metrikai, kā arī ceļa efektivitātei, 3. objekta meklēšanas laikam un atgriešanas laikam šī atšķirība ir statistiski nozīmīga. Statistisko testu veikšanai tika izmantots Vilksona tests, jo tas ir neparametrisks (tātad šis tests nedarbojas ar pieņēmumu, ka dati ir normāli sadalīti), un kastu grafikos var redzēt, ka sadalījums, visticamāk, ir asimetrisks (mediāna neatrodas tieši centrā). Arī neparametriskie testi ir lietderīgi tādā gadījumā, kad datu punktu vienā grupā ir salīdzinoši maz (mazākā grupa: sievietes, kuras piedalījās eksperimentā asimetriskajā vidē - 13 cilvēki), līdz ar to ir sarežģīti noteikt teorētisko sadalījumu [104]. Vidējās vērtības un Vilksona testa p-vērtības ir apkopotas tabulā 5.1, treknrakstā ir p-vērtības, mazākas par nozīmības līmeni $\alpha = 0.05$.

1. eksperimenta metriku salīdzinājums starp dzimumiem

Metrika	Vide	Vidējais _{Siev.}	Vidējais _{Vīr.}	Vilkoksona testa p-vērtība
Kopējais eksperimenta laiks, s	Kopā	576	266	<0.01
	Simetriskā	607	272	<0.01
	Asimetriskā	535	259	<0.01
Ceļa efektivitāte	Kopā	0.37	0.51	<0.01
	Simetriskā	0.37	0.51	0.03
	Asimetriskā	0.36	0.52	<0.01
3. objekta meklēšanas laiks, s	Kopā	275	79	<0.01
	Simetriskā	326	94	<0.01
	Asimetriskā	208	64	<0.01
Atgriešanās laiks, s	Kopā	113	65	<0.01
	Simetriskā	98	58	<0.01
	Asimetriskā	134	72	0.29

Var redzēt, ka atšķirības starp dzimumiem tiešām ir statistiski nozīmīgas, līdz ar to, meklējot atšķirības starp vižu uztveri un navigāciju tajās, ir vērts salīdzināt atsevišķi sieviešu un vīriešu rezultātus, lai atsevišķo grupu dati potenciāli neradītu iespaidu, ka grupā kopumā ir novērojams kāds nozīmīgs efekts.

Vēl viens demogrāfiskais rādītājs, kura efektu uz navigācijas varētu teorētiski novērot, ir vecums. Tika veidoti vairāki izkliedes grafiki dažādu metriku atkarībā no vecuma attēlošanu (piemēram sk. att. 5.4.), bet nozīmīgas korelācijas netika novērotas, arī sadalot eksperimenta dalībniekus dzimuma grupās. Kā jau tika minēts, vairākums eksperimenta dalībnieku bija vecumā no 18 līdz 30 gadiem, un ar šo vecumu atšķirību, visticamāk, nav pietiekams, lai novērotu izmaiņas.



5.4. att. Kopēja uzdevuma pildīšanas laika atkarības no vecuma izkļedes grafiks kopā ar aprēķināto korelācijas koeficientu

Nākamajā datu analīzes posmā tika apskatīts jautājums, kurš ir saistīts ar vienu no hipotēzēm: vai pastāv nozīmīgas atšķirības starp navigāciju simetriskajā vidē un asimetriskajā vidē. Kastu grafiki atsevišķi katram dzimumam un katrai videi tika attēloti grafikā attēlā 5.3. Tabulā 5.2 ir apkopotas vidējās vērtības galvenajām eksperimenta vērtībām un Vilksona testa p-vērtības.

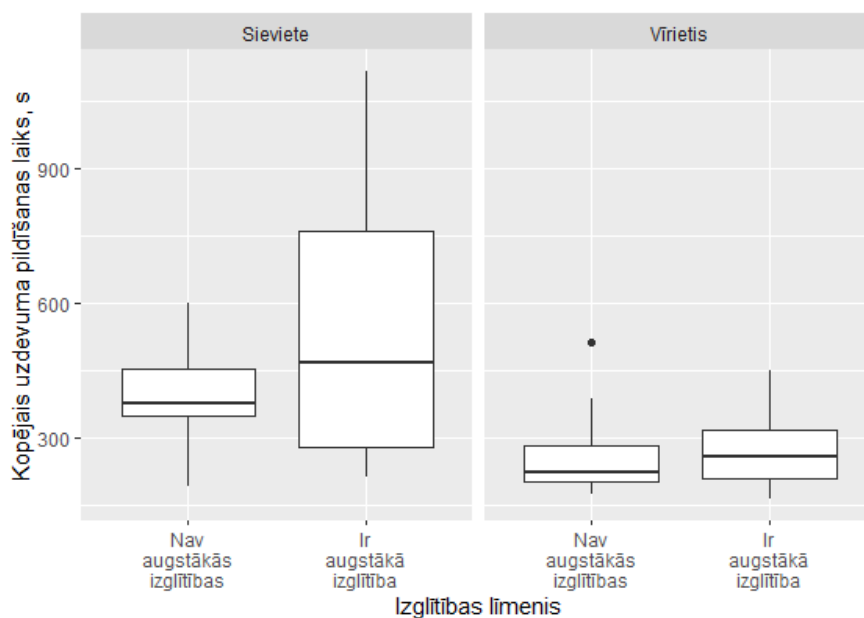
5.2. tabula

1. eksperimenta metriku salīdzinājums starp simetrisko un asimetrisko vidēm

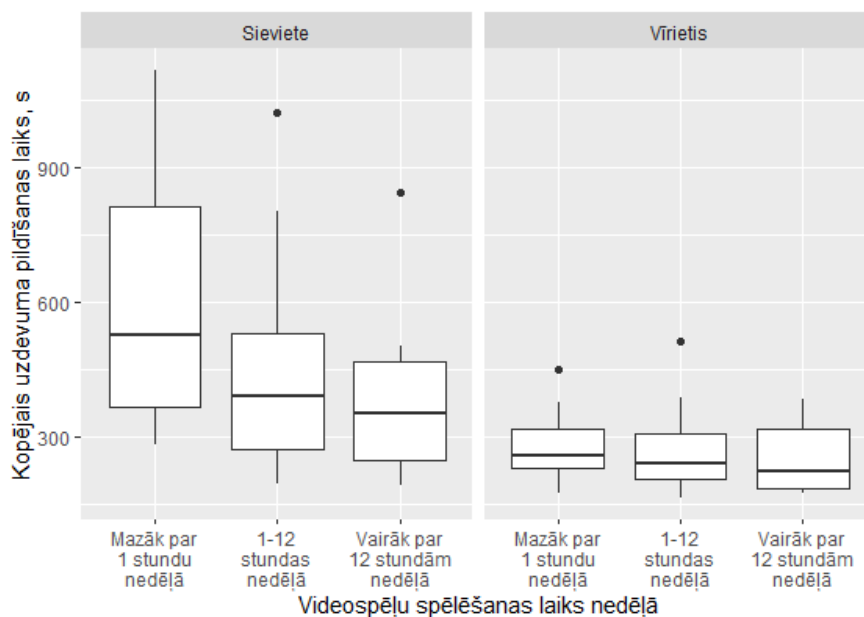
Metrika	Dzimums	Vidējais _{Sim. v.}	Vidējais _{Asim. v.}	Vilksona testa p-vērtība
Kopējais eksperimenta laiks, s	Sieviete	438	534	0.56
	Vīrietis	272	259	0.87
Ceļa efektivitāte	Sieviete	0.41	0.36	0.75
	Vīrietis	0.51	0.52	0.73
3. objekta meklēšanas laiks, s	Sieviete	211	208	0.96
	Vīrietis	94	64	0.16
Atgriešanās laiks, s	Sieviete	79	134	0.82
	Vīrietis	58	72	0.16

Pēc tabulas datiem var secināt, ka nav statistiski nozīmīgu atšķirību jebkurām no eksperimenta metrikām simetriskajā un asimetriskajā vidē. Jāatzīmē, ka sieviešu grupas metrikām tika novērota salīdzinoši liela standartnovirze (218 sekundes kopējam eksperimenta laikam simetriskajā vidē un 305 sekundes - asimetriskajā, salīdzinot ar 92 sekundēm un 64 sekundēm vīriešiem simetriskajā un asimetriskajā vidēs atbilstoši), līdz ar to, ar doto izlases kopu un standartnovirzēm, lai garantēti novērotu statistiski nozīmīgu atšķirību starp kopējo eksperimenta laiku abās vidēs, ir nepieciešama apmēram 300 sekunžu starpība starp vidējām vērtībām (šo vērtību darba autore ieguva, veicot Montekarlo simulācijas, detalizētāk sk. 4. pielikumu).

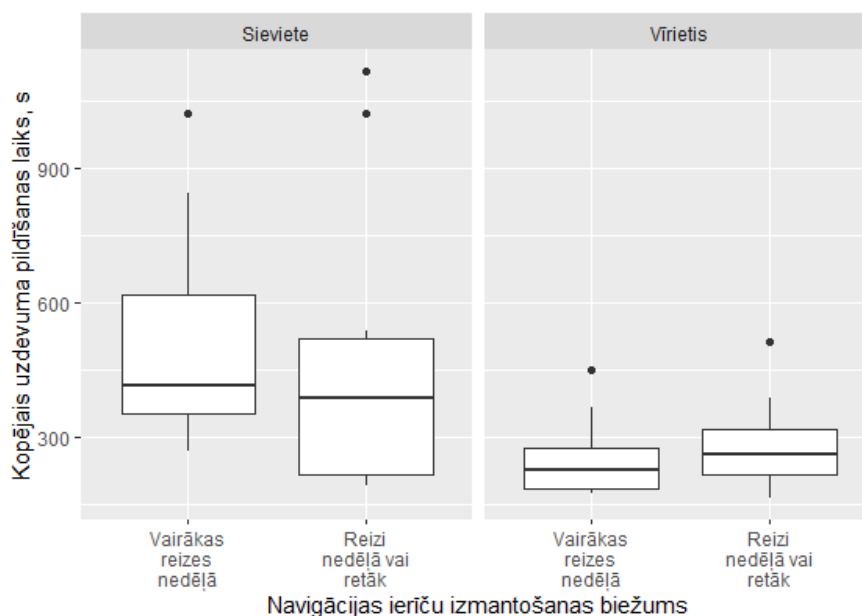
Tā kā eksperimenta ietvaros bez dzimuma un vecuma tika ievākti dati arī par izglītības līmeni, videospēļu spēlēšanas laiku nedēļā un navigācijas ierīču izmantošanas biežumu, tika analizēts arī tas, vai šie faktori ir saistīti ar eksperimenta dalībnieku navigācijas spējām. Iespējamo atbilžu variantu skaits bija robežās no 6 līdz 7 jautājumiem, tāpēc lielākā daļa grupu rezultātā sanāca pārāk mazas un ar lielu dispersiju. Lai samazinātu šo granularitāti, eksperimenta dalībnieki tika piekārtoti lielākām, bet plašākām grupām. Pēc izglītības dalībnieki tika sagrupēti grupās ar augstāko izglītību (vismaz bakalaura grāds) un bez augstākās izglītības; pēc videospēļu spēlēšanas laika nedēļā dalībnieki tika sagrupēti trijās grupās: mazāk par 1 stundu nedēļā, 1-12 stundas nedēļā un vairāk par 12 stundām nedēļā; pēc navigācijas ierīču izmantošanas biežuma tika izdalītas divas grupas: vairākas reizes nedēļā un reizi nedēļā vai retāk. Grupēšana notika, vadoties pēc vidējo vērtību tuvuma un rezultējošo grupu lieluma. Kopējam eksperimenta laikam atbilstoši kastu grafiki ir redzami attēlos 5.5, 5.6. un 5.7. Vairāku kvalitatīvu pazīmju salīdzināšanai savā starpā tika izmantota dispersiju analīzes metode (jeb ANOVA).



5.5. att. Kopējā uzdevuma pildīšanas laika kastu grafiki atkarībā no izglītības līmeņa, sievietēm un vīriešiem atsevišķi



5.6. att. Kopējā uzdevuma pildīšanas laika kastu grafiki atkarībā no videospēļu spēlēšanas laika nedēļā, sievietēm un vīriešiem atsevišķi



5.7. att. **Kopējā uzdevuma pildīšanas laika kastu grafiki atkarībā no navigācijas ierīču izmantošanas biežuma, sievietēm un vīriešiem atsevišķi**

Statistiski nozīmīgas atšķirības starp grupām netika novērotas, tomēr kastu grafikos ir redzamas dažas interesantas tendences. Sievietēm ar augstāko izglītību ir novērojama salīdzinoši liela dispersija, salīdzinot ar pārējām grupām (šajā grupā N=18, tāpat tas visdrīzāk nevar būt izskaidrojams ar mazu novērojumu skaitu). Arī sievietēm ir novērojama tendence kopējā eksperimenta laika samazināšanai, jo vairāk laika nedēļā viņas spēlē videospēles (kaut arī savstarpēji tās nav statistiski nozīmīgas atšķirības). Sakarā ar navigācijas ierīču lietošanu dzimumiem ir novērojamas pretējas tendences: ja sievietes, kuras retāk lieto navigācijas ierīces, ātrāk pabeidza uzdevumu, tad vīriešiem ir tieši otrādi. Bet šīs atšķirības nav pietiekoši lielas, lai varētu apgalvot par to statistisko nozīmīgumu.

