

TARTU ÜLIKOOL
Arvutiteaduse instituut
Informaatika õppekava

Peeter Paal

Virtuaalreaalsuse seadmete uuring

Bakalaureusetöö (9 EAP)

Juhendaja: Raimond-Hendrik Tunnel, MSc

Tartu 2021

Virtuaalreaalsuse seadmete uuring

Lühikokkuvõte:

Selles töös uuriti ja võrreldi nelja kaasaegset virtuaalreaalsuse seadet, mis olid Oculus Rift CV1, Oculus Quest, HTC Vive Pro ja Varjo VR-1. Võrdlus koostati selleks, et uurida seadmete omadusi ning leida, mida peaks seadme soetamisel vaatama. Andmete kogumiseks korraldati katsed, kus 59 osalejat said virtuaalreaalsuse seadmega mängida kahte mängu ning vaadata ühte filmi. Nii saadi tagasisidet erinevate elamuste kohta, mida saab virtuaalreaalsuse seadmetega kogeda, ning sedasi leiti seadmete häid ja halbu omadusi. Kasutajakogemus erines enim kõrvaklappide sätimise, ühildustarkvara kasutamise ning jälgimisseadmete paigutuse puhul.

Võtmesõnad:

Virtuaalreaalsus, katse, võrdlus, Varjo VR-1, Oculus Rift CV1, Oculus Quest, HTC Vive Pro, peaseade, kasutajakogemuse uuring

CERCS: P170 Arvutiteadus, arvutusmeetodid, süsteemid, juhtimine (automaatjuhtimisteooria)

Virtual Reality Headset Study

Abstract:

In this thesis, four modern virtual reality headsets were studied and compared, which were Oculus Rift CV1, Oculus Quest, HTC Vive Pro and Varjo VR-1. The study was created to compare the properties of different headsets and find out what are the most important aspects to look out for when purchasing a headset. An experiment with 59 participants was conducted to collect the data. During the experiment, all participants got to play two games and watch one movie. Questionnaire and observations were used to collect the data. Based on the collected feedback and observations, pros and cons of each headset were found. The most important differences were found to be headphone positioning, usage of compatibility software and the positioning of tracking devices.

Keywords:

Virtual reality, experiment, comparison, Varjo VR-1, Oculus Rift CV1, Oculus Quest, HTC Vive Pro, headset, user experience study

CERCS: P170 Computer science, numerical analysis, systems, control

Sisukord

1. Sissejuhatus	4
2. Virtuaalreaalsus	5
2.1 Virtuaalreaalsuse idee ja ajalugu.....	5
2.2 Tänapäeva turg	6
2.3 Eelnevad uuringud	8
3. Katsed	9
3.1 Kasutatud riistvara	10
3.2 Analoogne riistvara	14
3.3 Kasutatud tarkvara	15
3.3.1 Märulimäng „Half-Life: Alyx“ (Valve, 2020).....	15
3.3.2 Muusikamäng „Audioshield“ (Dylan Fitterer, 2016)	16
3.3.3 Virtuaalreaalsuse film „Henry“ (Oculus Story Studio, 2015).....	17
3.4 Analoogne tarkvara	17
3.5 Katsete metoodika.....	18
3.6 Osalejate tagasiside katsetele	23
4. Võrdlus	24
4.1 Andmete analüüsimiseks testi valimine	25
4.2 Seadmete võrdlus	25
4.3 Järeldused.....	33
4.4 Edasised uurimisvõimalused	36
5. Kokkuvõte	38
Kasutatud kirjandus	40
Lisad	42
I. Sõnastik.....	42
II. Failid.....	43
III. Litsents	44

1. Sissejuhatus

Virtuaalreaalsus (VR) on olnud tavakasutajale kättesaadav nüüdseks juba mõned aastad. Esimesed tänapäevased tavakasutajatele mõeldud seadmed olid Oculus Rift CV1 ning HTC Vive, mis tulid turule 2016. aastal. Sellest ajast saati on peaseadmeid (vt Lisa I: Sõnastik) pidevalt täiustatud ning välja on tulnud mitmeid uusi seadmeid. Selle tõttu on ka valikuvõimalus suurenenud ning tavakasutajal võib tekkida endale meelepärase seadme leidmisel raskusi, kuna on väga palju omadusi, mida võrdlemisel arvestada tuleb. Virtuaalreaalsuse seadmeid kasutatakse erinevate elamuste jaoks ning nende jaoks võivad olulised olla erinevad omadused, mis teeb sobiva seadme valimise veelgi keerulisemaks.

Käesoleva töö teema on oluline, et saada parem ülevaade kaasaegsetest virtuaalreaalsuse seadmetest ning leida, mis on erinevate seadmete tugevad ning nõrgad küljed. Teemast parema ülevaate saamiseks korraldati katsed, kus iga osaleja sai proovida ühte kaasaegset VR seadet. Katsete käigus testiti Oculus Rift CV1, Oculus Quest, HTC Vive Pro ning Varjo VR-1 seadmeid. Katsetamiseks kasutati erinevaid populaarseid VR mängu ning elamusi. Katsed toimusid Tartus Ülikooli arvutiteaduse instituudi arvutigraafika ja virtuaalreaalsuse (AGVR) laboris¹. Katsete põhjal koostati võrdlus, kus võeti arvesse osalejate tagasisidet ning ka varasemate uurimuste tulemusi. Koostatud võrdluse põhjal saab potentsiaalne VR seadme ostja teavet, mille abil seadet valida, ning leitakse katsetes kasutatud seadmetest parima hinna ja kasutajakogemuse suhtega seade.

Peatükis 2 tutvustatakse lähemalt virtuaalreaalsust ning varasemaid sarnaseid uurimusi. Peatükis 3 kirjeldatakse korraldatud katsete disaini ja teostust. Seal tutvustatakse kasutatud riist- ja tarkvara ning tuuakse välja valik analoogset riist- ja tarkvara. Selle peatüki teises pooles kirjutatakse ka katsete meetodikast, käigust ja osalejate tagasisidest. Peatükis 4 kirjeldatakse katsete käigus leitud tulemusi, mida võrreldakse varasemate uuringutega ning nende põhjal koostatakse katsetes uuritud seadmete võrdlus. Esimeses lisas on välja toodud sõnastik, kus on defineeritud töös kasutatud erialaterminid (vt Lisa I: Sõnastik). Teises lisas on kirjeldatud kaasasolevaid faile, kus on andmete kogumise jaoks kasutatud küsimustikud ning katsete käigus saadud andmed (vt Lisa II: Failid).

¹ <https://cgvr.cs.ut.ee/> (23.04.2021)

2. Virtuaalreaalsus

Virtuaalreaalsus on elamus, kus kasutaja saab arvutiga genereeritud virtuaalses maailmas erinevaid objekte mõjutada, kasutades selleks spetsiaalset peaseadet ning juhtpulte². Tavakasutajale mõeldud seadmeid kasutatakse peamiselt mängude mängimiseks ning filmide vaatamiseks. On olemas ka rohkem tööstustele suunatud seadmeid, mis on mõeldud erinevate tehniliste lahenduste väljatöötamiseks ning ka kasutamiseks meditsiini vallas. Selles peatükis kirjeldatakse virtuaalreaalsuse ajalugu, esimesi VR seadmeid ning kuidas VR seadmeid varasemalt uuritud on.

2.1 Virtuaalreaalsuse idee ja ajalugu

Ajaloo on kasutatud erinevaid meetodeid, et panna inimest rohkem tundma end sündmuse sees olevat. Esialgu maaliti selliseid pilte, mis katsid terve vaataja vaatevälja. Sedasi taheti tekitada vaatajale tunnet, nagu ta oleks sündmuse keskel. Edasi hakati katsetama stereoskoopiliste piltidega (vt Lisa I: Sõnastik), kus korraga näidati kahte kõrvuti asetsevat pilti. Inimese aju paneb need kokku üheks pildiks ning tekitab kolmedimensioonilise efekti³.

1965. aastal kirjeldas Ivan E. Sutherland enda essees [1] ideed, mis sarnaneb tänapäevasele VR seadmele. Ta kirjeldab ekraani, mis on ühendatud arvutiga ning läbi mille saab kogeda midagi, mida päriselus kogeda ei saa. Essees kirjeldab ta seadmeid, millega saab selles virtuaalses maailmas objektidele osutada ning neid mõjutada. Selline kirjeldus meenutab tänapäevaseid VR seadmeid.

Esimesed tavakasutajale mõeldud VR seadmed tekkisid turule 1990ndatel, mil kaks mängukonsoolide tootjat (Nintendo ja Sega) hakkasid nende toodetud konsoolidega ühilduvaid VR peaseadmeid arendama. Sega arendatud Sega VR (vt Pilt 1) meenutas rohkem tänapäevast VR peaseadet, suutes jälgida pea liikumist väliste kaamerate⁴. Nintendo peaseade sisaldas endas tervet uut konsooli ning kandis nime Virtual Boy, mis kasutas stereoskoopilist pildi esitusviisi [2]. Mõlemat peaseadet oli ebameeldiv kasutada, näiteks oli Virtual Boy

² <https://www.investopedia.com/terms/v/virtual-reality.asp> (23.02.2021)

³ <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/history.html> (24.02.2021)

⁴ <https://www.designnews.com/electronics-test/story-sega-vr-segas-failed-virtual-reality-headset> (24.02.2020)

kasutusjuhendis toodud välja hoiatused, et seadme kasutamine võib väsitada silmi ning tekitada peavalusid ja peapööritust [3]. Sega VR kohta tuli arenduse jooksul tehtud katsetuste käigus samuti tagasisidet, et seade tekitab halba enesetunnet ning peapööritust⁵. Sega VR ei jõudnud kunagi turule ning Nintendo Virtual Boy (vt Pilt 2) müüginumbrid olid madalad, seega olid mõlemad seadmed läbikukkumised.



Pilt 1. Sega VR⁶.



Pilt 2. Nintendo Virtual Boy⁷.

Pärast Sega ning Nintendo üritusi luua tavakasutajale mõeldud VR peaseade ei tehtud selles valdkonnas erilisi edasiminekuid enne tänapäevaste VR seadmete arenduse algust. Järgmises peatükis kirjeldatakse esimesi tänapäevaseid VR peaseadmeid ning nende populaarsemaks muutumist tavakasutajate seas.

2.2 Tänapäeva turg

Ühed esimesed laialdaselt kättesaadavad VR seadmed olid Oculus Rift ning HTC Vive⁸. Oculus Rifti arendus algas 2012. aastal ning toode jõudis turule 2016. aastal⁹. Samal aastal jõudis turule ka HTC Vive, mille arendus algas samuti 2012. aastal¹⁰. Mõlemad seadmed osutusid suhteliselt

⁵ <https://www.designnews.com/electronics-test/story-sega-vr-segas-failed-virtual-reality-headset> (05.04.2021)

⁶ <https://www.wired.com/story/sega-vr-headset-video-game-preservation> (14.03.2021)

⁷ <https://www.techspot.com/article/1085-nintendo-virtual-boy> (14.03.2021)

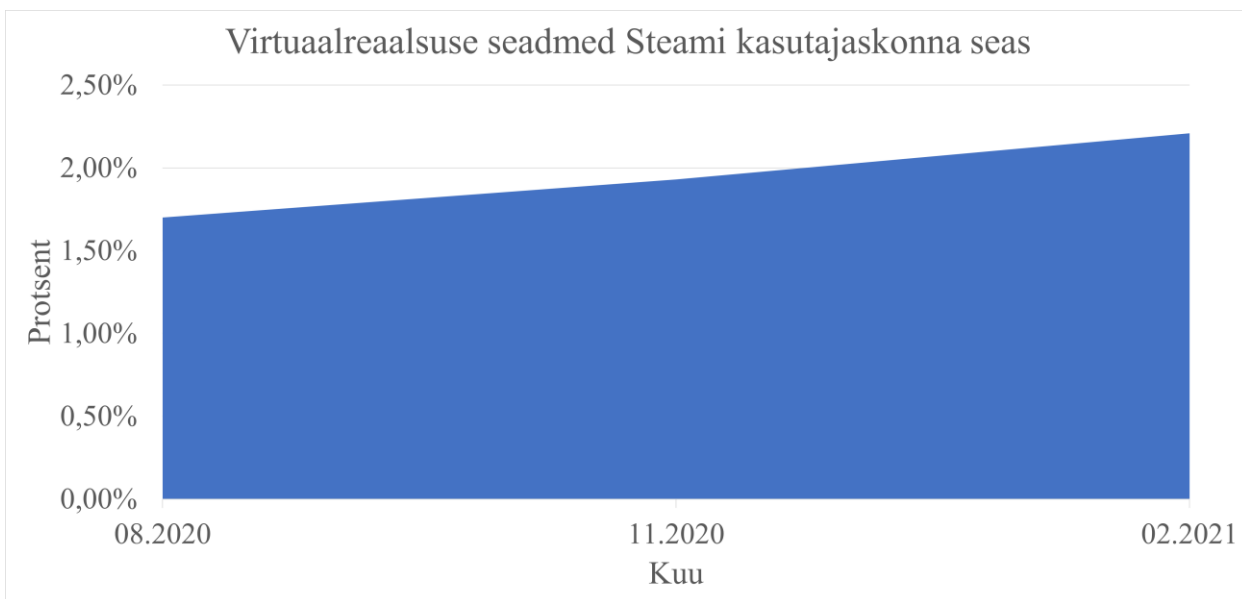
⁸ https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_virtual_reality_headsets (24.02.2021)

⁹ <https://riftinfo.com/oculus-rift-history-how-it-all-started> (24.02.2021)

¹⁰ <https://www.engadget.com/2016-03-18-htc-vive-an-oral-history.html> (24.02.2021)

populaarseks ning pärast neid hakati arendama uuendatud ja täiustatud seadmeid. Seega võib Oculus Rifti ja HTC Vive'i nimetada „esimese generatsiooni“ VR seadmeteks.