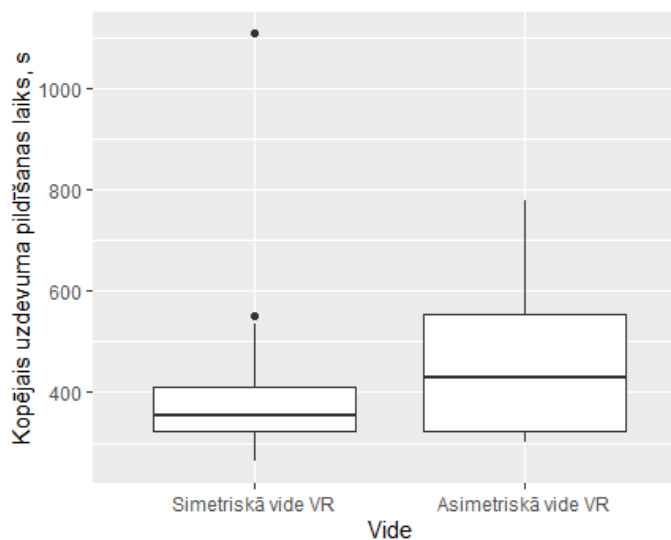
5.3. 2. eksperimenta datu analīze

2. eksperimenta ietvaros, papildus jautājumiem par demogrāfisko informāciju, tika prasīts novērtēt četrus apgalvojumus 7 punktu Likerta skalā:

- Eksperimenta instrukcijas un uzdevuma norādes bija saprotamas un skaidras (1 - pilnībā nepiekrītu, 7 - pilnībā piekrītu);

- Eksperimenta laikā dalībniekam nebija nepatīkamu sajūtas kiberslimības dēļ (1 - pilnībā nepiekrītu (jeb izjūtu stipras kiberslimības pazīmes), 7 - pilnībā piekrītu (jeb nebija nekādu kiberslimības pazīmju));
- Uzdevuma pildīšanas beigās bija viegli atrast ceļu atpakaļ (1 - pilnībā nepiekrītu, 7 - pilnībā piekrītu);
- Eksperimenta laikā dalībnieks nejutās pazudis (1 - pilnībā nepiekrītu (jeb jutās pilnībā pazudis), 7 - pilnībā piekrītu (jeb absolūti nejutās pazudis)).

Tā kā starp 2. eksperimenta dalībniekiem bija tikai 3 sievietes, dati netika izdalīti grupās pēc dzimumiem, bet tika analizēti kopā. Arī vecuma ietekme uz navigācijas rezultātiem bija pārbaudīta, bet 2. eksperimentā vecumu izkliede ir vēl mazāka, nekā 1. eksperimentā, un nozīmīga korelācija arī netika novērota. Tāpat kā 1. eksperimenta datiem, sākumā tika uzzīmēti uzdevuma pildīšanas laika kastu grafiki katrai videi, lai pārbaudītu izlecēju klātbūtni (sk. att. 5.8).

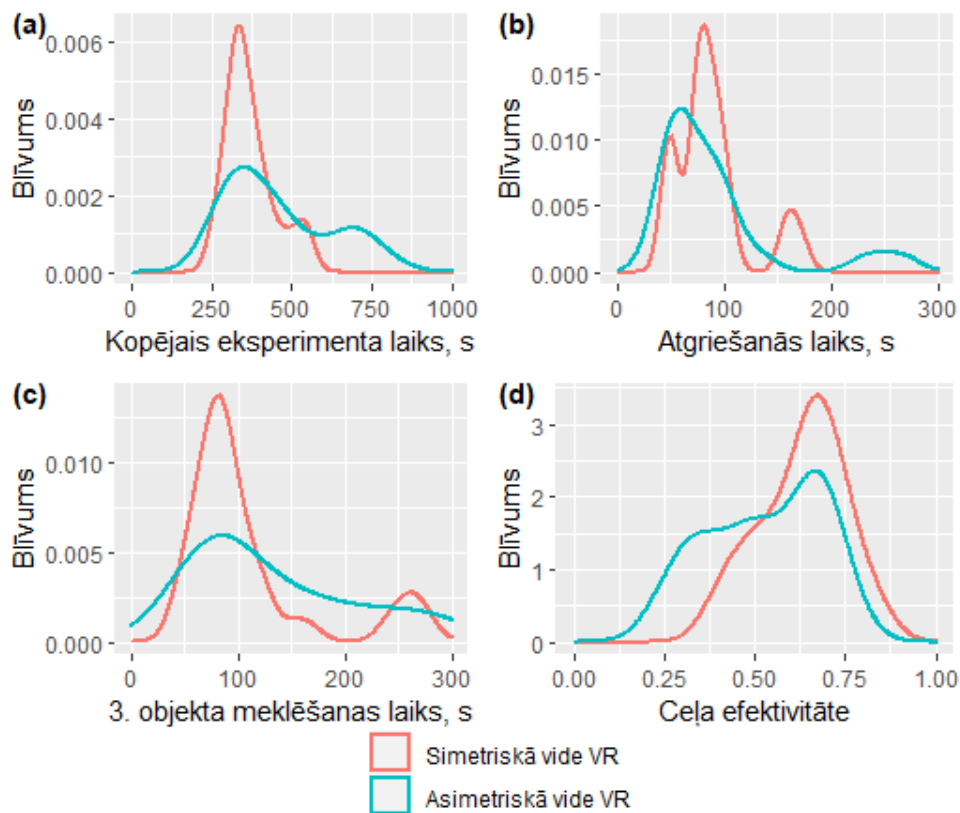


5.8. att. 2. eksperimenta kopējā uzdevuma pildīšanas laika kastu grafiki

2. eksperimentā simetriskajā vidē arī ir novērojams viens nozīmīgs izlecējs simetriskajā vidē: pētījuma dalībniekam uzdevuma izpilde prasīja apmēram 20 minūtes. Apskatot šo datu punktu atsevišķi, var redzēt, ka eksperimenta dalībnieks izjūta vislielākās grūtības ar 3. objekta atrašanu, kā arī ar atgriešanos atpakaļ. Šis dalībnieks arī norādīja, ka viņš izjūta stipras kiberslimības izpausmes (7 punkti Likerta skalā), jutās pilnībā pazudis un pieredzēja grūtības atpakaļceļa atrašanā (1 punkts Likerta skalā atbilstošajiem apgalvojumiem). Tā kā 2. eksperimentā, tāpat kā 1.

eksperimentā, nebija mehānismu to dalībnieku fiksēšanai, kuri uzdevumu uzsāka, bet padevās (pēc dalībnieku komentāriem darba autorei, arī VR eksperimentā bija tādi cilvēki), šis izlecējs arī tika izslēgts no tālākās analīzes.

Lai saprastu, kā atšķiras metriku sadalījumi simetriskajā un asimetriskajā vidēs (vai visos gadījumos saglabājas atšķirības dispersijā), tika uzzīmētas blīvuma histogrammas katrai metrikai (sk. att. 5.9). No tām var redzēt, ka, kaut arī pīķi abām vidēm atrodas tuvu, grafiku forma ir dažāda: asimetriskajai videi blīvuma histogrammas līnijas forma mēdz būt platāka, kas nozīmē, ka asimetriskā līmeņa gadījumā tiek novērota lielāka metriku dispersija.



5.9. att. 2. eksperimenta galveno metriku blīvuma histogrammas abām vidēm. X asī ir atbilstošās eksperimenta metrikas, Y asī - katras konkrētās metrikas vērtības biežuma tuvinājums (laukums zem katras līknes ir vienāds ar 1):

(a) kopējais eksperimenta laiks (b) atgriešanās laiks (c) 3. objekta meklēšanas laiks (d) ceļa efektivitāte

Tālāk ar Vilkoksona testa palīdzību tika pārbaudīts, vai pastāv nozīmīgas atšķirības starp navigāciju simetriskajā vidē un asimetriskajā vidē. Pēc grafika attēlā 5.7 tas nav viennozīmīgi

saprotams, bet var redzēt, ka šo grupu rezultātu dispersija arī ir atšķirīga. Tabulā 5.3 ir apkopotas vidējās vērtības galvenajām eksperimenta vērtībām un Vilkoksona testa p-vērtības (treknrakstā ir izceltas p-vērtības, kuras ir mazākas par nozīmības līmeni $\alpha = 0.05$).

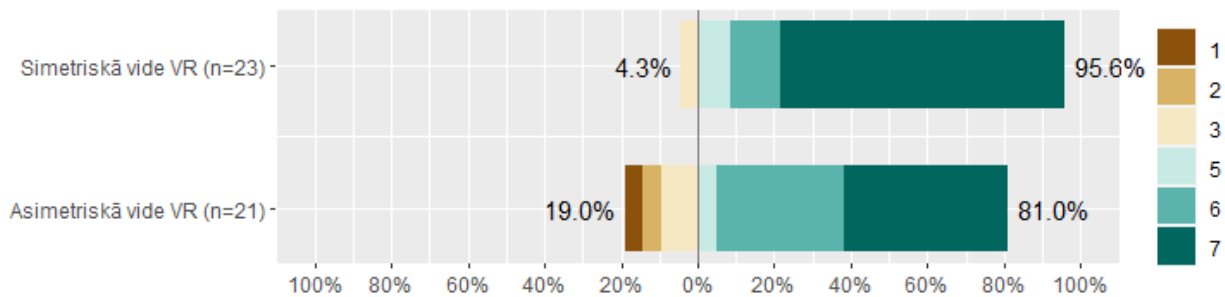
5.3. tabula

2. eksperimenta metriku salīdzinājums starp simetrisko un asimetrisko vidēm

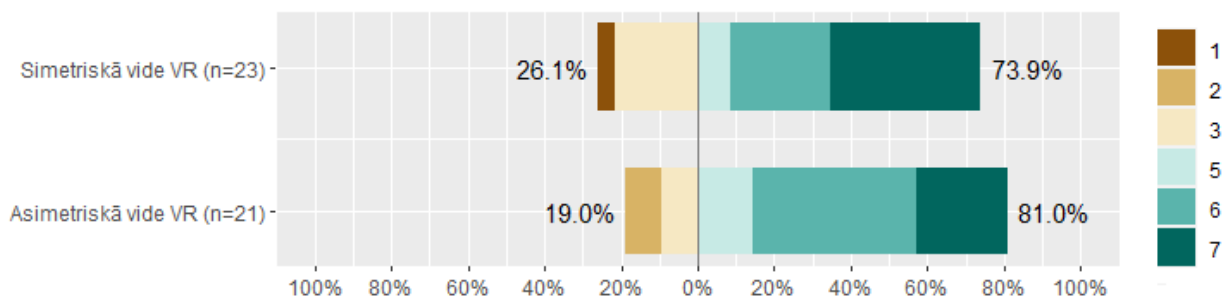
Metrika	Vidējais _{Sim. v.}	Vidējais _{Asim. v.}	Vilkoksona testa p-vērtība
Kopējais eksperimenta laiks, s	371	457	0.18
Ceļa efektivitāte	0.63	0.53	0.03
3. objekta meklēšanas laiks, s	110	155	0.18
Atgriešanās laiks, s	88	103	0.73

Vienīgā metrika, kur ir novērojama neliela statistiski nozīmīga vidējo vērtību atšķirība, ir ceļa efektivitāte,- 95% pārliecības intervāls ir [0.004 - 0.1885]. Kaut arī kopējais eksperimenta laiks - 3. objekta meklēšanas laiks un atgriešanās laiks - asimetriskajā vidē bija lielāks, nekā simetriskajā vide, nepietiek datu, lai apgalvotu, ka šīs atšķirības ir statistiski nozīmīgas.

Nākamajā solī tika pārbaudīts, vai vide ietekmēja subjektīvos rādītājus: atpakaļceļa meklēšanas sarežģītību un pazušanas sajūtu. Likerta skalu grafiki ir atspoguļoti attēlos 5.10 un 5.11 (interesanti, ka neviens no dalībniekiem neatzīmēja 4 nevienā no skalām). Pēc tiem var redzēt, ka vairākam eksperimenta dalībnieku uzdevums nesagādāja daudz problēmu abās vidēs. Diezgan liela atšķirība ir pamanāma atpakaļceļa meklēšanas sarežģītības novērtējumā, tikai 4.3% dalībnieku (1 cilvēks) no simetriskās vides grupas ir atzīmējis vērtību, mazāku par 4, bet asimetriskajā grupā tādi bija 19% (4 cilvēki). Jāatzīmē, ka tā ir tikai tendence, jo ar tādu mazu atbilžu skaitu nevar noteikt, vai šī atšķirība ir statistiski nozīmīga. Arī vērtējumu 7, kas atbilst tam, ka atpakaļceļa meklēšana absolūti nesagādāja problēmu, simetriskajā grupā ir ielikuši vairāk cilvēku, nekā asimetriskajā (73.9% pret 42.9%). Pazušanas sajūtas novērtējumā tika novērota pretēja tendence: šoreiz simetriskajā grupā vairāk cilvēku bija atzīmējuši, ka viņi jutās pazuduši, bet arī vērtējuma 7 proporcija šajā grupā bija lielāka.

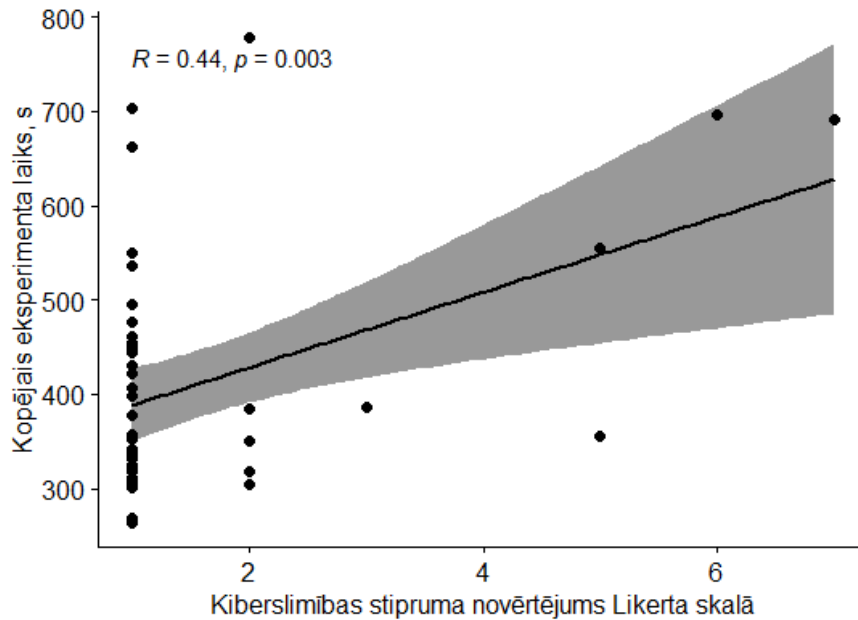


5.10. att. Atpakaļceļa meklēšanas sarežģītības novērtējuma 7 punktu Likerta skalā grafiks (1 - atrast ceļu atpakaļ bija ļoti sarežģīti, 7 - atrast ceļu atpakaļ bija ļoti viegli)



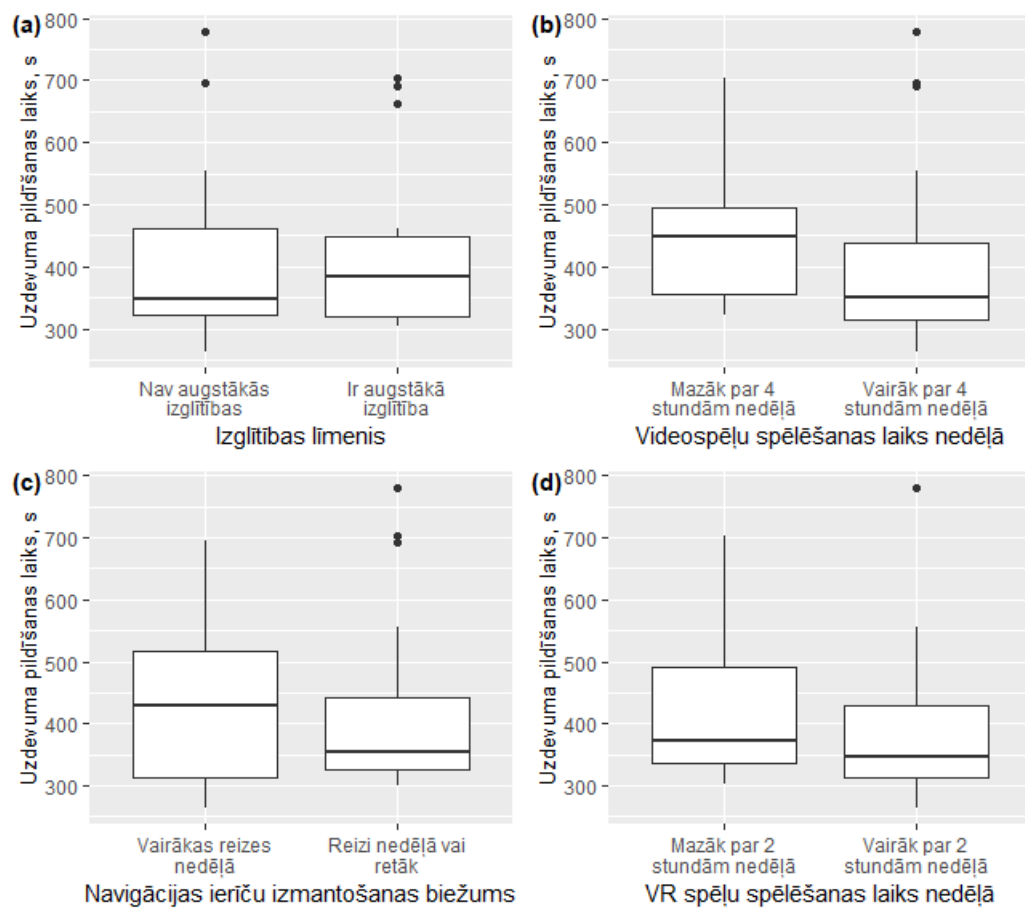
5.11. att. Pazušanas sajūtas novērtējuma 7 punktu Likerta skalā grafiks (1 - jutās pilnīgi pazudis, 7 - absolūti nejutās pazudis)

Attiecībā uz kiberslimības novērtējumu tikai 4 eksperimenta dalībnieki no 44 novērtēja kiberslimības izpausmes virs 4, un 1 dalībnieks atzīmēja vērtējumu 7, kas atbilst izteiktām kiberslimības pazīmēm (vēl viens tāds dalībnieks tika iepriekš izslēgts no analīzes kā izlecējs). Šīs grupas maza izmēra dēļ ir grūti viennozīmīgi pateikt, vai kiberslimības izpausmēm ir bijusi kāda ietekme uz uzdevuma pildīšanas rezultātiem, tomēr ir interesanti paskatīties, vai pastāv kāda korelācija starp kiberslimības novērtējumu un kopējo uzdevuma pildīšanas laiku. Šis izkliedes grafiks ir atspoguļots attēlā 5.12. Grafikā var redzēt, ka pastāv vidēja stipruma korelācija starp šiem diviem lielumiem, tomēr nevar viennozīmīgi spriest par šī efekta nozīmību.



5.12. att. Kopējā uzdevuma pildīšanas laika atkarības no kiberslimības novērtējuma izkļiedes grafiks kopā ar aprēķināto korelācijas koeficientu

Tāpat kā 1. eksperimenta ietvaros, tika izpētīts, vai pastāv sakarība starp izglītības līmeni, videospēļu spēlēšanas laiku nedēļā un navigācijas ierīču izmantošanas biežumu un eksperimenta uzdevuma pildīšanas metrikām, papildus ņemot vērā arī VR spēļu spēlēšanas laiku nedēļā. Respondenti arī tika sadalīti mazākajās grupās: pēc izglītības - grupās ar augstāko izglītību un bez augstākās izglītības; pēc navigācijas ierīču izmantošanas - vairākas reizes nedēļā un reizi nedēļā vai retāk; pēc videospēļu spēlēšanas - mazāk par 4 stundām nedēļā un vairāk par 4 stundām nedēļā; pēc VR spēļu spēlēšanas - mazāk par 2 stundām nedēļā un vairāk par 2 stundām nedēļā. Kastu grafiki visām šīm grupām ir atspoguļoti attēlā 5.13. Kastu grafikos nav novērojamas nozīmīgas atšķirības starp grupām, kā arī neizdevās atrast statistiski nozīmīgas atšķirības starp grupām, izmantojot Vilksona testu (kaut arī grafikos ir pamanāma tendence uz to, ka dalībnieki, kuri spēlē gan videospēles kopumā, gan VR spēles vairāk, tiek galā ar uzdevumu ātrāk).



5.13. att. Kopējā uzdevuma pildīšanas laika kastu grafiki atkarībā no dažādiem demogrāfiskiem rādītājiem.

(a) pēc izglītības līmeņa (b) pēc videospēļu spēlēšanas laika nedēļā (c) pēc navigācijas ierīču izmantošanas biežuma (d) pēc VR spēļu spēlēšanas laika nedēļā

5.4. 1. eksperimenta un 2. eksperimenta savstarpēja salīdzināšana

Kā iepriekš tika minēts, starp abu eksperimentu dalībnieku grupām pastāv diezgan daudz atšķirību, kā arī kustības ātrums abos eksperimentos bija dažāds (6 vienības sekundē 1. eksperimentā un 3.5 vienības sekundē 2. eksperimentā), tāpēc nav iespējams objektīvi salīdzināt abu eksperimentu rezultātus savā starpā, tomēr var mēģināt atrast potenciālus trendus un likumsakarības.

Analizējot abu eksperimentu ātrāko dalībnieku ceļus, kā arī ņemot vērā eksperimenta dalībnieku komentārus pēc uzdevuma izpildes, tika konstatēts, ka visefektīvākie gājēji lietoja tā saucamo “labās rokas likumu”, kura būtība ir tāda, ka labirinta sākumā ir jāpieliek labā roka pie labās sienas un jātur tā līdz brīdim, kamēr nebūs atrasta izeja, šādi apstaigājot visu labirintu [105].

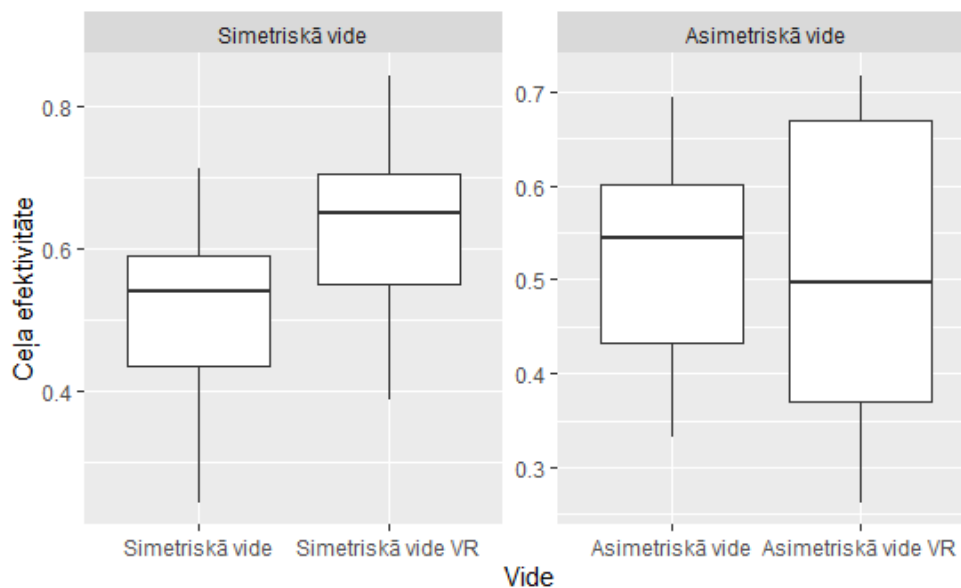
Digitālajā variantā šis likums nozīmētu, ka vienmēr jāpieturas pie labās sienas. Attēlā 5.14. ir parādīts visātrākā 1. eksperimenta dalībnieka simetriskajā vidē ceļš, un tajā var skaidri redzēt, ka šis dalībnieks gandrīz precīzi pieturējās pie “labās rokas likuma”. Jāatzīmē, ka šī metode nestrādā visos labirinta tipos. Tā vienmēr strādās viensakarīgos labirintos (tajos, kur visas sienas ir savienotas savā starpā vai ar ārējo robežu), bet nestrādās vairākkārtsakarīgos labirintos, kur sākums vai beigas ir iekļauti cilpā, kuras sienas nav savienotas ar pārējo labirintu [105]. Eksperimenta labirints bija viensakarīgs, līdz ar to šāda arhitektūra izraisīja nevienlīdzību starp tiem dalībniekiem, kuri zināja par “labās rokas likumu” un tiem, kuri nezināja par to.