Tänapäeval on VR seadmed saanud üha populaarsemaks. 2020. aastal müüdi üle 6 miljoni seadme. VR seadmete müüki suurendas ka koroonapandeemia, mille tõttu pidid inimesed rohkem aega kodus veetma ning sooviti proovida erinevaid koduseid meelelahutusviise¹¹. 2019. aasta lõpuks arvati olevat üle 100 VR elamuse, mis olid teeninud üle 100 miljoni dollari käivet¹². Võrdluseks, 2018. aasta märtsis arvati selliseid elamusi olevat veidi üle 50 ning sama aasta jaanuaris umbes 40. Ühe suurima digitaalse mängupoe Steam küsitluse järgi omas 2021. aasta veebruari seisuga VR seadet 2,21% nende kasutajaskonnast. 2020. aasta novembris omas sama küsitluse järgi VR seadet 1,93% kasutajaskonnast (võrreldes 2021. aasta märtsiga 0,28% vähem) ning sama aasta augustis omas VR seadet selle küsitluse järgi 1,70% kasutajatest (võrreldes 2021. aasta märtsiga 0,51% vähem)¹³.



Joonis 1. Virtuaalreaalsuse seadmed Steami kasutajaskonna seas.

Jooniselt 1 on näha, et VR seadmeid omab järjest rohkem Steami kasutajaid. Seega on ka seadmete uurimine oluline, kuna VR seadmete arv järjest kasvab ning ka elamused teenivad üha rohkem kasumit.

¹¹ <https://www.abc.org/trends/2020-in-review-virtual-reality-gets-real/7106.article> (07.03.2021)

¹² <https://www.roadtovr.com/2019-major-inflection-point-vr-heres-proof/> (07.03.2021)

¹³ <https://store.steampowered.com/hwsurvey> (07.03.2021). Varasemad tulemused leitud, külastades sama lehte läbi Wayback Machine teenuse.

2.3 Eelnevad uuringud

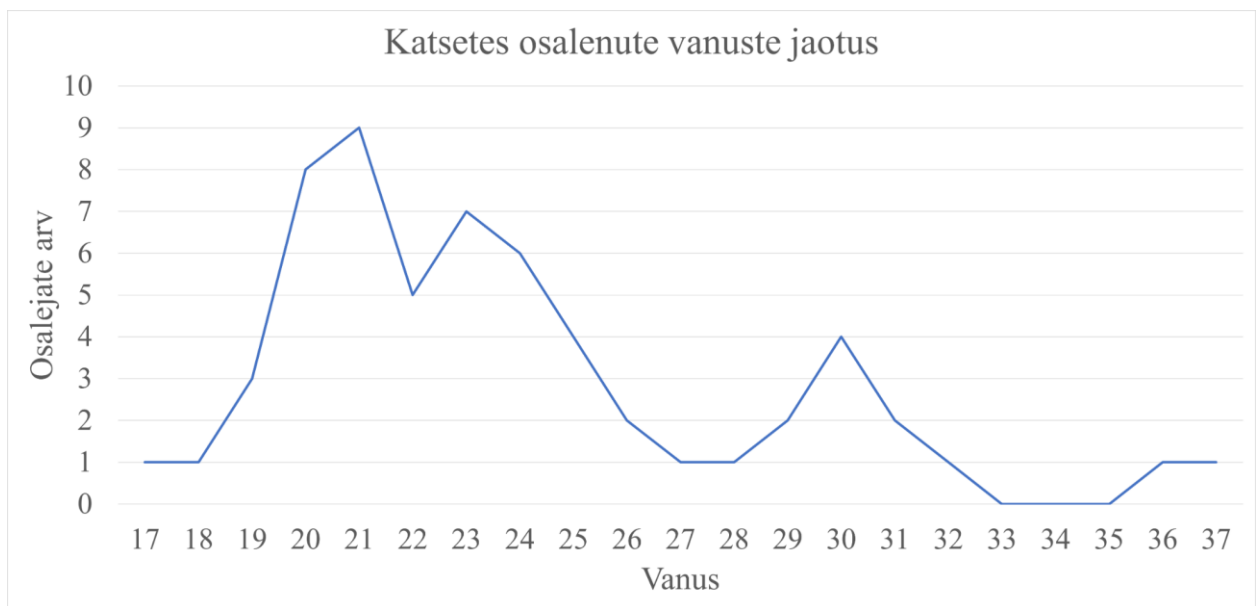
Varasemalt on peamiselt uuritud ning võrreldud Oculus Rift CV1 ning HTC Vive seadmeid, mis olid ühed esimesed tänapäevased VR seadmed [4-6]. Hiljem on aga turule tulnud ka uusi seadmeid, mille kohta võrdlusi vanemate seadmetega ei leidu [7]. Käesolevas töös koostatud võrdluses uuritakse lähemalt ühte varasemalt uuritud seadet (Oculus Rift CV1) ning kolme hiljem välja tulnud seadet (HTC Vive Pro, Oculus Quest ning Varjo VR-1). Järgnevalt kirjeldatakse lühidalt, mida leiti varasemate uuringute käigus.

Adrián Borrego jt [4] võrdlesid Oculus Rift CV1 ning HTC Vive'i, et leida, kumb suudab kasutajat suurema ala peal jälgida ning kumb teeb seda täpsemalt. Nende korraldatud katsest selgus, et HTC Vive suutis kasutajat jälgida suurema ala peal, kuid Oculus Rift oli seisumise kõrgusel täpsem ning selle seadme pilt oli rohkem stabiliseeritud. Mirko Suznjevic jt [5] võrdlesid samu peakomplekte, kuid keskendusid sellele, kui lihtne on ühe või teise peaseadmega kasutajal ülesannet täita ning kuidas segavad teised ruumis olevad seadmed peaseadme tööd. Nad leidsid, et kummagi peaseadme tööd ei häirinud ruumis olev valgus, kuid segavaks osutus samas ruumis olev infrapunakaamera. Nende korraldatud katsetest selgus, et virtuaalmaailmas erinevate suurustega kuubikute liigutamine osutus enamasti lihtsamaks ja kiiremaks HTC Vive seadmega, mida nemad seostasid peaseadme jälgimisega. Nad märkasid, et virtuaalses maailmas kuubikut liigutades keerasid osalejad end ümber, mistõttu Oculus Rifti kaamera ei suutnud enam seadet ja selle juhtpulte jälgida (vt Lisa I: Sõnastik). HTC Vive seadme puhul seda probleemi ei tekkinud, kuna seadme jälgimiseks kasutati kahte majakat (vt Lisa I: Sõnastik). Leitud tulemustest järeldasid nad, et uuematel seadmetel oleks mõistlikum kasutada ühe sensori (vt Lisa I: Sõnastik) asemel mitut sensorit.

Kirjeldatud uuringute tulemuste põhjal jälgiti ka käesolevas töös tehtud katsetes virtuaalse ruumi suurust ning Oculus Rifti puhul ka seda, kuidas sõltub seadme jälgimine osaleja positsioonist (kas ta on kaamerate poole seljaga või mitte). Selleks, et võimalikult vähe seadme jälgimist segada, olid katsete ajal sisse lülitatud olekus vaid jälgimisseadmed, mida parasjagu kasutati.

3. Katsed

Erinevate peaseadmete kasutajakogemuse uurimise jaoks tehti katseisikutevahelisi katseid 59 inimesega, kellest 25 olid naissoost ning 34 meessoost. Osalejad olid vanustes 17-37, osalejate keskmine vanus oli 23.9. Katsetes osalenute vanuste jaotus on näha jooniselt 2.



Joonis 2. Katsetes osalenute vanuste jaotus.

Osalejaid otsiti katsetesse nende eelneva VR kogemuse põhjal. Google Formsi keskkonnas koostatud küsimustiku kaudu (vt Lisa II: Failid) otsiti osalejaid, kes ei olnud enne katset üldse VR seadmeid kasutanud või olid seda saanud teha mõnel üksikul korral. Sedasi sooviti katsete käigus saada inimeste esimeste kogemuste käigus saadud tagasisidet ning mis neile koheselt seadmete puhul silma jäi ja kas miski koheselt häiris.

Katsetes osalenutest 37 olid varasemalt mõnel üksikul korral VR seadet kasutanud ning 22 osalejat said katsete käigus esimest korda VR seadet proovida.

Katsetuste jaoks valiti katseisikutevaheline meetodika, et vältida teadmiste ülekannet ühelt seadmelt teisele [8]. Seega sai iga osaleja kasutada vaid ühte võrdlusesse valitud seadet kõikide elamuste jaoks. Nii keskendus üks osaleja ainult ühele seadmele ning ta sai leida häid ning halbu külgi ainult ühe seadme kohta. Sellega taheti leida iga seadme suurimad puudused, mida märgatakse juba esimesel kokkupuutel seadmega.









Katse jooksul küsiti osalejalt parasjagu kogetu kohta tagasisidet. Osalejale ei mainitud eelnevalt, et eesmärk on riistvara (seadme ja pultide) hindamine, vaid taheti jätta mulje, et tagasisidet soovitakse hoopis kasutatud elamuste kohta.

3.1 Kasutatud riistvara

Katsetes kasutati nelja virtuaalreaalsuse peaseadet, mis olid Varjo VR-1, Oculus Rift CV1, Oculus Quest ning HTC Vive Pro. Varjo VR-1 seade on mõeldud kasutamiseks tööstusvaldkonnas. Teised seadmed on mõeldud tavakasutajatele. Varjo seade valiti katsetesse selleks, et näha, kas tööstusvaldkonna jaoks mõeldud seadmel on märgatavaid eeliseid või puudusi võrreldes tavakasutajatele mõeldud seadmetega.

Arvestades katsete metoodikat ning katseisikute vähest arvu olid seadmed valitud selliselt, et nende hinnaklass ning võimekused võiksid tulemustes välja tuua rohkem erinevusi. Täiendavalt taheti saada tulemuste põhjal parem ülevaade, kasutades seadmeid erinevate võimekuste ning hinnaklassidega.

Tabel 1. Katsetes kasutatud peaseadmed.