5.14. att. Visātrākā 1. eksperimenta dalībnieka simetriskajā vidē ceļš. Ar sarkano kvadrātu ir apzīmēts sākuma punkts, ar zilajiem kvadrātiem - meklējamo objektu atrašanās vietas

Vienīgā eksperimentu metrika, kuru var tiešā veidā salīdzināt plakanā displeja eksperimentam un VR eksperimentam, ir ceļa efektivitāte. Salīdzinājumam tika atfiltrēti tikai vīrieši, jo VR gadījumā sievietes eksperimentā gandrīz nepiedalījās. Kastu grafiki ir atspoguļoti attēlā 5.15. Pēc simetriskās vides kastu grafikiem izskatās, ka navigācija simetriskajā vidē VR notiek efektīvāk (pēc Vilksona testa rezultāta, atšķirība efektivitātes vidējās vērtībās simetriskajā vidē 1. un 2. eksperimentiem ir statistiski nozīmīga ar p -vērtību = 0.002, starpības 95% pārliecības intervāls ir [0.05 - 0.19]). Iespējamie iemesli var būt tādi, ka ātrumu atšķirības dēļ, lēnāka kustība VR ļāva labāk apskatīt apkārtējo vidi; iespējams, ka VR ir vieglāk koncentrēties uz uzdevumu, jo ir mazāk traucējošo faktoru, vai arī lielāka iegremdēšanās sajūta VR sekmēja efektīvāku navigācijas procesu. Asimetriskajā vidē ceļa efektivitāšu dispersija ir ievērojami lielāka, līdz ar to

nav iespējams konstatēt statistiski nozīmīgas atšķirības. Tomēr tas fakts, ka vairākām metrikām asimetriskajā vidē gan 1. eksperimentā, gan 2. eksperimentā dispersija ir lielāka, nekā simetriskajā vidē, pats pa sevi varētu liecināt par to, ka dažiem eksperimenta dalībniekiem asimetriskajā vidē atrast ceļu un izpildīt uzdevumu nesagādāja sarežģītības, bet dažiem navigācijas process bija grūts. Simetriskajā vidē šis efekts ir izteikts mazāk, un kopējais uzdevuma pildīšanas laiks, ceļa efektivitāte un citas metrikas bija vairāk paredzamas starp visiem eksperimenta dalībniekiem.



5.15. att. Ceļa efektivitātes kastu grafiki 1. un 2. eksperimentiem

5.5. Eksperimentu rezultāti

Eksperimentu datu analīzes rezultātā nebija iespējams apstiprināt vai noraidīt hipotēzi H1 par to, ka vidē, kurā dominē spoguļsimetrija, gājējiem ir nepieciešams ilgāks laiks, lai atrastu vajadzīgo ceļu, salīdzinot ar telpu, kurā spoguļsimetrija ir izjaukta. 1. eksperimentā vispār nebija pietiekami daudz datu, lai novērotu kādu trendu; ja tomēr kāds efekts pastāv, ir nepieciešams lielāks grupu izmērs, lai to novērotu. 2. eksperimentā tika novērots tieši pretējs efekts: ceļa efektivitāte simetriskajā vidē bija nedaudz lielāka par ceļa efektivitāti asimetriskajā vidē. Arī asimetriskajā vidē tika novērota lielāka atšķirība starp eksperimenta dalībniekiem grupas ietvaros (jeb lielāka dispersija), salīdzinot ar simetrisko vidi, kas dod pamatu domāt, ka vismaz dažiem eksperimenta dalībniekiem tas fakts, ka navigācija notiek asimetriskajā vidē, apgrūtināja pašu navigācijas procesu.

Hipotēze H1 bija formulēta, pamatojoties uz to, ka eksperimentā izmantotajā asimetriskajā vidē bija vairāk vizuālo “enkuru”, kurus varētu izmantot reorientācijai, tomēr izskatās, ka telpas forma pati pa sevi piedāvāja pietiekoši daudz unikālo vizuālo ainu reorientācijai. Viens no iespējamajiem skaidrojumiem tam, ka VR tika novērota tendence uz apgrūtināto navigāciju asimetriskajā vidē, varētu būt saistīts ar to, ka simetriskā vide izskatījās līdzīgāka telpām, kurās ikdienā jāveic navigācija (piemēram, universitātes ēka, tirdzniecības centrs, darba vietās ēkas utt.), bet asimetriskajā vidē izveidojās netipiska situācija, kura varēja dezorientēt.

Hipotēze H2 par to, ka vidē, kurā dominē spoguļsimetrija, gājējiem ir izteiktāka sajūta, ka viņi ir pazuduši, meklējot vajadzīgo ceļu, salīdzinot ar telpu, kurā spoguļsimetrija ir izjaukta, tika formulēta pamatojoties uz tiem pašiem apsvērumiem par reorientāciju, ka hipotēze H1. Jautājums par subjektīvajām sajūtām navigācijas procesā 1. eksperimentā netika uzdots, tomēr tas tika analizēts 2. eksperimenta ietvaros. Šajā gadījumā arī nebija iemeslu ne noraidīt, ne apstiprināt šo hipotēzi. Ja par subjektīvo pazušanas sajūtu nav pietiekoši daudz datu, lai varētu spriest par efekta klātbūtni, tad asimetriskajai telpai tika novērota šāda tendence (bet tā joprojām nav statistiski nozīmīga), jo daži pētījuma dalībnieki norādīja, ka viņiem bija grūtāk atrast ceļu atpakaļ. Šis arī varētu būt izskaidrojams ar tiem pašiem apsvērumiem, kā hipotēze H1, - asimetriskā vide struktūras ziņā nav līdzīga telpām, kurās ikdienā tiek veikta navigācija.

Hipotēze H3 par to, ka gājēju ceļa efektivitāte būtiski atšķiras, veicot navigācijas procesu uz plakana displeja vai izmantojot virtuālās realitātes ierīci, daļēji apstiprinājās, jo tika novērota statistiski nozīmīga atšķirība ceļa efektivitātē simetriskās telpas gadījumā, tomēr šis efekts nebija novērojams asimetriskajā telpā. Ceļa efektivitāte bija lielāka navigācijai virtuālās realitātes simetriskajā telpā, salīdzinot ar navigāciju uz parastā plakanā ekrāna, iespējams, tāpēc, ka ātrumu atšķirības dēļ, lēnāka kustība VR ļāva labāk apskatīt apkārtējo vidi un atcerēties to, vai tāpēc, ka VR ir vieglāk koncentrēties uz uzdevumu, jo ir mazāk traucējošo faktoru, vai arī tāpēc, ka lielāka iegremdēšanās sajūta VR sekmēja efektīvāku navigācijas procesu. Citas metrikas nebija iespējams objektīvi salīdzināt tāpēc, ka kustības ātrums abās vidēs bija atšķirīgs, kas pats pa sevi varēja izraisīt blakusefektus.

Papildus tam, tika novērots, ka sievietēm navigācijas process ir sarežģītāks, kas sakrīt ar sagaidāmo teorijā. Cītu demogrāfisku rādītāju nozīmīga ietekme uz navigāciju virtuālajā vidē nav novērota, bet ir pamats domāt, ka videospēļu (tajā skaitā VR spēļu) spēlēšanas biežums varētu būt saistīts ar labākām navigācijas spējām virtuālajās vidēs. Vēl viens novērojums ir saistīts ar to, ka

izteiktākas kiberslimības jeb šūpes kaites izpausmes ir saistītas ar to, ka ceļa atrašanas process ir grūtāks.

Jāatzīmē, ka jau pēc maģistra darba izstrādes uzsākšanas tika publicēti divi pētījumi, kuri ir cieši saistīti ar maģistra darba tēmu. Pirmajā no šiem pētījumiem tika salīdzināts ceļa atrašanas process reālajā universitātes ēkā un šajā pašā ēkā, to rekonstrējot virtuālajā realitātē [106]. Tika analizēta ceļa atrašanas efektivitāte līdz konkrētajām universitātes telpām, attāluma novērtēšana un spēja atcerēties ēkas, kurā notika navigācija, plānu. Tika konstatēts, ka, lai gan pastāvēja atšķirības starp to, kuriem orientieriem tika piesaistīta lielāka uzmanība (VR vizuālo orientieru meklēšanai bija nepieciešams vairāk laika) un attāluma novērtēšanu (VR gadījumā dalībnieki precīzāk novērtēja noieto attālumu), kopumā ceļa meklēšanas uzvedībā netika konstatētas nozīmīgas atšķirības starp virtuālo un fizisko telpām. Arī skices mentālai telpu reprezentācijas nozīmīgi neatšķīrās abos gadījumos.

Otrajā pētījumā tika salīdzināta ceļa meklēšana reālajā telpā uzkonstruētajā labirintā un tādā pašā labirintā virtuālajā realitātē [107]. Līdzīgi kā darba autore īstenotajā eksperimentā, pētījuma dalībniekiem bija uzdevums atrast 4 objektus labirintā. Tika konstatēts, ka nebija nozīmīgas atšķirības objektu meklēšanas laikā virtuālajā labirintā un reālajā labirintā (tomēr jāatzīmē, ka pētījuma dalībnieku skaits bija samērā mazs - 10 cilvēki). Kopumā šo divu pētījumu rezultāti liecina par to, ka darba autore iegūtie rezultāti varētu būt attiecināmi arī uz reālo vidi. Tas, ka šie pētījumi parādījās maģistra darba izstrādes laikā, liecina arī par to, ka darba autore pētāmā problēma ir aktuāla.

REZULTĀTI

Maģistra darba ietvaros tika apskatīts, kas līdz šim brīdim bija izpētīts sakarā ar telpiskās navigācijas īpašībām virtuālajā realitātē, kā arī aprakstīta cilvēku simetrijas uztvere kopumā un arhitektūras kontekstā. Tika izstrādāts divu eksperimentu plāns, ar kuru palīdzību, izmantojot datora plakano ekrānu un virtuālās realitātes ierīces, tika izpētīts, vai telpas spoguļsimetrija ietekmē spēju tajā orientēties un vai pastāv atšķirības starp navigāciju šajās telpās. Eksperimentu īstenošanai tika izstrādāti 3D virtuālo vižu modeļi un programmatūra, izmantojot *Unity* spēļu dzini un *C#* programmēšanas valodu, kā arī programmatūra tika pielāgota darbam pārlūkprogrammā un ar VR HMD ievades un izvades ierīcēm. Eksperimentu dati tika saglabāti *MongoDB* datubāzē ar *Node.js* servera starpniecību (pirmkods ir pieejams darba autores *GitHub* repozitorijā, sk. 1. pielikumu), un tie tika analizēti un vizualizēti, izmantojot *R* valodu. Līdz ar to visi noteiktie darba mērķi ir pilnībā sasniegti.

Eksperimenta dati tika analizēti, izmantojot gan datu vizualizācijas, gan statistiskās metodes. Tika salīdzinātas ar navigāciju saistītas metrikas telpām ar spoguļsimetrijas elementiem un telpām, kur spoguļsimetrija bija izjaukta. Šīs metrikas bija salīdzinātas gan navigācijai virtuālajā vidē, kā izvades ierīci izmantojot plakano displeju, gan virtuālajā realitātē. Tika arī pārbaudīts, vai ir atšķirības navigācijā, izmantojot plakano ekrānu un izmantojot virtuālās realitātes ierīci.

Eksperimentā tika konstatēts, ka vidēs, kurās dominē spoguļsimetrija, ceļa atrašanas efektivitāte bija lielāka (efekts tika novērots VR vidē), tātad eksperimenta dalībnieku izvēlētais ceļš bija īsāks, salīdzinot ar dalībniekiem telpās, kurās šī simetrija bija izjaukta. Tika novērota tendence uz to, ka arī ceļa atrašanai nepieciešamais laiks simetriskajās telpās ir īsāks, kā arī subjektīvi tika uzverts, ka atrast ceļu tajās ir vieglāk, tomēr, lai ar lielu pārliecību apstiprinātu šī efekta klātbūtni, ir nepieciešams lielāks eksperimenta dalībnieku skaits. Darba autores piedāvātais skaidrojums ir tāds, ka telpu spoguļsimetrija nozīmīgi netraucē reorientācijai pēc pozīcijas maiņas telpā (telpas vizuālās ainas ir pietiekoši unikālas, lai pēc tām varētu noteikt savu pozīciju telpā) un izskatās līdzīgāka tādām telpām, kur navigācija veicama ikdienā. Vidēs, kur telpas elementu spoguļsimetrija tika izjaukta, neizskatījās pazīstamas, līdz ar to dažiem eksperimenta dalībniekiem tas izraisīja grūtības navigācijā. Tika novērotas arī atšķirības starp sievietēm un vīriem navigācijas spējām: sievietēm ceļa atrašana vidēji prasīja vairāk laika, kā arī noietais ceļš bija garāks.

Eksperimenta laikā bija novērotas atšķirības starp navigācijas procesiem virtuālajā vidē uz plakanā datora ekrāna un tajā pašā vidē virtuālajā realitātē. Ceļa efektivitāte virtuālajā realitātē bija

lielāka, līdz ar to arī īsāks izvēlētais ceļš, bet šis efekts tika novērots tikai simetriskajā vidē. Lai uzticami apstiprinātu šī efekta klātbūtni arī telpā, kur spoguļsimetrija tika izjaukta, ir nepieciešams lielāks eksperimenta dalībnieku skaits. Virtuālās realitātes vide nodrošina lielāku iegremdēšanās sajūtu un izolē no ārējiem traucējošajiem faktoriem (piemēram, tālruņa paziņojumiem vai citu cilvēku klātbūtnes), līdz ar to ir vieglāk koncentrēties uz navigācijas uzdevumu.

SECINĀJUMI

Maģistra darba ietvaros tika paveikts darbs, kurš apvieno divas nozīmīgas tēmas: simetriju, kura ir fundamentāla cilvēka vizuālajā uztverē, un virtuālo realitāti, kura ar katru gadu kļūst aktuālāka un pieejamāka. Paveiktais darbs ir nozīmīgs tāpēc, ka tika uzsākta telpu simetrijas ietekmes uz navigāciju tajās izpēte virtuālās realitātes kontekstā, kas līdz šim gandrīz nebija pētīts.

COVID-19 izraisītās epidemioloģiskās situācijas dēļ visa pētījuma eksperimentālā daļa tika veikta attālināti, un ar to arī ir saistīti daži secinājumi. Pirmkārt, eksperimenta ietvaros nebija iespējas kontrolēt izlasi: rezultātā VR pētījuma daļā dalībnieku izlasē gandrīz nebija sieviešu (izlasē no 43 dalībniekiem bija tikai 3 sievietes). Laboratorijas apstākļos būtu iespējams pieaicināt abu dzimumu pārstāvjus vienādā skaitā, bet attālinātajā VR eksperimentā varēja piedalīties tikai VR ierīču īpašnieki, tāpēc bija jāreķinās ar VR ierīču īpašnieku grupas īpatnībām un to, ka rezultējošā izlasē būs nevienmērīga demogrāfisko grupu reprezentācija. Otrkārt, eksperiments uz datora ekrāna tika veikts, palaižot programmatūru pārlūkprogrammā, VR eksperimentā tika prasīts uzstādīt šo programmatūru uz savas ierīces, jo, lai gan maģistra darba izstrādes laikā jau pastāvēja ietvars VR lietotņu palaišanai pārlūkā, tajā nebija integrēta iespēja pārvietoties, kas bija būtiskākais eksperimenta aspekts. Darba autorei patstāvīgi izstrādājot VR pārvietošanās ietvaru pārlūkprogrammā, būtu iespējams atvieglot dalību eksperimentā, tā sasniedzot lielāku dalībnieku skaitu, kā arī dot savu ieguldījumu atvērtā pirmkoda programmatūrā VR integrācijai ar pārlūku.

Maģistra darba ietvaros izstrādāto programmatūru un programmatūras infrastruktūru ir iespējams izmantot, lai veiktu navigācijas pētījumus jebkurā citā telpā, tajā skaitā pētīt navigāciju telpās ar citu simetriju veidiem (piemēram, par rotācijas simetrijas ietekmi uz navigāciju reālajā fiziskajā telpā ir labi zināms, bet tā nebija pētīta virtuālās realitātes kontrolētajā vidē).

Turpmākajos pētījumos iespējams ne tikai pētīt citus simetrijas veidus, bet arī uzlabot šī maģistra darba ietvaros veiktos eksperimentus, piemēram:

- Izstrādāt tādu telpu, ceļa atrašanai kurā nepalīdzēs ceļa atrašanas labirintā algoritma zināšana, līdz ar to mazināt nevienlīdzību starp tiem pētījuma dalībniekiem, kuri zina par šādu algoritmu, un tiem, kuri nezina;
- Uzprojektēt lielāku navigācijas telpu, kuru ir sarežģītāk atcerēties;
- Izstrādāt mehānismu, lai fiksētu tos pētījuma dalībniekus, kuri padevās un nepabeidza eksperimentu (piemēram, pierakstot eksperimenta dalībnieka kustības datus datubāzē visa eksperimenta laikā, vai arī piedāvāt iespēju padoties);

- Ģenerēt navigācijas telpas nejauši, atstājot kādu parametru (piemēram, kopējo gaiteņu garumu) nemainīgu;
- Izpētīt tādas telpas, kurām ir vairāki stāvi, lai pārbaudītu navigāciju trijās dimensijās;
- Organizēt, vadīt un kontrolēt eksperimentu norisi klātienē.

Maģistra darba izstrādes laikā tika konstatēta interesanta parādība, ka virtuālajā realitātē un uz datora plakanā ekrāna viens un tas pats kustības ātrums tiek uztverts dažādi. Šī parādība gandrīz netiek pieminēta pat VR izstrādātāju vidē. Tas arī varētu būt viens no iespējamiem tālākās pētniecības virzieniem.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA UN AVOTI

- [1] E. C. Tolman, “Cognitive maps in rats and men.,” *Psychological Review*, vol. 55, no. 4, 1948, pp. 189–208.
- [2] R. A. Epstein, E. Z. Patai, J. B. Julian, and H. J. Spiers, “The cognitive map in humans: spatial navigation and beyond,” *Nat Neurosci*, vol. 20, no. 11, Nov. 2017, pp. 1504–1513.
- [3] S.-S. Yoo et al., “Brain–computer interface using fMRI: spatial navigation by thoughts,” *NeuroReport*, vol. 15, no. 10, Jul. 2004, pp. 1591–1595
- [4] A. Armougum, E. Orriols, A. Gaston-Bellegarde, C. J.-L. Marle, and P. Piolino, “Virtual reality: A new method to investigate cognitive load during navigation,” *Journal of Environmental Psychology*, vol. 65, Oct. 2019, p. 101338.
- [5] “The 2014 Nobel Prize in Physiology or Medicine - Press release”, *The official website of the Nobel Prize*, Oct. 2014. Pieejams: <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2014/press-release/>
- [6] M. H. G. Claessen, J. M. A. Visser-Meily, N. K. de Rooij, A. Postma, and I. J. M. van der Ham, “A Direct Comparison of Real-World and Virtual Navigation Performance in Chronic Stroke Patients,” *J Int Neuropsychol Soc*, vol. 22, no. 4, Mar. 2016, pp. 467–477.
- [7] S. Commins et al., “NavWell: A simplified virtual-reality platform for spatial navigation and memory experiments,” *Behav Res*, vol. 52, no. 3, Oct. 2019, pp. 1189–1207.
- [8] R. A. Ruddle and S. Lessels, “For Efficient Navigational Search, Humans Require Full Physical Movement, but Not a Rich Visual Scene,” *Psychol Sci*, vol. 17, no. 6, Jun. 2006, pp. 460–465.
- [9] J. Munafo, M. Diedrick, and T. A. Stoffregen, “The virtual reality head-mounted display Oculus Rift induces motion sickness and is sexist in its effects,” *Exp Brain Res*, vol. 235, no. 3, Dec. 2016, pp. 889–901.
- [10] C. Zhang, “Investigation on Motion Sickness in Virtual Reality Environment from the Perspective of User Experience,” prezentēts *2020 IEEE 3rd International Conference on Information Systems and Computer Aided Education (ICISCAE)*, Sep. 2020.
- [11] A. Shemesh, R. Talmon, O. Karp, I. Amir, M. Bar, and Y. J. Grobman, “Affective response to architecture – investigating human reaction to spaces with different geometry,” *Architectural Science Review*, vol. 60, no. 2, Dec. 2016, pp. 116–125.
- [12] İ. Erkan, “Examining wayfinding behaviours in architectural spaces using brain imaging with electroencephalography (EEG),” *Architectural Science Review*, vol. 61, no. 6, Sep. 2018, pp. 410–428.

- [13] M. S. Treder, “Behind the Looking-Glass: A Review on Human Symmetry Perception,” *Symmetry*, vol. 2, no. 3, Jul. 2010, pp. 1510–1543.
- [14] Golledge, R. G., *Wayfinding behavior: Cognitive mapping and other spatial processes*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1999.
- [15] Arne D. Ekstrom, Hugo J. Spiers, R. Shayna Rosenbaum, Véronique D. Bohbot, *Human Spatial Navigation*. Princeton University Press, 2018.
- [16] R. M. Kitchin, “Cognitive maps: What are they and why study them?,” *Journal of Environmental Psychology*, vol. 14, no. 1, Mar. 1994, pp. 1–19.
- [17] D. E. Angelaki and K. E. Cullen, “Vestibular System: The Many Facets of a Multimodal Sense,” *Annu. Rev. Neurosci.*, vol. 31, no. 1, Jul. 2008, pp. 125–150.
- [18] M. J. Allman and W. H. Meck, “Pathophysiological distortions in time perception and timed performance,” *Brain*, vol. 135, no. 3, Sep. 2011, pp. 656–677.
- [19] W. J. Matthews and W. H. Meck, “Time perception: the bad news and the good,” *WIREs Cogn Sci*, vol. 5, no. 4, Jun. 2014, pp. 429–446.
- [20] J. C. Tuthill and E. Azim, “Proprioception,” *Current Biology*, vol. 28, no. 5, Mar. 2018, pp. R194–R203.
- [21] J. L. Campos, J. S. Butler, and H. H. Bühlhoff, “Contributions of visual and proprioceptive information to travelled distance estimation during changing sensory congruencies,” *Exp Brain Res*, vol. 232, no. 10, Jun. 2014, pp. 3277–3289.
- [22] H. Frenz and M. Lappe, “Absolute travel distance from optic flow,” *Vision Research*, vol. 45, no. 13, Jun. 2005 pp. 1679–1692.
- [23] N. Fujita, R. L. Klatzky, J. M. Loomis, and R. G. Golledge, “The Encoding-Error Model of Pathway Completion without Vision,” *Geographical Analysis*, vol. 25, no. 4, Sep. 2010, pp. 295–314.
- [24] M. J. Kearns, W. H. Warren, A. P. Duchon, and M. J. Tarr, “Path Integration from Optic Flow and Body Senses in a Homing Task,” *Perception*, vol. 31, no. 3, Mar. 2002, pp. 349–374.
- [25] S. Bostancı and S. Girginkaya Akdağ, “Understanding Aesthetic Experiences of Architectural Students in Vertical and Horizontal Campuses,” *JCUA*, vol. 4, no. 2, Jan. 2020, pp. 13–26.
- [26] A. W. Siegel and S. H. White, “The Development of Spatial Representations of Large-Scale Environments,” in *Advances in Child Development and Behavior*, Elsevier, 1975, pp. 9–55.

- [27] P. Foo, W. H. Warren, A. Duchon, and M. J. Tarr, "Do Humans Integrate Routes Into a Cognitive Map? Map- Versus Landmark-Based Navigation of Novel Shortcuts.," *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, vol. 31, no. 2, 2005, pp. 195–215.
- [28] W. H. Warren, D. B. Rothman, B. H. Schnapp, and J. D. Ericson, "Wormholes in virtual space: From cognitive maps to cognitive graphs," *Cognition*, vol. 166, Sep. 2017, pp. 152–163.
- [29] S. M. Weisberg and N. S. Newcombe, "Cognitive Maps: Some People Make Them, Some People Struggle," *Curr Dir Psychol Sci*, vol. 27, no. 4, Jun. 2018, pp. 220–226.
- [30] D. R. Montello, "Scale and multiple psychologies of space," in *Lecture Notes in Computer Science*, Springer Berlin Heidelberg, 1993, pp. 312–321.
- [31] Kosslyn, S. M., Pick, H. L., Jr & Fariello, G. R. "Cognitive maps in children and men," *Child development*, vol. 45, no. 3, 1974, pp. 707–716.
- [32] T. Meilinger, M. Strickrodt, and H. H. Bühlhoff, "Qualitative differences in memory for vista and environmental spaces are caused by opaque borders, not movement or successive presentation," *Cognition*, vol. 155, Oct. 2016 pp. 77–95.
- [33] S. D. Moffat, "Aging and Spatial Navigation: What Do We Know and Where Do We Go?," *Neuropsychol Rev*, vol. 19, no. 4, Nov. 2009, pp. 478–489.
- [34] T. I. Brown, S. A. Gagnon, and A. D. Wagner, "Stress Disrupts Human Hippocampal-Prefrontal Function during Prospective Spatial Navigation and Hinders Flexible Behavior," *Current Biology*, vol. 30, no. 10, May 2020, pp. 1821-1833.e8.
- [35] D. J. H. van Gerven, T. Ferguson, and R. W. Skelton, "Acute stress switches spatial navigation strategy from egocentric to allocentric in a virtual Morris water maze," *Neurobiology of Learning and Memory*, vol. 132, Jul. 2016, pp. 29–39.
- [36] Padilla, L.M., Creem-Regehr, S.H., Stefanucci, J.K. *et al.* "Sex differences in virtual navigation influenced by scale and navigation experience," *Psychon. Bull. Rev.*, vol. 24, 2017, pp. 582–590.
- [37] I. Spence and J. Feng, "Video Games and Spatial Cognition," *Review of General Psychology*, vol. 14, no. 2, Jun. 2010, pp. 92–104.
- [38] L. Castelli, L. Latini Corazzini, and G. C. Geminiani, "Spatial navigation in large-scale virtual environments: Gender differences in survey tasks," *Computers in Human Behavior*, vol. 24, no. 4, Jul. 2008, pp. 1643–1667.
- [39] M. J. O'Neill, "Evaluation of a Conceptual Model of Architectural Legibility," *Environment and Behavior*, vol. 23, no. 3, May 1991, pp. 259–284.