	Varjo VR-1 ¹⁴	Oculus Rift CV1 ¹⁵	Oculus Quest ¹⁶	HTC Vive Pro ^{17,18}
Seadme pilt				
Juhtpultide pilt				
Ekraanide resolutsioonid	Kaks 1920x1080 micro-OLED ekraani, kaks 1440x1600 AMOLED ekraani	Kaks 1080x1200 OLED ekraani	Kaks 1660x1440 OLED ekraani	Kaks 1440x1600 AMOLED ekraani
Värskendus-sagedus	60 Hz / 90 Hz	90 Hz	72 Hz	90 Hz
Seadme jälgimine	Majakad	Välised kaamerad	Sisesehitatud kaamerad	Majakad
Ühendusviisi arvutiga	Juhtmega	Juhtmega	Iseseisev (juhtmevaba)	Juhtmega / juhtmeta ¹⁹
Seadme kaal	605 g	470 g	571 g	555 g
Väljalaskeaasta	2019	2016	2019	2018
MSRP²⁰	\$6000 ²¹	\$600	\$399 ²²	\$1199 ²³

¹⁴ <https://varjo.com/products-2/vr-1/> (7.12.2020)

¹⁵ <https://developer.oculus.com/learn/oculus-device-specs/> (7.12.2020)

¹⁶ <https://developer.oculus.com/get-started/> (7.12.2020)

¹⁷ <https://www.vive.com/us/product/vive-pro-full-kit/> (20.04.2021)

¹⁸ https://www.niora.net/en/p/htc_vive_pro (7.12.2020)

¹⁹ Originaalselt on HTC Vive Pro juhtmega peaseade, kuid AGVR laboris saab seadet kasutada juhtmevabalt ametliku juhtmevaba adapteriga (<https://www.vive.com/eu/accessory/wireless-adapter/>).

²⁰ Manufacturer Suggested Retail Price ehk tootja soovituslik jaemüügihind.

²¹ Ei sisalda juhtpultide ning majakate hinda. Kaks pulti (HTC Vive Pro Controller) ning kaks majakat (SteamVR Base Station 2.0) maksavad 834 €.

²² Ei sisalda Oculus Link kaabli hinda, mida on tarvis seadme arvutiga ühendamiseks. Sobivate kaablite hinnad varieeruvad vahemikus 10-80 €.

²³ Ei sisalda juhtmevaba adapteri hinda. Adapter maksab 409 €.

Tabelis 1 on toodud seadmete olulisemad parameetrid [9-12]. Järgnevalt kirjeldatakse seadmete juhtpulte ning mõningaid tabelis toodud parameetritest.

Oculus Rift CV1 seadmega kasutati selle originaalpulse Oculus Touch Controller (vt Pilt 3). Pultidel on kolm nuppu, kaks analoogpäästikut ning üks juhtkang. Juhtpultide küljes on ka „rõngas“, mis sisaldab endas puldi jälgimiseks vajalikku riistvara. Sarnased on ka Oculus Quest'i juhtpuldid (samuti nimega Oculus Touch Controller), kuid eelnevalt mainitud „rõngas“ on nüüd üleval pool (vt Pilt 4). HTC Vive Pro seadmega kasutati seadme originaalpulse HTC Vive Pro Controller, millel on kolm nuppu, üks päästik ning üks ringikujuline puuteplaat (vt Pilt 5). Sarnaselt Oculus'i juhtpultidele on ka HTC Vive Pro Controllerite küljes „rõngas“, mis sisaldab puldi jälgimiseks vajalikke sensoreid. Kuna Varjo VR-1 komplekt ei sisalda juhtpulte, kasutati katsetes selle seadmega HTC Vive Pro Controllereid.



Pilt 3. Oculus Touch juhtpuldid (Oculus Rift). Pilt 4. Oculus Touch juhtpuldid (Oculus Quest).



Pilt 5. HTC Vive Pro Controller juhtpuldid.

Ekraanide resolutsioonid tähistavad peaseadmes kasutatavate ekraanide resolutsioone. Kuna enamikes peaseadmetes kasutatakse kahte samasugust ekraani (üht ekraani ühe silma jaoks), siis on tabelisse märgitud ühe ekraani resolutsioon. Varjo VR-1 seadmel on aga mõlema silma jaoks kaks ekraani: üks nendest on peamine (sisemine „fookusekraan“) ekraan, millel on kõrgem resolutsioon, ning teine ekraan (välimine „kontekstiekraan“) on visuaalide jaoks, mis jäävad silma vaateväljast väljapoole²⁴. Sisemisel ekraanil on värskendussagedus 60 Hz ning välimisel ekraanil 90 Hz [9].

Värskendussagedus tähistab, mitu korda sekundis ekraan pilti värskendab. Varasemalt on leitud, et see on VR kogemuse jaoks oluline. Chen Zhang [13] leidis, et virtuaalreaalsuse kogemus sõltub ka seadme värskendussagedusest. Ta leidis, et madalam värskendussagedus (alla 80 Hz) soodustab kasutajal ebameeldivate tunnete tekkimist. Kahel käesolevas töös uuritaval seadmel on ekraanide värskendussagedused alla 80 Hz (Oculus Quest värskendussagedusega 72 Hz ning Varjo VR-1 „fookusekraan“ värskendussagedusega 60 Hz). Katsete käigus taheti näha, kas madalamat värskendussagedust märgatakse.

Seadme jälgimise rida tähistab, kuidas peaseadet ning juhtpulte jälgitakse. Virtuaalreaalsuse seadmetel kasutatakse peamiselt kaht tüüpi jälgimist: väline ja sisemine jälgimine. Välise jälgimise puhul kasutatakse seadmest eraldiseisvaid jälgimisseadmeid. Erinevatel peaseadmetel võivad olla erinevad meetodid, kuidas välised seadmed neid jälgivad. Üheks välise jälgimise võimaluseks on kasutada „majakaid“, mis saadavad välja infrapunakiiri, mille püüavad sensorite abil kinni peaseade ja juhtpuldid ning selle abil positsioneeritakse need. Sellist jälgimise tüüpi kasutavad katsetes kasutatud seadmetest HTC Vive Pro ning Varjo VR-1. Teiseks võimaluseks on kasutada väliseid kaameraid, mis peaseadet ning juhtpulte jälgivad. Sellist jälgimist kasutab valitud seadmetest Oculus Rift CV1. Sisemise jälgimise puhul on peaseadmesse sisse ehitatud kaamerad, mis jälgivad seadet ja juhtpulte. Katsetesse valitud seadmetest kasutab sellist jälgimist Oculus Quest.

Peaseadme ühendusviis tähistab, kuidas seade arvutiga ühendub. Suurem osa VR seadmeid ühendub arvutiga juhtme kaudu ning juhe peab kogu kasutuse ajal olema arvutiga ühenduses. On olemas ka juhtmevabasid peaseadmeid, selles uuringus oli üheks selliseks Oculus Quest.

²⁴ <https://www.aniwaa.com/product/vr-ar/varjo-vr-1/> (03.01.2021)

Seda seadet kasutati katsetes siiski juhtmega, et seadmega oleks võimalik kasutada arvutil jooksvat tarkvara. Seadmetele on loodud ka adaptereid, millega saab neid juhtmevabalt kasutada. Uuringus kasutatav HTC Vive Pro peaseade oli arvutiga ühendatud sellise adapteri²⁵ kaudu.

3.2 Analoozne riistvara

Katsetes kasutatud peaseadmed olid kättesaadavad Tartu Ülikooli Delta hoone AGVR laboris (Arvutigraafika ja virtuaalreaalsuse labor, ruum 2007)²⁶. See oli ka üks seadme valiku põhjus, kuid neid valiti ka erinevate omaduste järgi, nt ekraanide värskendussagedus ning resolutsioon ja seadme hinnaklass. Järgnevalt tuuakse välja mõningad analoogsed virtuaalreaalsuse seadmed, mida katsetes ei kasutatud. Iga seadme kohta tuuakse ka lühike põhjendus, miks see seade katsetest välja jäi.

Oculus Quest 2 on uuem versioon katsetes kasutatud Oculus Quest seadmest. Katsetes ei kasutatud uuemat mudelit, kuna see puudus katsete planeerimise ajal AGVR laborist. Katsete käigus sooviti näha, kas madalam värskendussagedus mõjutab kasutaja kogemust. Kuna Oculus Quest 2 ekraanid töötavad värskendussagedusega 90 Hz, siis oleks olnud enamuste katsetes kasutatavate peaseadmete ekraanide värskendussagedused 90 Hz ning katsete käigus poleks saanud välja tulla ekraanide värskendussageduse olulisus.

Laboris oli olemas ka **HTC Vive**, kuid seda seadet ei kasutatud katsetes, kuna kasutati selle seadme uuendatud versiooni HTC Vive Pro. HTC Vive Prol on täiustatud ja mugavam kinnitusmehhanism koos kõlaritega. Kuna katsetes kasutati juba ühte esimese generatsiooni peaseadet (Oculus Rift CV1), siis jäi HTC Vive katsetest välja.

Oculus Rift S, mis on katsetes kasutatud Oculus Rift CV1 uuendatud versioon. Katsetes ei kasutatud seda seadet, kuna katsete planeerimise hetkel ei olnud see AGVR laboris olemas. Oculus Rift S kasutab 80 Hz värskendussagedusega ekraane, jälgimiseks kasutab Oculus Rift S

²⁵ <https://www.vive.com/eu/accessory/wireless-adapter/> (24.03.2021)

²⁶ <https://cgvr.cs.ut.ee/wp/index.php/inventory/> (8.12.2020)

seadmesse sisseehitatud kaameraid. Kuna üldjoontes on Oculus Rift S suhteliselt sarnane Oculus Questiga, mida juba katsetes kasutatakse, siis jäi Oculus Rift S katsetest välja.

PlayStation VR ei kasutatud, kuna selles uuringus on fookus peamiselt arvutiga töötavatel peaseadmetel. PlayStation VR töötab aga ainult PlayStation 4 ja PlayStation 4 Pro konsoolidega, seega seda peaseadet selles uuringus ei käsitleta. Nii saab välistada ka erinevate platvormide graafilise võimekuse erinevust.

Sellesse uuringusse olid peamiselt valitud suurimate VR seadmete tootjate seadmed. 2019. aasta turuanalüüsi järgi olid 28% tarnitud seadmetest Oculuse seadmed ning 13% tarnitud seadmetest HTC seadmed²⁷. Kõige suurem osa turust kuulus Sony seadmetele, kuid nad toodavad VR seadmeid PlayStationi platvormile. Neid VR seadmeid ei saa arvutiga kasutada, mille tõttu Sony seadmeid katsetes ei kasutatud.

3.3 Kasutatud tarkvara

Osalejad said peaseadmega mängida kahte mängu ning vaadata ühte VR filmi, kus osaleja oli justkui filmis sees. Tarkvara valiti selliselt, et katses osalejalt saaks võimalikult mitmekülgset tagasisidet. Järgnevates alapeatükkides tuuakse välja katsetes kasutatud tarkvara ning lühiselgitused iga valiku kohta.

3.3.1 Märulimäng „Half-Life: Alyx“ (Valve, 2020)

„Half-Life: Alyx“ on loopõhine mäng, kus mängija saab virtuaalses maailmas ringi liikuda [14]. Pildil 6 on näha mängu logo²⁸. Selle mängu puhul oodati, et osaleja võiks anda tagasisidet seadme ekraanide kvaliteedi kohta ning ka peaseadme enda kohta. Tagasisidet oodati ka pultide jälgimise ja ergonoomika kohta, kuna selles mängus pidi mängija erinevate tegevuste tegemiseks liigutama pulte ning vajutama pultidel erinevaid nuppe. Kuna kehvasti paigutatud nupud puldil võivad raskendada puldi kasutamist [15], siis võiks



Pilt 6. Mängu „Half-Life: Alyx“ logo.

²⁷ <https://www.t4.ai/industry/vr-headset-market-share> (14.03.2021)

²⁸ https://store.steampowered.com/app/546560/HalfLife_Alyx/ (25.04.2021)

erinevate nuppude kombinatsioonide kasutamine puldi kasutusmugavust hästi kirjeldada. Maailmas ringi liikumiseks kasutati valikut „Blink“ (vt Lisa I: Sõnastik), mille abil sai valitud kohta liikuda.