- [40] E. Slone, F. Burles, and G. Iaria, “Environmental layout complexity affects neural activity during navigation in humans,” *Eur J Neurosci*, vol. 43, no. 9, Mar. 2016, pp. 1146–1155.
- [41] S. Werner and P. Long, “Cognition Meets Le Corbusier — Cognitive Principles of Architectural Design,” in *Spatial Cognition III*, Springer Berlin Heidelberg, Jan. 2013, pp. 112–126.
- [42] K. Jeffery, “Urban Architecture: A Cognitive Neuroscience Perspective,” *The Design Journal*, vol. 22, no. 6, Sep. 2019, pp. 853–872.
- [43] Desolneux, A., Moisan, L., & Morel, J. M., *From Gestalt Theory to Image Analysis*. Springer Publishing, 2007.
- [44] Liu, Y., *Computational symmetry in computer vision and computer graphics*. Boston, MA: Now Publ., 2010.
- [45] David J. Eck, “About Symmetries of the Plane”, *Math 110: Discovering in Mathematics*, Apr. 2008. Pieejams: http://math.hws.edu/eck/math110_s08/symmetries/index.html
- [46] Julesz, B., & Pappathomas, T. V., *Foundations of cyclopean perception*. Cambridge, MA: MIT, 2006.
- [47] M. C. Corballis and C. E. Roldan, “On the perception of symmetrical and repeated patterns,” *Perception & Psychophysics*, vol. 16, no. 1, Jan. 1974, pp. 136–142.
- [48] G. C. Baylis and J. Driver, “Parallel computation of symmetry but not repetition within single visual shapes,” *Visual Cognition*, vol. 1, no. 4, Oct. 1994, pp. 377–400.
- [49] M. S. Treder, “Behind the Looking-Glass: A Review on Human Symmetry Perception,” *Symmetry*, vol. 2, no. 3, Jul. 2010, pp. 1510–1543.
- [50] G. van der Vloed, Á. Csathó, and P. A. van der Helm, “Symmetry and repetition in perspective,” *Acta Psychologica*, vol. 120, no. 1, Sep. 2005, pp. 74–92.
- [51] H. Azemati et al., “The Role of Symmetry in the Aesthetics of Residential Building Façades Using Cognitive Science Methods,” *Symmetry*, vol. 12, no. 9, Sep. 2020, p. 1438.
- [52] A. Coburn et al., “Psychological responses to natural patterns in architecture,” *Journal of Environmental Psychology*, vol. 62, Apr. 2019, pp. 133–145.
- [53] A. Baskaya, C. Wilson, and Y. Z. Özcan, “Wayfinding in an Unfamiliar Environment,” *Environment and Behavior*, vol. 36, no. 6, Nov. 2004, pp. 839–867.
- [54] J. W. Kelly, T. P. McNamara, B. Bodenheimer, T. H. Carr, and J. J. Rieser, “The shape of human navigation: How environmental geometry is used in maintenance of spatial orientation,” *Cognition*, vol. 109, no. 2, Nov. 2008, pp. 281–286.

- [55] Joe Bardi, “What is Virtual Reality? [Definition and Examples]”, *Marxent Labs*, Mar. 2019. Pieejams: <https://www.marxentlabs.com/what-is-virtual-reality/>
- [56] Chris Woodford, “Virtual reality”, *Explain that Stuff*, Jun. 2020. Pieejams: <https://www.explainthatstuff.com/virtualreality.html>
- [57] “Oculus Quest 2: Our Most Advanced All-in-One VR Headset”, *Facebook technologies* [produkta mājaslapa]. Pieejams: <https://www.oculus.com/quest-2/>
- [58] R. N. McLay et al., “A Randomized, Head-to-Head Study of Virtual Reality Exposure Therapy for Posttraumatic Stress Disorder,” *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, vol. 20, no. 4, Apr. 2017, pp. 218–224.
- [59] C. Repetto, A. Gaggioli, F. Pallavicini, P. Cipresso, S. Raspelli, and G. Riva, “Virtual reality and mobile phones in the treatment of generalized anxiety disorders: a phase-2 clinical trial,” *Pers Ubiquit Comput*, vol. 17, no. 2, Oct. 2011, pp. 253–260.
- [60] A.-H. G. Abulrub, A. N. Attridge, and M. A. Williams, “Virtual reality in engineering education: The future of creative learning,” prezentēts *2011 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, Apr. 2011.
- [61] A. Shemesh, R. Talmon, O. Karp, I. Amir, M. Bar, and Y. J. Grobman, “Affective response to architecture – investigating human reaction to spaces with different geometry,” *Architectural Science Review*, vol. 60, no. 2, Dec. 2016, pp. 116–125.
- [62] İ. Erkan, “Examining wayfinding behaviours in architectural spaces using brain imaging with electroencephalography (EEG),” *Architectural Science Review*, vol. 61, no. 6, Sep. 2018, pp. 410–428.
- [63] E. Vilar, F. Rebelo, and P. Noriega, “Indoor Human Wayfinding Performance Using Vertical and Horizontal Signage in Virtual Reality,” *Hum. Factors Man.*, vol. 24, no. 6, May 2012, pp. 601–615.
- [64] Massimiliano Di Luca, Hasti Seifi, Simon Egan, Mar Gonzalez-Franco. "Locomotion Vault: the Extra Mile in Analyzing VR Locomotion Techniques," in *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2021, pp. 1-10.
- [65] Locomotion Vault [projekta mājaslapa]. Pieejams: <https://locomotionvault.github.io/index.html>
- [66] R. A. Ruddle and S. Lessels, “The benefits of using a walking interface to navigate virtual environments,” *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, vol. 16, no. 1, Apr. 2009, pp. 1–18.

- [67] K. Moghadam, C. Banigan, and E. D. Ragan, “Scene Transitions and Teleportation in Virtual Reality and the Implications for Spatial Awareness and Sickness,” *IEEE Trans. Visual. Comput. Graphics*, vol. 26, no. 6, Jun. 2020, pp. 2273–2287.
- [68] E. Langbehn, P. Lubos, and F. Steinicke, “Evaluation of Locomotion Techniques for Room-Scale VR,” prezentēts *VRIC '18: Virtual Reality International Conference - Laval Virtual VRIC '18*, Apr. 2018
- [69] S. Weech, S. Kenny, and M. Barnett-Cowan, “Presence and Cybersickness in Virtual Reality Are Negatively Related: A Review,” *Front. Psychol.*, vol. 10, Feb. 2019, Article 158.
- [70] V. Interrante, B. Ries, and L. Anderson, “Seven League Boots: A New Metaphor for Augmented Locomotion through Moderately Large Scale Immersive Virtual Environments,” prezentēts *2007 IEEE Symposium on 3D User Interfaces*, 2007.
- [71] F. Steinicke, G. Bruder, J. Jerald, H. Frenz, and M. Lappe, “Estimation of Detection Thresholds for Redirected Walking Techniques,” *IEEE Trans. Visual. Comput. Graphics*, vol. 16, no. 1, Jan. 2010, pp. 17–27.
- [72] Q. Sun et al., “Towards virtual reality infinite walking,” *ACM Trans. Graph.*, vol. 37, no. 4, Aug. 2018, pp. 1–13.
- [73] E. A. Suma, Z. Lipps, S. Finkelstein, D. M. Krum, and M. Bolas, “Impossible Spaces: Maximizing Natural Walking in Virtual Environments with Self-Overlapping Architecture,” *IEEE Trans. Visual. Comput. Graphics*, vol. 18, no. 4, Apr. 2012, pp. 555–564.
- [74] T. Grechkin, J. Thomas, M. Azmandian, M. Bolas, and E. Suma, “Revisiting detection thresholds for redirected walking,” prezentēts *SAP '16: ACM Symposium on Applied Perception 2016*, Jul. 2016.
- [75] Aldin Dynamics, “Introducing Next Generation Telepath VR Movement Features”, *Medium*, May 2020. Pieejams: <https://medium.com/aldin-dynamics/introducing-next-generation-telepath-vr-movement-features-6417a7e0ff49>
- [76] R. Paris, J. Klag, P. Rajan, L. Buck, T. P. McNamara, and B. Bodenheimer, “How Video Game Locomotion Methods Affect Navigation in Virtual Environments,” prezentēts *SAP '19: ACM Symposium on Applied Perception 2019*, Sep. 2019.
- [77] M. Ramshaw and S. Cutchin, “Reducing Motion Sickness Resulting From Movement inside Virtual Reality Environments,” *ICAT-EGVE 2020 - International Conference on Artificial Reality and Telexistence and Eurographics Symposium on Virtual Environments*, 2020.

- [78] J. Mayor, L. Raya, and A. Sanchez, “A comparative study of virtual reality methods of interaction and locomotion based on presence, cybersickness and usability,” *IEEE Trans. Emerg. Topics Comput.*, 2019, pp. 1–1.
- [79] Marco Maceri, “Why Some VR Causes Motion Sickness (And Ours Doesn't)”, *PIXO VR*, Jul. 2018. Pieejams: <https://pixovr.com/2018/07/24/why-some-vr-causes-motion-sickness-and-ours-doesnt/>
- [80] L. Rebenitsch and C. Owen, “Estimating cybersickness from virtual reality applications,” *Virtual Reality*, vol. 25, no. 1, May 2020, pp. 165-174.
- [81] J. Munafo, M. Diedrick, and T. A. Stoffregen, “The virtual reality head-mounted display Oculus Rift induces motion sickness and is sexist in its effects,” *Exp Brain Res*, vol. 235, no. 3, Dec. 2016, pp. 889–901.
- [82] G. Llorach, A. Evans, and J. Blat, “Simulator sickness and presence using HMDs,” prezentēts *20th ACM Symposium*, 2014.
- [83] A. E. Richardson, D. R. Montello, and M. Hegarty, “Spatial knowledge acquisition from maps and from navigation in real and virtual environments,” *Memory & Cognition*, vol. 27, no. 4, Jul. 1999, pp. 741–750.
- [84] I. J. M. van der Ham, A. M. E. Faber, M. Venselaar, M. J. van Kreveld, and M. Loffler, “Ecological validity of virtual environments to assess human navigation ability,” *Front. Psychol.*, vol. 6, May 2015, Article 637.
- [85] J. Marín-Morales et al., “Navigation Comparison between a Real and a Virtual Museum: Time-dependent Differences using a Head Mounted Display,” *Interacting with Computers*, vol. 31, no. 2, Mar. 2019, pp. 208–220.
- [86] Kim Williams, "Symmetry in Architecture," *MI SANU*, 1999. Pieejams: <https://www.mi.sanu.ac.rs/vismath/kim/index.html>
- [87] “Unity Real-Time Development Platform | 3D, 2D VR & AR Engine” [programmatūras mājaslapa]. Pieejams: <https://unity.com/>
- [88] “MongoDB Atlas Database - Cloud DBaaS for MongoDB” [programmatūras mājaslapa]. Pieejams: <https://www.mongodb.com/>
- [89] “Node.js” [programmatūras mājaslapa]. Pieejams: <https://nodejs.org/>
- [90] Unity Technologies, “2021 Gaming Report”, *unity.com*, Feb. 2021. Pieejams: <https://create.unity3d.com/2021-game-report>

- [91] A. Smajic, S. Merritt, C. Banister, and A. Blinebry, “The Red Effect, Anxiety, and Exam Performance,” *Teaching of Psychology*, vol. 41, no. 1, Dec. 2013, pp. 37–43.
- [92] A. J. Elliot, “Color and psychological functioning: a review of theoretical and empirical work,” *Front. Psychol.*, vol. 6, Apr. 2015, Article 368.
- [93] Unity Technologies, “Standard Assets”, *Unity Asset Store*, Apr. 2020. Pieejams: <https://assetstore.unity.com/packages/essentials/asset-packs/standard-assets-for-unity-2018-4-32351>
- [94] Elcanetay, “Toon Furniture”, *Unity Asset Store*, May 2017. Pieejams: <https://assetstore.unity.com/packages/3d/props/furniture/toon-furniture-88740>
- [95] Facebook Technologies, “Oculus Hand Models 1.0”, *Oculus Developer Center*, Jul. 2017. Pieejams: <https://developer.oculus.com/downloads/package/oculus-hand-models/>
- [96] C. Heinrich, M. Cook, T. Langlotz, and H. Regenbrecht, “My hands? Importance of personalised virtual hands in a neurorehabilitation scenario,” *Virtual Reality*, vol. 25, no. 2, pp. 313–330, Jul. 2020
- [97] Unity Technologies, “Best UI Practices for VR”, *Unity Learn*, Jul. 2020. Pieejams: <https://learn.unity.com/tutorial/unit-6-best-ui-practices-for-vr>
- [98] “Bethesda, please give us a movement speed slider in Skyrim”, *Reddit* [tiešsaistes diskusiju grupas ziņa], Nov. 2017.
- [99] “WebGL Overview”, *WebGL public wiki*, Apr. 2011. Pieejams: https://www.khronos.org/webgl/wiki/Getting_Started
- [100] “DigitalOcean – The developer cloud” [pakalpojuma sniedzēja mājaslapa]. Pieejams: <https://www.digitalocean.com/>
- [101] R. Radiah et al., “Remote VR Studies”, *arXiv preprint arXiv:2102.11207*, Feb 2021. Pieejams: <https://arxiv.org/abs/2102.11207>
- [102] “SideQuest” [platformas mājaslapa.] Pieejams: <https://sidequestvr.com/>
- [103] “Prolific | Online participant recruitment for surveys and market research” [pakalpojuma sniedzēja mājaslapa]. Pieejams: <https://www.prolific.co/>
- [104] P. Sprent and N. C. Smeeton, *Applied nonparametric statistical methods*. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2001.
- [105] J. Buck, *Mazes for programmers: code your own twisty little passages*. Dallas, TX: The Pragmatic Bookshelf, 2015.

[106] W. Dong et al., “Wayfinding Behavior and Spatial Knowledge Acquisition: Are They the Same in Virtual Reality and in Real-World Environments?,” *Annals of the American Association of Geographers*, May 2021, pp. 1–21.

[107] D. Monteiro et al., “Spatial Knowledge Acquisition in Virtual and Physical Reality: A Comparative Evaluation”, *arXiv preprint arXiv:2104.07624*, Apr 2021. Pieejams: <https://arxiv.org/abs/2104.07624>

PIELIKUMI

1. pielikums. Eksperimenta projekta pirmkods

Eksperimenta pirmkods ir pieejams darba autores *GitHub* repozitorijā:
<https://github.com/misupova/navigation-vr>

Jāatzīmē, ka kods 1. eksperimentam un 2. eksperimentam atrodas dažādos zaros: 1. eksperimentā kods atrodas uz *master* zara un 2. eksperimenta kods atrodas uz *vr* zara. Tas tika izdarīts tāpēc, ka *Unity* projekta iestatījumi arī mainījās, atkarībā no tā, kāda izvades ierīce tiek izmantota, tāpēc bija nolemts VR eksperimentam uztaisīt atsevišķo zaru, un tur modificēt nepieciešamās koda daļas.

Programmatūru var palaist pa tiešo no *Unity*, izmantojot *Unity* 2019.4 versiju, vai 2. un 3. pielikumos ir jau lietošanai gatava programmatūra.

2. pielikums. Saite uz 1. eksperimentu

Eksperiments tika izvietots *DigitalOcean* mākonī. Tam var piekļūt un pilnīgi izstaigāt eksperimenta vidi. Lietotājs tiek nejauši ievietots vienā no divām vidēm: simetriskajā vai asimetriskajā.

Eksperiments ir pieejams šeit:

<https://navigation-experiment-build-kzewq.ondigitalocean.app/>

3. pielikums. Saite uz 2. eksperimentu

VR eksperiments tika izplatīts, izmantojot *SideQuest* infrastruktūru. Tika izveidotas divas atsevišķas tīmekļa lapas: vienā lietotne tika izveidota, izmantojot simetrisko vidi, un otrajā, - izmantojot asimetrisko vidi. Eksperimenta dalībniekiem bija nejauši nosūtīta viena no šīm saitēm. Papildus tika izveidotas tīmekļa lapas ar instrukcijām tiem eksperimenta dalībniekiem, kuri nebija iepriekš lietojuši *SideQuest*.

Saites uz instrukcijām:

- 1. grupa: https://misupova.github.io/navigation-vr-release/group_1
- 2. grupa: https://misupova.github.io/navigation-vr-release/group_2

Saites uz lietotnēm *SideQuest*:

- 1. grupa: <https://sidequestvr.com/app/4191/vr-navigation-experiment-variant-1>
- 2. grupa: <https://sidequestvr.com/app/4192/vr-navigation-experiment-variant-2>

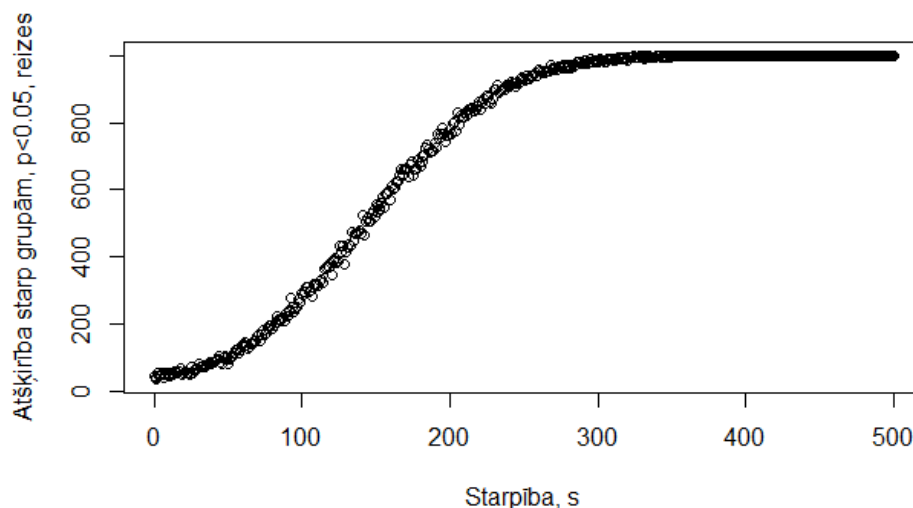
4. pielikums. Montekarlo simulācijas 1. eksperimenta izlases kopai

Darba tekstā bija apgalvots, ka, lai garantēti novērotu statistiski nozīmīgu atšķirību starp kopējo eksperimenta laiku abās vidēs sieviešu grupai 1. eksperimentā, ir nepieciešama apmēram 300 sekunžu starpība starp vidējām vērtībām. Šis rezultāts tika iegūts, veicot simulācijas ar valodas R palīdzību.

Lai veiktu simulāciju, bija izvirzīti šādi pieņēmumi par sieviešu grupas izlasēm (tās nav precīzas vērtības, bet simulācijas mērķis bija novērtēt aptuveno vērtību kopējā eksperimenta laika starpībai, lai varētu novērot statistiski nozīmīgu atšķirību, līdz ar to precīzas vērtības nav nepieciešamas):

- Sieviešu “simetriskajai” un “asimetriskajai” grupām standartnovirze ir vienāda;
- Standartnovirze ir vienāda ar 216 sekundēm (aptuvenā reālo eksperimenta grupu standartnoviržu vērtība);
- Abu grupu kopējā eksperimenta laiku sadalījums atbilst normālajam sadalījumam;
- Grupu izmērs ir vienāds ar 20;
- Grupai ar mazāko kopējā eksperimenta laika vidējā laika vērtība ir 438 sekundes (arī aptuvenā reālās eksperimenta grupas vidējā laika vērtība).

Tālāk tika pārbaudītas 2. grupas kopējā eksperimenta laika vidējā laika vērtības no 438 līdz $438+500=938$. Katrai vidējo vērtību starpībai 1. un 2. grupām tika 1000 reizes uzģenerētas pa 20 vērtībām no normālajiem sadalījumiem ar standartnovirzi 216 sekundes, un pārbaudīts, cik reizes no 1000 Vilkoksona tests ar nozīmības līmeni $\alpha = 0.05$ spēja uztvert atšķirības starp grupām (tātad maksimums 1000 reizes). Rezultāts tika attēlots grafikā:



Montekarlo simulācijas rezultāta grafiks

Pēc grafika var redzēt, ka, ja starp vidējām kopējā eksperimenta laika vērtībām ir apmēram 200 sekunžu starpība, tad Vilkoksona tests ar nozīmības līmeni $\alpha = 0.05$ apmēram ar 80% varbūtību var noteikt, ka starp grupām pastāv atšķirība. Lai tests varētu uztvert šo atšķirību ar gandrīz 100%, ir nepieciešama starpība ap 300 sekundēm.

5. pielikums. *TutorialManager.cs* klase apmācību loģikas kontrolēšanai

```
1. using System.Collections;
2. using System.Collections.Generic;
3. using TMPro;
4. using UnityEngine;
5.
6. public class TutorialManager : MonoBehaviour
7. {
8.     public GameObject[] popUps;
9.     public GameObject[] tutorialItems;
10.    public GameObject UI_RemainingItems;
11.    public GameObject UI_MoveKeys;
12.    public GameObject myDoor;
13.
14.    float waitTime = 1f;
15.    int popUpIndex;
16.    bool mouseMovedLeft;
17.    bool mouseMovedRight;
18.    bool wentLeft;
19.    bool wentRight;
20.    bool wentForward;
21.    TextMeshProUGUI UI_MoveMouseText;
22.    TextMeshProUGUI UI_MoveAroundText;
23.    TextMeshProUGUI UI_TouchText;
24.    TextMeshProUGUI UI_CollectAllText;
25.    TextMeshProUGUI UI_TutorialFinishedText;
26.    TextMeshProUGUI UI_ReturnBackText;
27.    TextMeshProUGUI UI_ThankYouText;
28.
29.    void Awake()
30.    {
31.        for (int i = 0; i < tutorialItems.Length; i++)
32.        {
33.            tutorialItems[i].SetActive(false);
34.        }
35.        UI_RemainingItems.SetActive(false);
36.        UI_MoveKeys.SetActive(false);
37.
38.        UI_MoveMouseText =
39.            GameObject.Find("UI_MoveMouse").GetComponentInChildren<TextMeshProUGUI>();
40.        UI_MoveAroundText =
41.            GameObject.Find("UI_MoveAround").GetComponentInChildren<TextMeshProUGUI>();
42.        UI_TouchText =
43.            GameObject.Find("UI_Touch").GetComponentInChildren<TextMeshProUGUI>();
44.        UI_CollectAllText =
45.            GameObject.Find("UI_CollectAll").GetComponentInChildren<TextMeshProUGUI>();
46.        UI_TutorialFinishedText =
47.            GameObject.Find("UI_TutorialFinished").GetComponentInChildren<TextMeshProUGUI>();
48.        UI_ReturnBackText =
49.            GameObject.Find("UI_ReturnBack").GetComponentInChildren<TextMeshProUGUI>();
50.        CreateLocalTexts();
51.    }
52.
53.    void Update()
54.    {
55.        for (int i = 0; i < popUps.Length; i++)
56.        {
57.            if (i == popUpIndex)
58.            {
59.                popUps[i].SetActive(true);
60.            }
61.            else
62.            {
63.                popUps[i].SetActive(false);
64.            }
65.        }
66.
67.        if (
68.            popUpIndex == 0 // Move mouse
69.        )
70.        {
71.            if (Input.GetAxis("Mouse X") < -1)
```

```

72.         {
73.             mouseMovedLeft = true;
74.         }
75.         if (Input.GetAxis("Mouse X") > 1)
76.         {
77.             mouseMovedRight = true;
78.         }
79.         if (mouseMovedLeft && mouseMovedRight)
80.         {
81.             popUpIndex++;
82.         }
83.     }
84.     else if (
85.         popUpIndex == 1 // Move around
86.     )
87.     {
88.         UI_MoveKeys.SetActive(true);
89.
90.         if (Input.GetKeyDown(KeyCode.LeftArrow) || Input.GetKeyDown(KeyCode.A))
91.         {
92.             wentLeft = true;
93.         }
94.         if (Input.GetKeyDown(KeyCode.RightArrow) || Input.GetKeyDown(KeyCode.D))
95.         {
96.             wentRight = true;
97.         }
98.         if (Input.GetKeyDown(KeyCode.UpArrow) || Input.GetKeyDown(KeyCode.W))
99.         {
100.            wentForward = true;
101.        }
102.        if (wentLeft && wentRight && wentForward)
103.        {
104.            if (waitTime <= 0)
105.            {
106.                popUpIndex++;
107.            }
108.            else
109.            {
110.                waitTime -= Time.deltaTime;
111.            }
112.        }
113.    }
114.    else if (
115.        popUpIndex == 2 // Collect items
116.    )
117.    {
118.        UI_RemainingItems.SetActive(true);
119.        UI_RemainingItems.GetComponentInChildren<TextMeshProUGUI>(true).text =
120.            LocalTexts.itemsRemaining[CollectItems.collectedTutorialItems];
121.        for (int i = 0; i < tutorialItems.Length; i++)
122.        {
123.            tutorialItems[i].SetActive(true);
124.        }
125.        if (CollectItems.collectedTutorialItems == 1)
126.        {
127.            popUpIndex++;
128.        }
129.    }
130.    else if (
131.        popUpIndex == 3 // Now collect all 3 items
132.    )
133.    {
134.        if (CollectItems.collectedTutorialItems < 3)
135.        {
136.            UI_RemainingItems.GetComponentInChildren<TextMeshProUGUI>(true).text =
137.                LocalTexts.itemsRemaining[CollectItems.collectedTutorialItems];
138.        }
139.        else
140.        {
141.            UI_RemainingItems.SetActive(false);
142.            popUpIndex++;
143.        }
144.    }
145.    else if (
146.        popUpIndex == 4 // Tutorial finished
147.    )