Osaleja sai seda mängu katse ajal mängida umbes 30 minutit alates mängu algusest, mille jooksul tutvus ta mängu võimalustega (nt liikumine, asjade üles korjamine). Selle aja jooksul avastas ta maailma, võttis üles erinevaid esemeid ning avas uksi. Kuna tegemist on loopõhise mänguga, siis võis osaleja soovida seda ka tulevikus mängida. Katse ajal sai osaleja mängida seda mängu alates algusest. Katse käigus ei jõudnud osaleja mängu looga väga kaugele, kuid ta sai siiski piisavalt mänguga tutvuda.

3.3.2 Muusikamäng „Audioshield“ (Dylan Fitterer, 2016)

„Audioshield“, mille logo²⁹ on pildil 7, on kiirema mängukiirusega mäng, kus mängija peab ennast valitud laulu järgi rohkem liigutama. Selle tõttu oodati osalejalt tagasisidet just pultide jälgimise kohta (kui hästi pulte jälgiti, kui mängija neid kiiresti liigutab). Kuigi selles mängus ei olnud vaja kasutada puldil olevaid nuppe, siis tagasisidet oodati ka juhtpultide ergonoomika kohta (kui mugav oli juhtpulte käes hoida). Selles mängus pidi osaleja end rohkem liigutama ning ekraanil liikusid asjad kiiremini, mille tõttu loodeti osalejatelt saada tagasisidet peaseadme värskendussageduse kohta, kuna varasemalt on leitud, et ekraani värskendussagedus on märgatavam just kiireloomulistes rakendustes [16]. Samuti oodati osalejalt kommentaare peaseadme ergonoomika (kaalu, kinnitusemehhanismi jms) kohta. Katses sai osaleja seda mängu mängida umbes 20 minutit, selle aja sees sai ta mängu mängida kolme laulu järgi.



Pilt 7. Mängu „Audioshield“ logo.

²⁹ <https://store.steampowered.com/app/412740/Audioshield/> (25.04.2021)

3.3.3 Virtuaalreaalsuse film „Henry“ (Oculus Story Studio, 2015)

„Henry“ on VR film³⁰, pildil 8 on kuvatõmmis sellest filmist³¹. See film valiti katsetesse, et osaleja ei peaks ennast palju liigutama ning ta saaks rohkem keskenduda visuaalidele ja peaseadme ekraani kvaliteedile. Osalejalt oodati tagasisidet peaseadme kvaliteedi ja mugavuse kohta (kas peaseade oli liiga raske, kas valgust „lekkis“ kasutamise ajal (vt Lisa I: Sõnastik)). Kuna filmi ajal ei olnud tarvis kasutada juhtpulte, siis selle elamuse puhul ei oodatud kasutajalt pultide kohta tagasisidet. Selle filmi pikkus on 12 minutit ning katses osaleja vaatas selle ära täispikkuses. Kuna „Henry“ on loodud vaid Oculuse seadmete jaoks, siis on see mõeldud töötama vaid Oculuse seadmetega. Selleks, et „Henryt“ vaadata ka HTC Vive Pro ning Varjo VR-1 seadmetega, kasutati Revive³² ühildustarkvara (vt Lisa I: Sõnastik), mille abil saab kasutada vaid Oculuse seadmetele mõeldud tarkvara ka teiste seadmetega. Selle tarkvaraga võisid aga tekkida ka mõningad probleemid, nt pilt võis tekkida kasutaja selja taha või näidati ekslikult, et seade asub mängualast väljaspool. Katse ajal juhendati osalejat vastavalt vajadusele ning enne „Henry“ vaatamist hoiatati teda võimalike probleemide eest.



Pilt 8. Kuvatõmmis filmist „Henry“.

3.4 Analoozne tarkvara

Üheks katsetes kasutatavaks mänguks taheti valida mäng, kus oleks võimalik rohkem maailma avastada ning vabamalt ringi liikuda. Sellised VR mängud on näiteks „The Elder Scrolls V: Skyrim VR“ ning „Fallout 4 VR“. Need mängud olid aga algselt arendatud virtuaalreaalsuse toeta ning VR toe said need alles hiljem. Katsetes kasutatud mäng „Half-Life: Alyx“ oli aga algusest peale mõeldud vaid VR mänguna. Selle tõttu otsustati katsetes kasutada algusest peale VR mänguna mõeldud mängu ning katsetest jäeti välja VR jaoks ümber tehtud mängud, kuna need ei pruugi olla piisavalt VR jaoks optimeeritud.

³⁰ <https://www.oculus.com/story-studio/films/henry/> (8.12.2020)

³¹ <https://www.oculus.com/experiences/rift/1043217179077622/> (25.04.2021)

³² <https://github.com/LibreVR/Revive> (20.04.2021)

Veel üks ainult virtuaalreaalsuses mängitav mäng on „Lone Echo“, kus mängija saab samuti vabamalt ringi liikuda ja maailma avastada. See elamus on mõeldud kasutamiseks ainult Oculuse seadmete peal, nagu ka „Henry“. Selle tõttu oleks selle mänguga pidanud samuti kasutama Revive tarkvara. Kuna juba ühe elamuse jaoks pidi seda tarkvara kasutama, siis seda mängu katsetesse ei valitud.

„Audioshieldi“ asemel oleks katsetesse sobinud ka „Beat Saber“. Mõlemad mängud on rütmimängud, kus mängija peab ennast rohkem liigutama. „Beat Saberil“ puudus kommertsliitsents, mille tõttu seda katsetesse ei valitud. Mängud olid soetatud AGVR labori poolt ning kommertsliitsents on mõeldud haridusasutustes mängude haldamiseks³³. Kommertsliitsensi puudumise tõttu valiti „Beat Saberi“ asemel katsetesse „Audioshield“.

Viimaseks kasutatavaks tarkvaraks valiti VR elamus, kus kasutaja saab istuda ning ei pea ennast liigutama. Selle jaoks oleks sobinud ka simulaator, mis simuleerib näiteks ameerika mägesid. Kuna see aga võib paljudel kasutajatel tekitada iiveldust, siis sellist elamust katsetesse ei valitud. Veel üks elamus, kus kasutaja saab istuda, on „Cairo's Tale: The Big Egg“. Katsetesse taheti aga valida elamust, mis kestab üle kümne minuti, et osaleja saaks end rohkem elamusse sisse elada. Selle elamuse kestus on umbes kaheksa minutit, mille tõttu seda katsetesse ei valitud.

3.5 Katsete meetodika

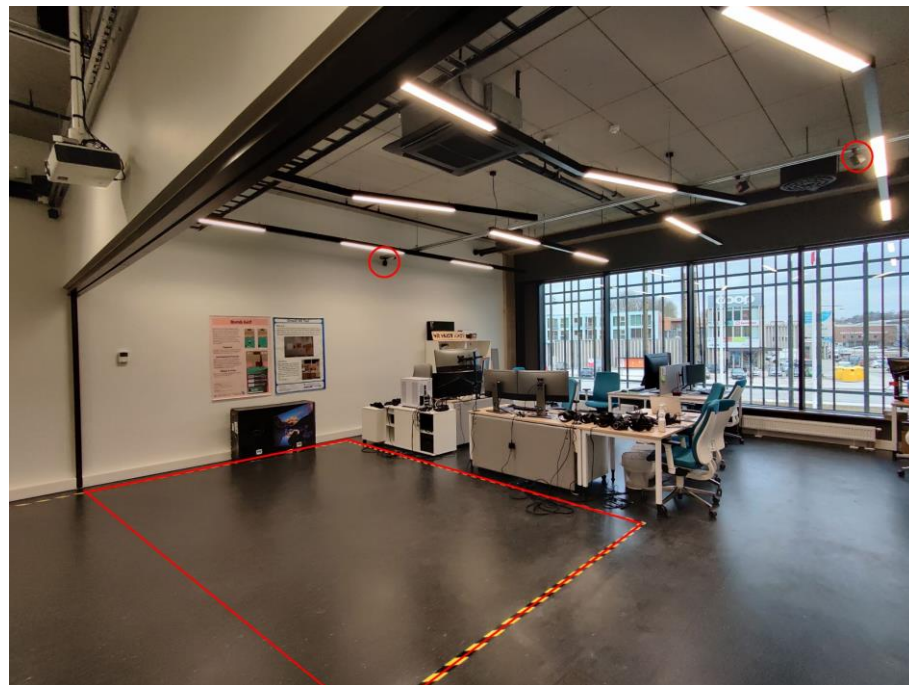
Katsed toimusid Tartus Delta õppehoones arvutigraafika ja virtuaalreaalsuse labori ruumis 2007. Katsete jaoks kasutati selles ruumis olevaid arvuteid nimega Cook ja Torrance. Nimetatud arvutid on riistvaralt identsed ning nende komponendid on järgmised:

- Protsessor: AMD Ryzen 9 3900X
- Emaplaat: Gigabyte X570 Gaming X ATX
- Mälu: Kingston Fury 3200 MHz 2x16GB DDR4
- Kõvakettad: Intel 660p 1TB ja Toshiba Sa3 X300 4TB
- Korpus: DeepCool DP-ATX-DSHIELD-V2
- Toiteplokk: Chieftec GDP-750C Gold 750W
- Videokaart: Gigabyte GeForce® RTX 2080 SUPER™ WINDFORCE OC 8G

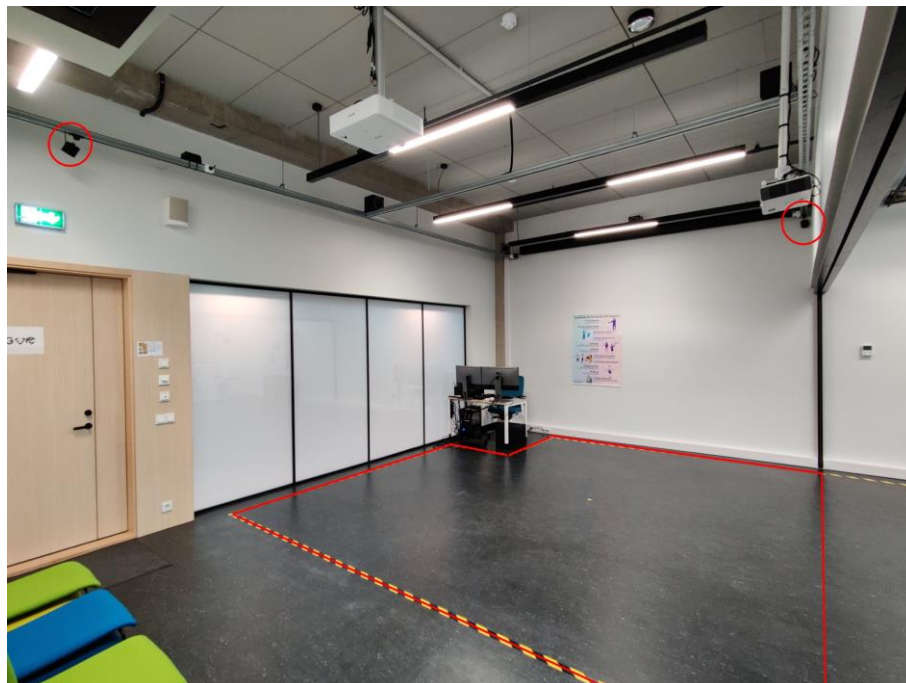
³³ <https://partner.steamgames.com/doc/sitelicence> (03.05.2021)

Oculus Rift CV1, Oculus Quest ning Varjo VR-1 seadmeid kasutati Cooki arvutiga ning HTC Vive Pro kasutati Torrance arvutiga. HTC Vive Pro jaoks kasutati erinevat arvutit, kuna selle seadme juhtmevaba signaali edastaja oli ühendatud ning seadistatud just Torrance arvutiga.

Varjo VR-1 ning HTC Vive Pro jaoks kasutati SteamVR Base Station 2.0 majakaid. Kummagi seadme jälgimiseks kasutati kahte majakat, mis olid üles seatud ruumi lakke (vt Pilt 9 ja Pilt 10). Majakate asukohad on piltidel tähistatud punase ringiga. Seadme jälgimiseks oleks võinud kasutada ka nelja sensorit, kuid kuna enamuste seadmete baaskomplektis on kaasas vaid kaks sensorit, siis otsustati kasutada ainult kahte sensorit. Oculus Rift CV1 jälgimiseks kasutati kahte Oculus Sensorit, mis olid paigutatud Cooki arvuti juurde laua peale (vt Pilt 11). Kahte sensorit oli tarvis, et saada jälgida ka juhtpulte, ning sellega loodeti saavutada parem peaseadme jälgimine. Ühe sensoriga jälgimisel tekkis varasema uuringu käigus probleeme, kui kasutaja sensorile selja keeras [5]. Seega eeldati, et kahe sensori kasutamisel võiks ka jälgimise täpsus paraneda.