```

```
148.     {
149.         myDoor.transform.rotation = Quaternion.Euler(0, 5f, 0);
150.         if (CollectItems.tutorialFinished)
151.         {
152.             popUps[popUpIndex].SetActive(false);
153.         }
154.     }
155. }
156.
157. private void CreateLocalTexts()
158. {
159.     UI_MoveMouseText.text = LocalTexts.UI_MoveMouseText;
160.     UI_MoveAroundText.text = LocalTexts.UI_MoveAroundText;
161.     UI_TouchText.text = LocalTexts.UI_TouchText;
162.     UI_CollectAllText.text = LocalTexts.UI_CollectAllText;
163.     UI_TutorialFinishedText.text = LocalTexts.UI_TutorialFinishedText;
164.     UI_ReturnBackText.text = LocalTexts.UI_ReturnBackText;
165. }
166. }
167.
```

6. pielikums. *CollectItems.cs* klase savākto objektu piefiksēšanai

```
1. using System.Collections;
2. using System.Collections.Generic;
3. using TMPro;
4. using UnityEngine;
5.
6. public class CollectItems : MonoBehaviour
7. {
8.     public static int collectedTutorialItems;
9.     public static int collectedItems;
10.    public static bool tutorialFinished;
11.    public GameObject UI_RemainingItems;
12.    public GameObject UI_ReturnBack;
13.    public GameObject finishPlane;
14.    public Material successGreen;
15.
16.    float waitTime = 10f;
17.
18.    void Awake()
19.    {
20.        UI_ReturnBack.SetActive(false);
21.    }
22.
23.    void Update()
24.    {
25.        if (tutorialFinished && collectedItems < 3)
26.        {
27.            UI_RemainingItems.SetActive(true);
28.            UI_RemainingItems.GetComponentInChildren<TextMeshProUGUI>(true).text =
29.                LocalTexts.itemsRemaining[collectedItems];
30.        }
31.
32.        if (collectedItems == 3 && waitTime > 0)
33.        {
34.            UI_ReturnBack.SetActive(true);
35.            UI_RemainingItems.SetActive(false);
36.            finishPlane.SetActive(true);
37.            waitTime -= Time.deltaTime;
38.        }
39.        else
40.        {
41.            UI_ReturnBack.SetActive(false);
42.        }
43.    }
44.
45.    public void OnTriggerEnter(Collider other)
46.    {
47.        if (other.CompareTag("TutorialCollectible"))
48.        {
49.            other.tag = "Untagged";
50.            collectedTutorialItems++;
51.            Debug.Log (collectedTutorialItems);
52.            ParticleSystem ps =
53.                GameObject.Find(other.GetComponent<Collider>().gameObject.name)
54.                    .GetComponent<ParticleSystem>();
55.            ps.Play();
56.            successGreen =
57.                GameObject.Find(other.GetComponent<Collider>().gameObject.name)
58.                    .GetComponent<Renderer>().material;
59.        }
60.
61.        if (other.CompareTag("Respawn"))
62.        {
63.            GameObject.Find(other.GetComponent<Collider>().gameObject.name).SetActive(false);
64.            tutorialFinished = true;
65.        }
66.
67.        if (other.CompareTag("Collectible"))
68.        {
69.            other.tag = "Untagged";
70.            collectedItems++;
71.            Debug.Log (collectedItems);
```

```
72.         ParticleSystem ps =
73.             GameObject.Find(other.GetComponent<Collider>().gameObject.name)
74.                 .GetComponent<ParticleSystem>();
75.         ps.Play();
76.         successGreen =
77.             GameObject.Find(other.GetComponent<Collider>().gameObject.name)
78.                 .GetComponent<Renderer>().material;
79.     }
80. }
81. }
82.
```

7. pielikums. *InputTracker.cs* klase eksperimenta dalibnieka ceļa pierakstam

```
1. using System;
2. using System.Collections;
3. using System.Collections.Generic;
4. using System.Globalization;
5. using System.IO;
6. using System.Text;
7. using System.Xml;
8. using System.Xml.Serialization;
9. using UnityEngine;
10. using UnityEngine.Networking;
11. using UnityEngine.SceneManagement;
12.
13. public class InputTracker : MonoBehaviour
14. {
15.     public int frameInterfal = 4;
16.     private string XMLString;
17.     private PlayerData _playerData;
18.
19.     public class Movement
20.     {
21.         public Vector3 position;
22.         public float time, distance;
23.         public int currentItem;
24.
25.         public Movement()
26.         {
27.             this.position = Vector3.zero;
28.             this.time = 0f;
29.             this.distance = 0f;
30.         }
31.
32.         public Movement(Vector3 position)
33.         {
34.             this.position = position;
35.             this.time = Time.timeSinceLevelLoad;
36.             this.currentItem = CollectItems.collectedItems;
37.         }
38.
39.         public void setDistance(float distance)
40.         {
41.             this.distance = distance;
42.         }
43.     }
44.
45.     List<Movement> movements = new List<Movement>();
46.
47.     void Start()
48.     {
49.         Debug.Log(Screen.height);
50.         Debug.Log(Screen.width);
51.         Debug.Log(Screen.height / Screen.dpi);
52.         Debug.Log(Screen.width / Screen.dpi);
53.         Transform playerTrans = this.transform;
54.         Transform camera = playerTrans.Find("FirstPersonCharacter");
55.     }
56.
57.     int timer = 0;
58.     Transform cameraTransform;
59.     int currentMovementIndex = 0;
60.     bool levelCompleted = false;
61.
62.     void Update()
63.     {
64.         if (timer % frameInterfal == 0)
65.         {
66.             if (!levelCompleted && CollectItems.tutorialFinished)
67.             {
68.                 cameraTransform = Camera.main.transform;
69.                 movements.Add(new Movement(cameraTransform.position));
70.                 currentMovementIndex++;
71.             }

```

```

72.     }
73.     timer++;
74. }
75.
76. IEnumerator OnTriggerEnter(Collider other)
77. {
78.     if (!other.CompareTag("GoalTrigger") || levelCompleted) yield break;
79.
80.     levelCompleted = true;
81.
82.     for (int i = 0; i < movements.Count; i++)
83.     {
84.         if (i == 0)
85.         {
86.             movements[i].setDistance(0f);
87.         }
88.         else
89.         {
90.             movements[i].setDistance(Vector3.Distance(movements[i].position,
91.                 movements[i - 1].position));
92.         }
93.     }
94.
95.     XmlSerializer serialiser = new XmlSerializer(typeof (List<Movement>));
96.
97.     var sw = new StringWriter();
98.
99.     serialiser.Serialize (sw, movements);
100.    XMLString = sw.ToString();
101.
102.    _playerData = new PlayerData();
103.
104.    _playerData.playerId = UI_InfoWindow.playerId;
105.    _playerData.XMLString = XMLString;
106.    _playerData.isFinished = true;
107.    _playerData.createdAt = DateTime.Now.ToString();
108.    _playerData.level = SceneManager.GetActiveScene().name;
109.    _playerData.screenHeight = Screen.height;
110.    _playerData.screenWidth = Screen.width;
111.    _playerData.screenHeightInch = Screen.height / Screen.dpi;
112.    _playerData.screenWidthInch = Screen.width / Screen.dpi;
113.
114.    StartCoroutine(Upload(_playerData.Stringify(),
115.        result =>
116.        {
117.            Debug.Log (result);
118.            SceneManager.LoadScene(3);
119.        }));
120.    }
121.
122.    IEnumerator Upload(string profile, System.Action<bool> callback = null)
123.    {
124.        using (
125.            UnityWebRequest request =
126.                new UnityWebRequest("https://navigation-experiment-server-
xn9eu.ondigitalocean.app/movement_data",
127.                    "POST")
128.        )
129.        {
130.            request.SetRequestHeader("Content-Type", "application/json");
131.            byte[] bodyRaw = Encoding.UTF8.GetBytes(profile);
132.            request.uploadHandler = new UploadHandlerRaw(bodyRaw);
133.            request.downloadHandler = new DownloadHandlerBuffer();
134.
135.            yield return request.SendWebRequest();
136.
137.            if (request.isNetworkError || request.isHttpError)
138.            {
139.                Debug.Log(request.error);
140.                if (callback != null)
141.                {
142.                    callback.Invoke(false);
143.                }
144.            }
145.            else
146.            {

```

```
147.         if (callback != null)
148.             {
149.                 callback.Invoke(request.downloadHandler.text != "{}");
150.             }
151.         }
152.     }
153. }
154. }
155.
```

8. pielikums. *Node.js* servera pirmkods

```
1. const { MongoClient, ObjectId } = require('mongodb')
2. const Express = require('express')
3. const bodyParser = require('body-parser')
4. var cors = require('cors')
5. require('dotenv').config()
6.
7. const server = Express()
8. server.use(bodyParser.json({ limit: '50mb' }))
9. server.use(
10.   bodyParser.urlencoded({
11.     limit: '50mb',
12.     extended: true,
13.     parameterLimit: 50000,
14.   }),
15. )
16. server.use(Express.json({ limit: '50mb' }))
17. server.use(Express.urlencoded({ limit: '50mb' }))
18. server.use(cors())
19.
20. function clean(obj) {
21.   for (var propName in obj) {
22.     if (obj[propName] === null || obj[propName] === undefined || obj[propName] === "" || obj[propName]
=== 0) {
23.       delete obj[propName];
24.     }
25.   }
26.   return obj
27. }
28.
29. const client = new MongoClient(process.env.DB_HOST, {
30.   useNewUrlParser: true,
31.   useUnifiedTopology: true,
32. })
33.
34. var collection
35. var collection_vr
36.
37. server.post('/movement_data', async (request, response, next) => {
38.   try {
39.     console.log(request.body);
40.     let result = await collection.insertOne(request.body)
41.     response.send(result)
42.   } catch (e) {
43.     console.log(e)
44.     response.status(500).send({ message: e.message })
45.   }
46. })
47.
48. server.put('/movement_data/:playerId', async (request, response, next) => {
49.   try {
50.     console.log(request.body);
51.     let result = await collection.updateOne(
52.       { playerId: request.params.playerId },
53.       { $set: clean(request.body) },
54.     )
55.     response.send(result)
56.   } catch (e) {
57.     console.log(e)
58.     response.status(500).send({ message: e.message })
59.   }
60. })
61.
62. server.get('/generate_level', (req, res) => {
63.   res.send(String(Math.floor(Math.random() * 2) + 1));
64. })
65.
66. server.listen('3000', async () => {
67.   try {
68.     await client.connect()
69.
70.     collection = client.db('navigation-vr').collection('movement_data')
```

```
71.     console.log('Listening at :3000...')
72.   } catch (e) {
73.     console.error(e)
74.   }
75. })
76.
```

Maģistra darbs: “**Dažādu simetriju telpu uztvere virtuālajā vidē**” izstrādāts LU Datorikas fakultātē.

Darba teksta galīgā versija izgatavota 24.05.2021.

Ar savu parakstu apliecinu, ka pētījums veikts patstāvīgi, izmantoti tikai tajā norādītie informācijas avoti un iesniegtā darba elektroniskā kopija atbilst izdrukai.

Autors: _____
(Autora paraksts)

Ar savu parakstu apliecinu, ka esmu lasījis augstāk minēto maģistra darbu un atzīstu to par **p i e m ē r o t u / n e p i e m ē r o t u** (nevajadzīgo svītrot) aizstāvēšanai Latvijas Universitātes datorzinātņu maģistrantūrā.

Darba vadītājs: _____
(Vadītāja paraksts)

Darbs iesniegts maģistrantūras sekretariātā _____.
(Iesniegšanas datums)

Ar šo es apliecinu, ka darba elektroniskā versija ir augšupielādēta LU informatīvajā sistēmā.

Studiju metodiķe: _____.
(Metodiķes paraksts)

Recenzents: asociētais profesors Dr.geol. Līga Zariņa

Darbs aizstāvēts maģistra gala pārbaudījuma komisijas sēdē

_____ prot. Nr. _____
(Darba aizstāvēšanas datums)

Komisijas sekretārs: _____
(Sekretāra paraksts)