Pilt 9. Mänguala ja majakate asukohad Cooki arvuti juures.



Pilt 10. Mänguala ja majakate asukohad Torrance arvuti juures.



Pilt 11. Oculus Rift CV1 sensorid Cooki arvuti juures.

Cooki arvutiga kasutatavatel seadmetel oli mänguala suuruseks umbes $4,85 \text{ m} \times 3,30 \text{ m}$ (vt Pilt 9) ning Torrance arvutiga kasutatavatel seadmetel umbes $4,85 \text{ m} \times 4,60 \text{ m}$, millest oli välja lõigatud umbes $1,40 \text{ m} \times 1,10 \text{ m}$ suurune osa (vt Pilt 10). Mõlemal puhul on pildil mänguala tähistatud punase joonega.

Enne katsega alustamist paluti osalejal täita katse küsimustiku (vt Lisa II: Failid) esimene lehekülg. Seal paluti tal vastata kuuele küsimusele, mille seas olid küsimused tema vanuse, praeguse väsimuse, praeguse meeleolu ning tema varasema 3D mängude kogemuse kohta. Pärast seda tutvustati katses kasutatavaid elamusi ning eeldatavat igale elamusele kuluvat aega. Siis sai osaleja peaseadet pähe proovida ning seda enda jaoks mugavalt sättida.

Kui osaleja oli peaseadme mugavusega rahul, siis anti talle puldid ning käivitati esimene elamus, milleks oli „Half-Life: Alyx“. Mängu alguses sai osaleja tutvuda ringi liikumisega ning talle tuletati meelde, et ta saab ka füüsiliselt ringi liikuda, kuid mitte väga kaugele. Vajadusel juhendati osalejat, kui ta ei osanud mängus edasi tegutseda, kui ta sattus mänguala äärde või kui tekkisid muud probleemid. Osaleja mängis mängu alates mängu algusest (vt Pilt 12) kuni esimese peatüki lõpuni (vt Pilt 13) või kuni ta oli saanud mängu mängida umbes 30 minutit.



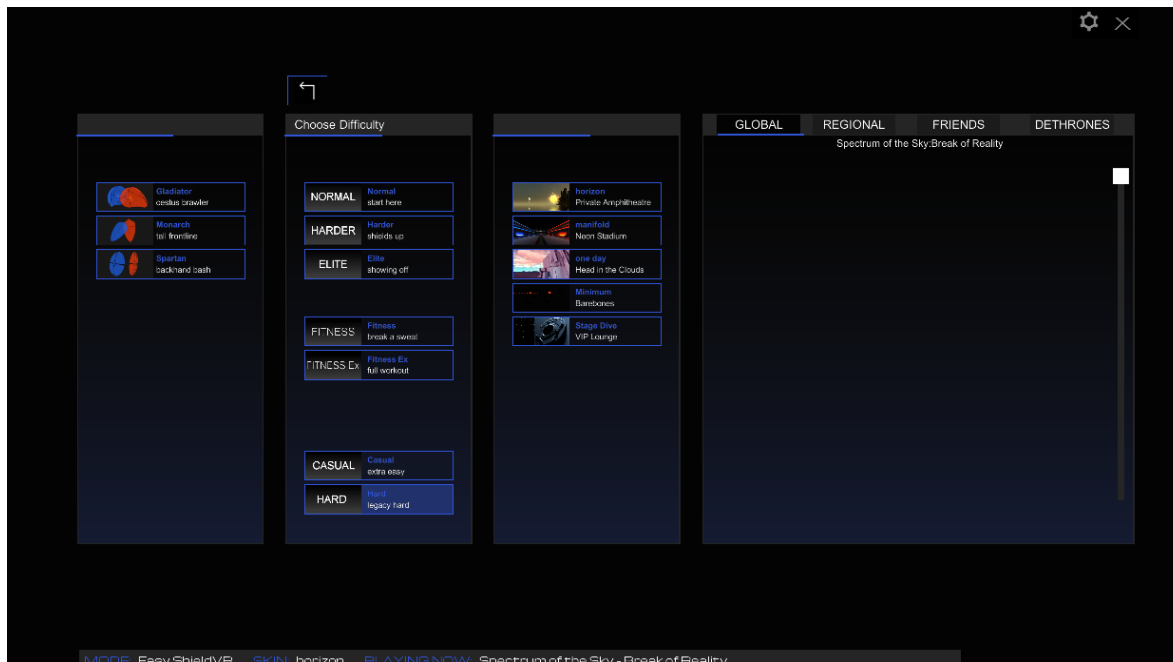
Pilt 12. „Half-Life: Alyxi“ alguspunkt.



Pilt 13. „Half-Life: Alyxi“ lõpp-punkt.

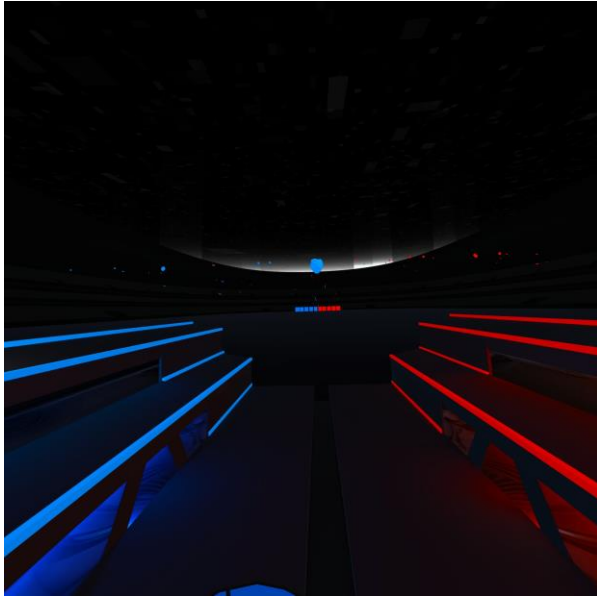
Seejärel paluti osalejal juhendamise abiga mängust väljuda. Pärast „Half-Life: Alyxi“ mängimist võttis osaleja seadme peast ära ning täitis küsimustiku selle mängu kohta käiva lehekülje.

Seejärel pani osaleja seadme uuesti pähe ning arvutist avati järgmine mäng, milleks oli „Audioshield“. Teda juhendati laulude ning muude sätete valikul, mis on näha pildil 14.

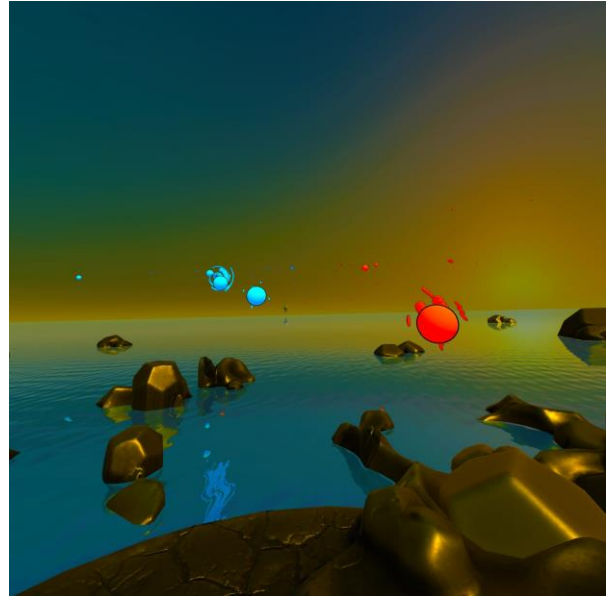


Pilt 14. Mängu „Audioshield“ sätted pärast laulu valimist.

Selles mängus kasutatakse mängumehaanikana (vt Lisa I: Sõnastik) erinevate kujudega kilpe. Enne mängimise alustamist saab kilpide vahel valida. Kõikide laulude puhul paluti osalejal valida kilpideks „Gladiator“. Esimeseks lauluks paluti tal valida Break of Reality – „Spectrum of the Sky“, raskusastmeks kõige lihtsam (ingl „Casual“) ning taustaks „manifold“ (vt Pilt 15). Järgmiseks lauluks paluti tal valida _ensnare_ – „The Score Attack“, raskusastmeks kõige lihtsam ja taustaks „horizon“ (vt Pilt 16). Viimaseks lauluks paluti osalejal valida Hamster Alliance – „Explosive Heat Death“, raskusastmeks tavaline (ingl „Normal“) ning taustaks „horizon“. Pärast selle mängimist paluti osalejal mängust väljuda ning tal paluti täita küsimustiku selle mängu kohta käiv lehekülj. Pärast küsimustiku täitmist toodi mängualale tool ning osalejal paluti istuda ning seejärel peaseade uuesti pähe panna.



Pilt 15. Taust „manifold“.



Pilt 16. Taust „horizon“.

Kui osaleja oli valmis, käivitati arvutist „Henry“. Kui osaleja kasutas HTC Vive Pro või Varjo VR-1 seadet, hoiatati teda võimalike Revive tarkvara tõttu tekkivate vigade eest – osalejal paluti ennast toolil keerata, kui ta peaks kuulma heli, kuid ei näe umbes kolme sekundi jooksul pilti. Toolil keeramine lahendas probleemi, kui pilt tekkis osaleja selja taha. „Henry“ lõppedes lubati osalejal lõputiitrite ajal peaseade peast ära võtta ning tal paluti lõpetada küsimustik. Pärast küsimustiku lõpetamist tänati osalejat osalemast ning vastati tekkinud küsimustele.

3.6 Osalejate tagasiside katsetele

Üldiselt oli osalejate tagasiside katsetele positiivne. Mitu osalejat tõid tagasisides välja, et neile meeldis saadud kogemus ning ka elamuste valik. Veel toodi välja, et katse käigus selgitati osalejale kõike hästi ning vajadusel abistati osalejat. Kuigi mõnel juhul kirjeldati katse lõpuks silmade väsimust, jäädi üldiselt katse pikkusega rahule. Tagasisides soovitati enne katsega alustamist veidi kauem tutvustada juhtpulte ning selgitada mängu kontrollskeemi. See tuleks kindlasti kasuks arvutimängudega mitte tuttavatele inimestele. Lisaks soovitati küsimustikku mõnel juhul põhjalikumaks teha. Mõni osaleja tundis puudust rohkematest valikutest heli kohta käivate küsimuste juures.

4. Võrdlus

Katsete käigus koguti andmeid osalejate kasutajakogemuse kohta. Andmeid koguti iga elamuse kohta eraldi, välja arvatud andmed heli kohta, millele andis osaleja hinnangu pärast kõikide elamuste kogemist. Andmeid koguti Google Formsis tehtud küsimustiku kaudu (vt Lisa II: Failid). Enamustele küsimustele paluti osalejalt vastata skaalal 0-5. Vabas vormis sai kirjeldada seda, mis osalejale elamuse juures meeldis ning mis teda häiris. Kogutud andmete põhjal leiti katsetes kasutatud seadmete erinevusi ning nende põhjal koostati võrdlus. Järgmises alapeatükis kirjeldatakse andmete analüüsimise testi valiku põhjendusi ning sellele järgnevat alapeatükkides kirjeldatakse katsete käigus saadud tulemusi.

Katseisikutevaheliste katsete läbiviimisel on oht, et saadud tulemused on mingit moodi kallutatud, nt satuvad halvas meeleolus inimesed katsetama Oculus Questi seadet, mille tõttu võib see seade saada teistest halvemaid tulemusi. Selle vältimiseks paluti osalejatel enne alustamist täita küsimustiku esimene lehekülg, kus olid küsimused osaleja vanuse, väsimuse, meeleolu ja varasema 3D mängude kogemuse kohta. Saadud vastuste põhjal valiti osalejale seade nii, et seadmete vahel ei tekiks kallutatust. Tulemused on näha tabelis 2.

Tabel 2. Eelküsitluse tulemused ning tasakaal.

Kategooria / Seade	Oculus Quest	Oculus Rift CV1	HTC Vive Pro	Varjo VR-1	Tasakaal (var)
Vanus	24,3	23,7	24,6	22,9	0,56
Väsimus	3,6	3,4	3,64	3,53	0,01
Meeleolu	4,33	4,27	4,21	4,4	0,01
3D mängude kogemus	1,8	2,2	1,71	1,87	0,05
Osalejate arv	15	15	14	15	0,25

Iga kategooria (v.a vanus ja osalejate arv) loeti tasakaalust väljas olevaks, kui kategooria variatsioon oli üle 0,1. Vanuse ning osalejate arvu puhul oli see piir 1. Eelküsitlestest saadud tulemuste põhjal on kõikide kategooriate variatsioon alla lävendi, seega tulemused igas kategoorias piisaval määral tasakaalus.

4.1 Andmete analüüsimiseks testi valimine

Andmete analüüsimiseks kasutati **Kruskal-Wallise testi**³⁴. Järgnevalt kirjeldatakse mõnda alternatiivset testi, mida ühel või teisel põhjusel ei valitud. Välja tuuakse ka põhjendus, miks testi ei valitud.

T-testi üheks eelduseks on, et andmestikus on andmed kahe grupi kohta [17]. Kuna katsete käigus tekkis neli erinevat gruppi, kus iga grupp testis erinevat seadet, ei saanud t-testi andmete analüüsimiseks kasutada. Rohkema kui kahe grupi puhul, soovitatakse kasutada **ANOVA testi** [17]. Selle testi kasutamiseks peavad andmed olema normaaljaotusest või selle lähedalt³⁵. Andmeid kontrollides Kolmogorov-Smirnov normaaljaotuse testiga³⁶ selgus, et katsetest kogutud andmed ei ole normaaljaotusest, seega ei saanud ANOVA testi kasutada.

Seega valiti andmete analüüsimiseks test, mida saab kasutada rohkema, kui kahe grupi puhul, ning mille andmed ei pea olema normaaljaotusest. Kui ANOVA testi ei saa kasutada, soovitatakse kasutada **Kruskal-Wallise testi**, mis on küll nõrgem ANOVA testist, kuid Kruskal-Wallise testi kasutamiseks ei pea andmed täitma kõiki ANOVA testi nõudeid³⁷. Selle tõttu valiti Kruskal-Wallise test katsete käigus kogutud andmete analüüsiks. Selle testi puhul võeti statistilise erinevuse lävendiks $p \leq 0,05$. Kui tulemustest leiti statistiline erinevus, siis vaadeldi lähemalt selle kategooria Conoveri p-väärtusi, et leida teistest eristuv seade.

4.2 Seadmete võrdlus

Seadmete võrdlemisel võeti arvesse seadmete keskmisi hinnanguid igas kategoorias kõikide elamuste peale kokku, keskmisi hinnanguid igas kategoorias iga elamuse kohta, tulemuste

³⁴ <https://astatsa.com/KruskalWallisTest/> (16.04.2021)

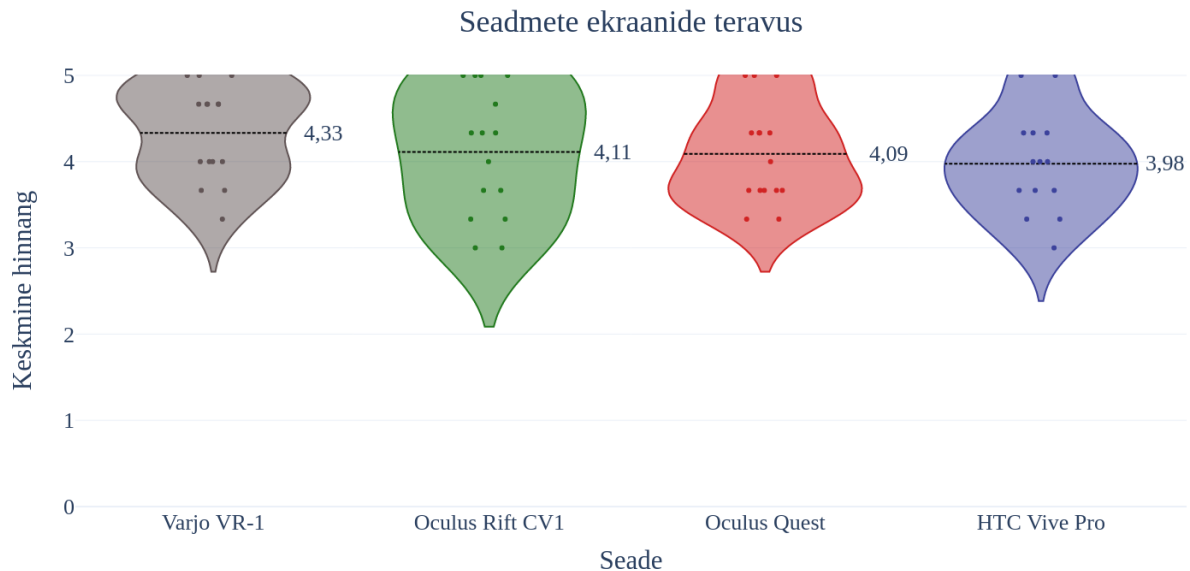
³⁵ <https://statistics.laerd.com/spss-tutorials/one-way-anova-using-spss-statistics.php> (15.04.2021)

³⁶ <https://www.socscistatistics.com/tests/kolmogorov/default.aspx> (15.04.2021)

³⁷ <https://www.statisticssolutions.com/kruskal-wallis-test/> (15.04.2021)

põhjal saadud graafikuid ning ka kõiki tulemusi eraldi. Sedasi taheti leida seadmete häid ning halbu külgi.

Keskmiselt oli **kõige teravamate ekraanidega** seade Varjo VR-1 (kolme elamuse keskmine hinnang oli 4,33). Sellele järgnesid Oculus Rift CV1 (keskmine hinnang 4,11), Oculus Quest (keskmine hinnang 4,09) ning HTC Vive Pro (keskmine hinnang 3,98).

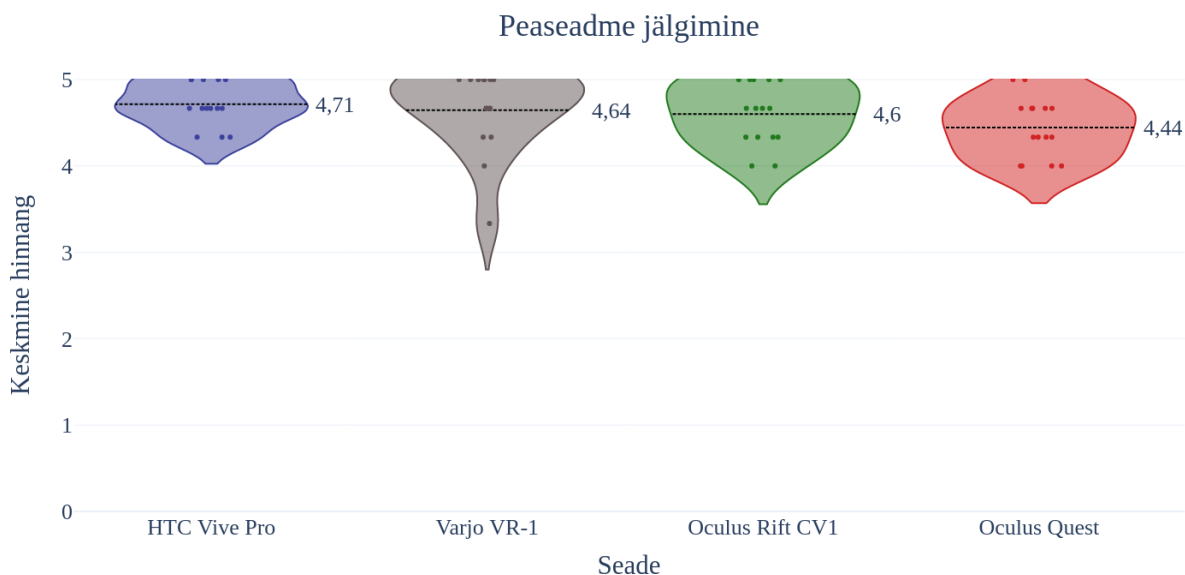


Joonis 3. Seadmete ekraanide teravus (0 - väga halb, 5 - väga hea).

Jooniselt 3 on näha, et Varjo VR-1 ekraane hinnati üldiselt teiste seadmete ekraanidest teravamaks. HTC Vive Pro ning Oculus Quest'i ekraane hinnati suhteliselt sarnasteks ning Oculus Rift CV1 ekraane hinnati suhteliselt erinevalt. Kruskal-Wallis testi põhjal statistilist erinevust nende andmete põhjal ei leitud ($p = 0,488$). Samuti ei leitud ekraanide teravuste vahel statistilist erinevust üheski elamuses eraldi („Half-Life: Alyx“ ($p = 0,301$), „Audioshield“ ($p = 0,308$), „Henry“ ($p = 0,539$)).

Varjo VR-1 puhul täheldati mõnel juhul ekraani „triibuliseks“ muutumist, mis võis olla tingitud valesti ühendamisest, halvast ühendusest või mõnest tarkvaraprobleemist. Üldjuhul jäädigi aga tulemuste ja tagasiside põhjal ekraanide teravuse ja kvaliteediga rahule.

Kõige parema jälgimisega peaseade oli keskmiste tulemuste põhjal HTC Vive Pro (keskmine hinnang 4,71), millele järgnesid Varjo VR-1 (keskmine hinnang 4,64), Oculus Rift CV1 (keskmine hinnang 4,6) ning Oculus Quest (keskmine hinnang 4,44).



Joonis 4. Peaseadme jälgimine (0 - väga ebatäpne, 5 - väga täpne).

Jooniselt 4 on näha, et üldiselt hinnati kõikide peaseadmete jälgimist suhteliselt sarnaselt. Varjo VR-1 puhul on ühel juhul antud peaseadme jälgimisele üldisest märgatavalt halvem hinnang, kuid statistilist erinevust tulemuste vahel siiski ei leitud ($p = 0,164$). „HL:A“ ning „Audioshieldi“ puhul ei leitud samuti tulemuste vahel statistilist erinevust (vastavalt $p = 0,791$ ja $p = 0,067$).

Statistiline erinevus leiti „Henry“ puhul Kruskal-Wallise testi põhjal saadud peaseadme jälgimise tulemustes ($p = 0,036$). Vaadates selle kategooria Conoveri p-väärtusi (vt Tabel 3) selgub, et HTC Vive Pro ja Varjo VR-1 erinevad Oculus Questist (vastavalt $p = 0,019$ ja $p = 0,006$), samas ei saa katsete tulemuste põhjal öelda, et need seadmed üksteisest erineks ($p = 0,723$).

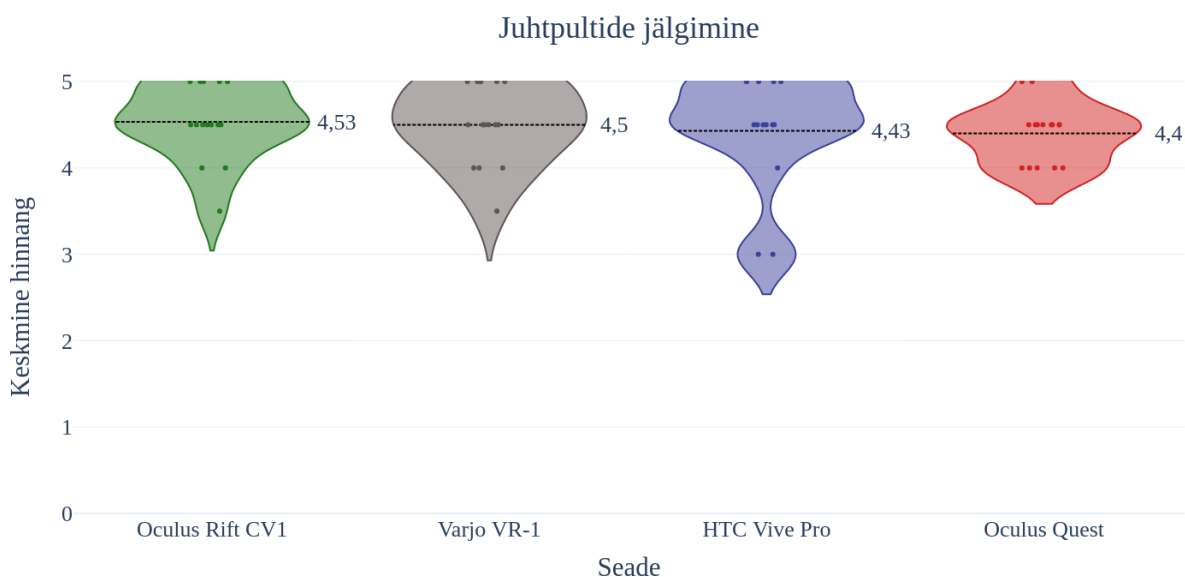
Tabel 3. Conoveri p-väärtused jälgimise kohta filmis „Henry“.

	HTC Vive Pro	Oculus Quest	Oculus Rift CV1
Oculus Quest	0,01863		
Oculus Rift CV1	0,387805	0,119435	
Varjo VR-1	0,722517	0,00647	0,216898

Tulemused võivad olla tingitud sellest, et „Henry“ on Oculususe loodud tarkvara, mis on mõeldud töötama ainult Oculususe seadmetega. Katsetes kasutati Revive tarkvara, et „Henryt“ saaks kasutada ka teiste seadmetega, kuid selle tõttu võis seadme jälgimine olla Oculus seadmetest kehvem.

Katsete ajal tekkis ka mitmel korral probleeme Oculus Rift CV1 jälgimisega. Varasema uuringu käigus selgus, et ühe sensori kasutamisel tekkisid probleemid, kui kasutaja keeras sensorile selja [5]. Kahe sensori kasutamisega loodeti seda probleemi leevendada. Siiski selgus katsete käigus, et sellest ei piisanud ning peaseadme ja juhtpultide jälgimine ei toimunud korrektselt, kui osaleja sensoritele selja pööras. Selle probleemi oleks ehk võinud lahendada kolmanda sensori kasutamine, mille oleks pidanud paigutama teiste sensorite vastu. Sellisel juhul oleks vähemalt üks sensor saanud kogu aeg seadmeid jälgida.

Pultide jälgimisel ei olnud keskmistel tulemustel väga suuri erinevusi, kõige kõrgema hinnangu sai Oculus Rift CV1 (keskmise hinnang 4,53). Sellele järgnesid Varjo VR-1 (keskmise hinnang 4,5), HTC Vive Pro (keskmise hinnang 4,43) ning Oculus Quest (keskmise hinnang 4,4).

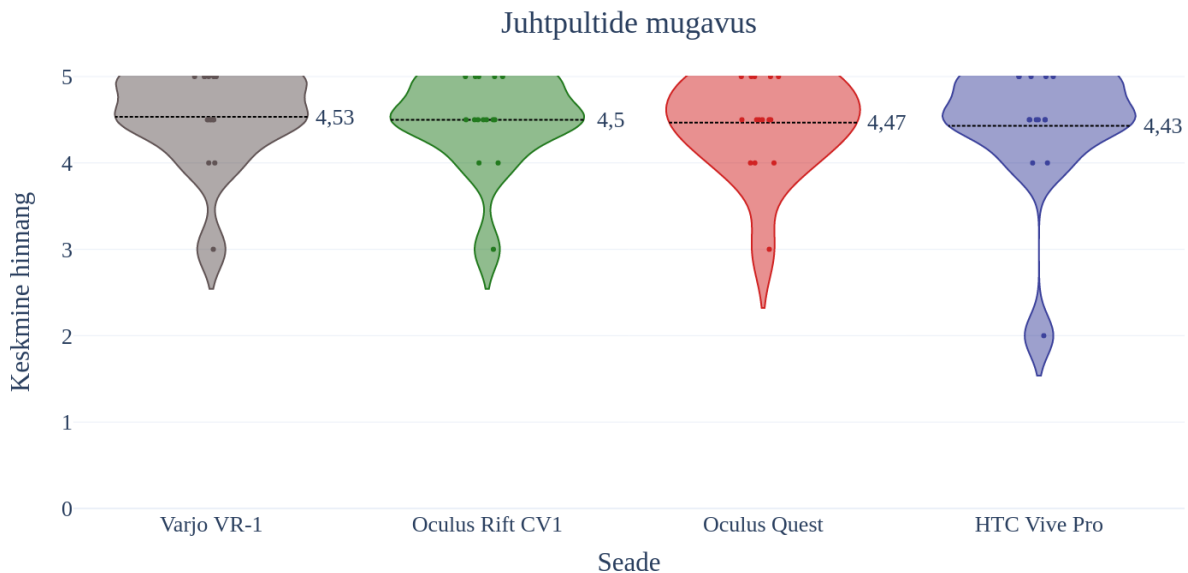


Joonis 5. Juhtpultide jälgimine (0 - väga ebatäpne, 5 - väga täpne).

Jooniselt 5 selgub, et mõnel juhul anti juhtpultide jälgimisele märgatavalt halvem hinnang, kuid üldiselt jääd juhtpultide jälgimisega rahule. Parima ja halvima keskmise hinnangu vahe oli 0,13, mis ei ole väga suur, ning tulemuste põhjal ei leitud ka statistilist erinevust ($p = 0,669$).

Erinevust ei leitud ka tulemusi eraldi vaadeldes („HL:A“ $p = 0,971$, „Audioshield“ $p = 0,109$). Kuna „Henry“ vaatamise ajal ei saanud käsi kasutada, ei küsitud selle elamuse puhul küsimusi pultide kohta.

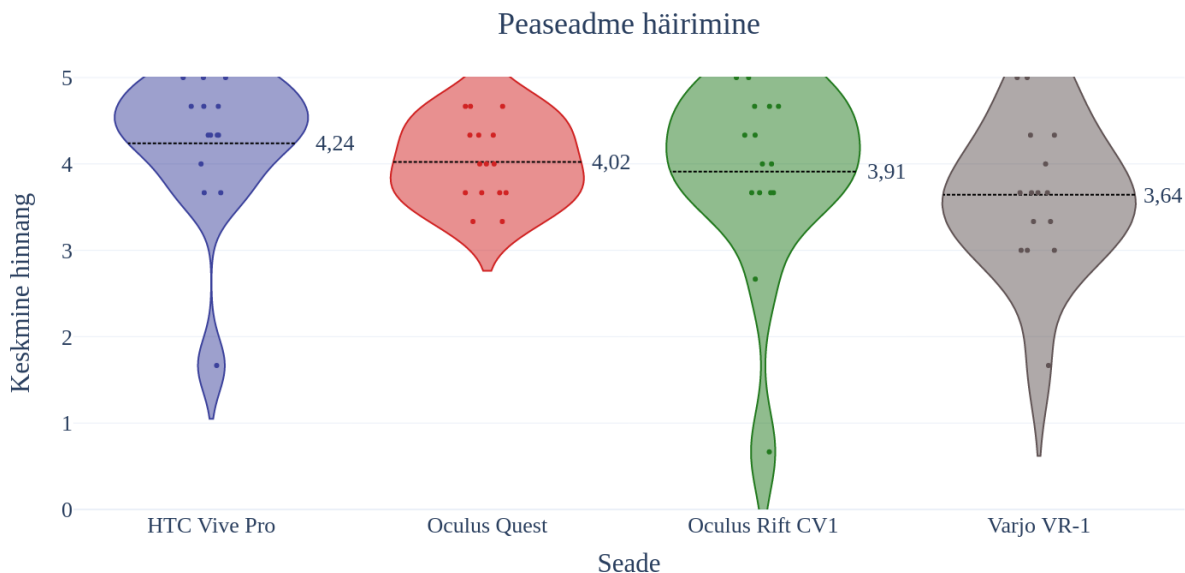
Samuti ei olnud seadmete **pultide kasutusmugavusel** suuri erinevusi. Kõige kõrgema hinnangu sai Varjo VR-1 (keskmine hinnang 4,53), sellele järgnesid Oculus Rift CV1 (keskmine hinnang 4,5), Oculus Quest (keskmine hinnang 4,47) ning HTC Vive Pro (keskmine hinnang 4,43).



Joonis 6. Juhtpultide mugavus (0 - väga ebamugav, 5 - väga mugav).

Jooniselt 6 on näha, et üldiselt hinnati juhtpultide mugavust iga seadme puhul suhteliselt sarnaselt, kuid mõnel üksikul juhul anti keskmisest halvem hinnang. Siiski ei leitud saadud tulemuste vahel Kruskal-Wallis testi põhjal statistilist erinevust ($p = 0,976$). Erinevusi ei leitud ka elamuste tulemustest („HL:A“ $p = 0,993$, „Audioshield“ $p = 0,892$). Seega oli pulte enam-vähem sama mugav kasutada ning keskmiste tulemuste põhjal saab öelda, et kasutusmugavusega jäädi üldjuhul rahule.

Kõige vähem häirivamaks peaseadmeks osutus hinnangute põhjal HTC Vive Pro (keskmine hinnang 4,24), millele järgnesid Oculus Quest (keskmine hinnang 4,02), Oculus Rift CV1 (keskmine hinnang 3,91) ja Varjo VR-1 (keskmine hinnang 3,64).

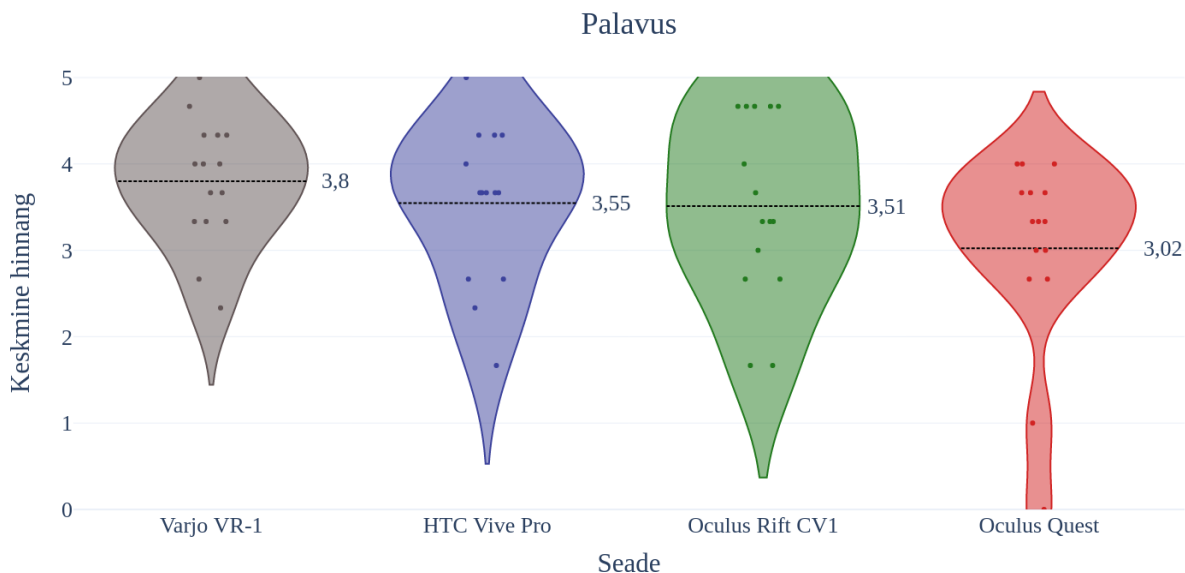


Joonis 7. Peaseadme häirimine (0 - väga palju, 5 - üldse mitte).

Jooniselt 7 on näha, et üldjuhul häirisid seadmed elamust umbes sama palju, kuid mõnel juhul anti selles kategoorias ka madalamaid hinnanguid. Kuigi kõige rohkem ja kõige vähem häiriva peaseadme tulemuste vahel on olemas märgatav vahe, ei tekkinud selles kategoorias statistilist erinevust ($p = 0,086$). Samuti ei leitud erinevusi, kui vaadata elamuste tulemusi eraldi („HL:A“ $p = 0,116$, „Audioshield“ $p = 0,133$, „Henry“ $p = 0,156$). Seega häirisid peaseadmed üldiselt elamusi samal määral ning üks peaseade teiste seast välja ei paistnud. Siiski, tagasiside põhjal väideti mitmel korral, et Varjo VR-1 seade on raske, mille tõttu oli veidi ebamugav „Audioshieldis“ kiireid liigutusi peaga teha. Varjo VR-1 seadme vaateväli (vt Lisa I: Sõnastik) on suhteliselt kitsas (87°)³⁸, mistõttu peab pead võrreldes teiste seadmetega veelgi rohkem keerama. Raskuse tõttu muudab see seadme kasutamise ebamugavamaks.

Keskliste hinnangute põhjal osutus Varjo VR-1 **kõige vähem palavaks peaseadmeks** (keskmine hinnang 3,8). Sellele järgnesid HTC Vive Pro (keskmine hinnang 3,55), Oculus Rift CV1 (keskmine hinnang 3,51) ning Oculus Quest (keskmine hinnang 3,02).

³⁸ <https://varjo.com/products-2/vr-1/> (20.04.2021)

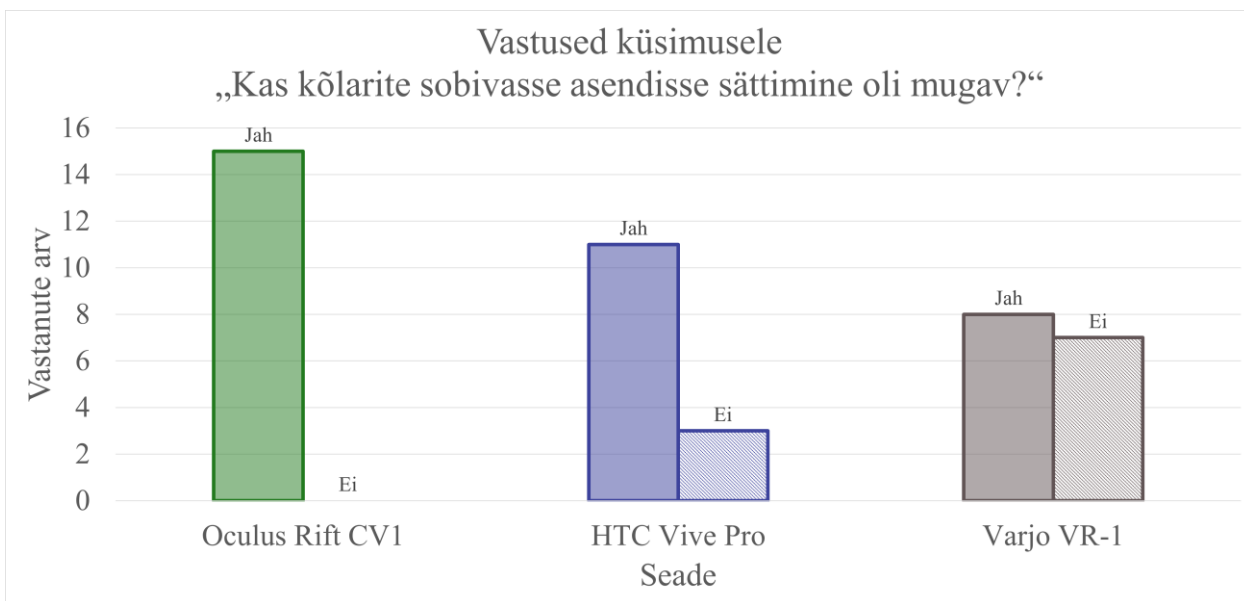


Joonis 8. Seadmete palavus (0 - väga palav, 5 - ei hakanud palav).

Jooniselt 8 selgub, et üldiselt hinnati seadmeid palavuse poolest suhteliselt sarnasteks, kuid Oculus Quest'i puhul hinnati mõnel juhul seadet väga palavaks. Mõnel juhul toodi palavuse põhjenduseks näomaski kandmine, mis oli katsete ajal pandeemia tõttu kohustuslik. Enamus vastanutest aga ei toonud tagasisides palavuse kohta piisavaid põhjendusi. Saadud tulemuste põhjal ei leitud seadmete vahel statistilist erinevust ($p = 0,242$). Vaadeldes elamuste tulemusi eraldi ei leitud samuti statistilist erinevust („HL:A“ $p = 0,473$, „Audioshield“ $p = 0,710$, „Henry“ $p = 0,095$). Seega ei olnud ükski seade teistest statistiliselt oluliselt jahedam või palavam.

Heli kvaliteediga jääd üldiselt rahule kõigi seadmete puhul. Vaid Oculus Quest'i puhul ei jäänud üks osaleja heli kvaliteediga rahule. Selle põhjenduseks toodi, et osaleja on rohkem harjunud kasutama kõrvaklappe, kuid Oculus Quest'il on kõrvaklappide asemel peaseadmesse sisseehitatud kõlarid. Siiski on võimalik ka Oculus Quest'iga kasutada eraldiseisvaid kõrvaklappe, kasutades peaseadmes olevat 3,5 mm pistikut. Teiste seadmete puhul jäid kõik osalejad heli kvaliteediga rahule.

Kõlarite sobivasse asendisse sättimisega jäid rahule kõik osalejad, kes kasutasid Oculus Rift CV1 peaseadet. HTC Vive Pro puhul jäi rahule 78,57% kasutajatest ning Varjo VR-1 puhul 53,33% kasutajatest.



Joonis 9. Kõlarite sättimise mugavus.

Jooniselt 9 on näha, et Oculus Rift CV1 kõlarite sättimisega jäid rahule kõik osalejad, kes seda seadet kasutasid. HTC Vive Pro kõlarite sättimisega ei jäänud rahule 14st osalejast 3 ning Varjo VR-1 kõrvaklappide sättimisega ei jäänud rahule 15st osalejast 7. Rahulolematuse põhjusteks toodi, et kõrvaklapid polnud piisavalt peadligi ning need jäid peaseadme võru peale. Üks osaleja tõi tagasisides välja, et kõrvaklapid olid liiga tugevalt pea ümber ning tekitasid pärast lühiajalist kasutamist valu.

Nendest tulemustest leiti ka statistiline erinevus ($p = 0,011$). Conoveri p-väärtusi vaadates (vt Tabel 4) selgub, et Varjo VR-1 erineb suuresti Oculus Rift CV1-st ($p = 0,002$), kuid HTC Vive Proga statistilist erinevust ei leitud ($p = 0,086$).

Tabel 4. Conoveri p-väärtused kõlarite sättimise kohta.

	HTC Vive Pro	Oculus Rift CV1
Oculus Rift CV1	0,142278	
Varjo VR-1	0,085505	0,001919

Nende tulemuste põhjal saab väita, et Varjo VR-1 erines Oculus Rift CV1-st. Varjo VR-1 seadmega kasutati eraldiseisvaid kõrvaklappe Audio-Technica ATH-M50x. Selle peaseadme peavõru on suhteliselt jäme, mistõttu need kõrvaklapid asetsesid pooleldi võru peal (vt Pilt 17). Selle tõttu ei olnud nende kandmine väga mugav ning seda toodi välja ka tagasisides. Mõnel juhul kirjeldati, et kõrvaklapid libisesid ära ning neid pidi mitmel korral uuesti paika sättima. Kõige enam toodi välja seda, et kõrvaklapid ei olnud peaseadme tõttu piisavalt peadligi, mis tekitas ebamugavust.

Selle probleemi üheks võimalikuks lahenduseks oleks kõrvasiseste klappide kasutamine, mis ei toetuks võru peale. Ühiskasutuses poleks aga hügieeni tõttu kõrvasiseste klappide kasutamine mõistlik. Samuti on inimeste kõrvade kujud erinevad, mille tõttu ei sobiks ühed kõrvasisesed klappid kõigile kasutajatele.



Pilt 17. Kõrvaklappide kandmine Varjo VR-1 seadmega.

4.3 Järeldused

Katsete käigus kogutud andmete ning tagasiside põhjal osutus kõige segavamaks Varjo VR-1 kõrvaklappidega kasutamine. Pea kõik osalejad, kes kasutasid Varjo VR-1 seadet, kurtsid seadmega kasutatavate kõrvaklappide üle. Mitmel korral väideti, et neid ei ole mugav peas kanda ning need ei püsi hästi peas, mis oli probleemiks just „Audioshieldi“ mängimisel, kus osaleja pidi ennast kiiremini liigutama. Teistel seadmetel oli heli edastamise võimalus ehitatud peaseadme sisse kas kõrvaklappide või kõlarite näol. Siiski tuleks seadmete puhul tähele panna, mil määral saab sisseehitatud kõrvaklappe kõrva juurde sättida. Kasuks tuleb ka eraldiseisev kõrvaklapipesa, mis laiendab heli edastamise valikuid ning laseb kasutajal valida enda jaoks sobivaima meetodi heli kuulamiseks.

Katsete käigus loodeti, et osalejad märkavad Oculus Quest'i madalama värskendussagedusega ekraane. Selgus, et seda märkas vaid üks osaleja ning ka tema meelest ei teinud see tema kasutuskogemust halvemaks. Siiski on varasemates uuringutes leitud, et ekraanide madalam värskendussagedus võib rohkem tekitada halba enesetunnet seadme kasutamisel, kuid

käesolevas uuringus seda ei täheldatud. Katsete tagasisides tõi vaid üks osaleja välja, et tal tekkis kasutamise ajal peapööritus. See osaleja kasutas Varjo VR-1 seadet, mille sisemiste ekraanide värskendussagedused on 60 Hz. Kuigi see võis olla peapöörituse tekke põhjus, ei saa seda tulemuste põhjal kindlalt väita. Siiski oleks soovituslik valida seade, mille ekraanide värskendussagedus oleks vähemalt 80 Hz, kuna see vähendab halva enesetunde tekkimise tõenäosust VR kasutamise ajal [13].

Katsete käigus kurdeti mitmel korral ka seadme vaatevälja üle, peamiselt „Audioshieldis“. Selles mängu eesmärk oli korrektselt tabada palle, mis ei tulnud alati otse eest, vaid ka vasakult ja paremalt poolt. Mitu Varjo VR-1 kasutanud osalejat kirjeldas, kuidas nad pidid selle mängu mängimise ajal peaga väga palju keerama ning nad oleks soovinud rohkem külje peale näha. Seega tuleks vaadata ka seadme vaatevälja, kuna liialt kitsas vaateväli võib elamust negatiivselt mõjutada.

Katsetustest saadud tulemustest selgus, et lisatarkvara kasutamine tarkvara jooksutamiseks võib mõjutada seadme jälgimist. Katsetes kasutati filmi „Henry“, mis on Oculuse tarkvara ning töötab vaid Oculuse seadmetega. Selleks, et seda filmi vaadata ka teiste seadmetega, kasutati Revive tarkvara. Nende seadmete jälgimiste tulemused selle filmi vaatamise ajal olid aga halvemad, kui Oculuse seadmetel. Võib oletada, et see oli tingitud Revive tarkvara kasutamisest. Seega tuleks ka läbi mõelda kasutatav tarkvara, mida peaseadmega plaanitakse kasutada. Tarkvaraga, mis pole originaalselt mõeldud peaseadmega kasutamiseks ning mida jooksutatakse läbi ühilduskihi, võib tekkida probleeme. See võib negatiivselt mõjutada seadme kasutamist.

Mängude puhul tuleks läbi mõelda ka see, kas mängus on tarvis füüsiliselt ringi liikuda või mitte. „Half-Life: Alyxi“ puhul pidi mitmel korral Oculus Rift CV1 kasutanud osalejatele ütleva, et nad ennast ümber keeraksid, kuna nad olid keeranud sensoritele selja. Sellisel juhul ei saanud kaamerad peaseadet ning juhtpulte jälgida ja selle tulemusena ei toiminud seadme jälgimine hästi, näiteks käed ei liikunud naturaalselt ja peaseadme pilt hakkis. Selliseid probleeme tekkis ainult „Half-Life: Alyxi“ mängimisel. Teistes elamustes ei pidanud ennast terve kehaga liigutama ning ei tekkinud olukordi, kus kasutaja oleks kaameratele selja keeranud. Seega tuleks enne seadme kasutamist mõelda sellele, kas seadmega kavatsetakse

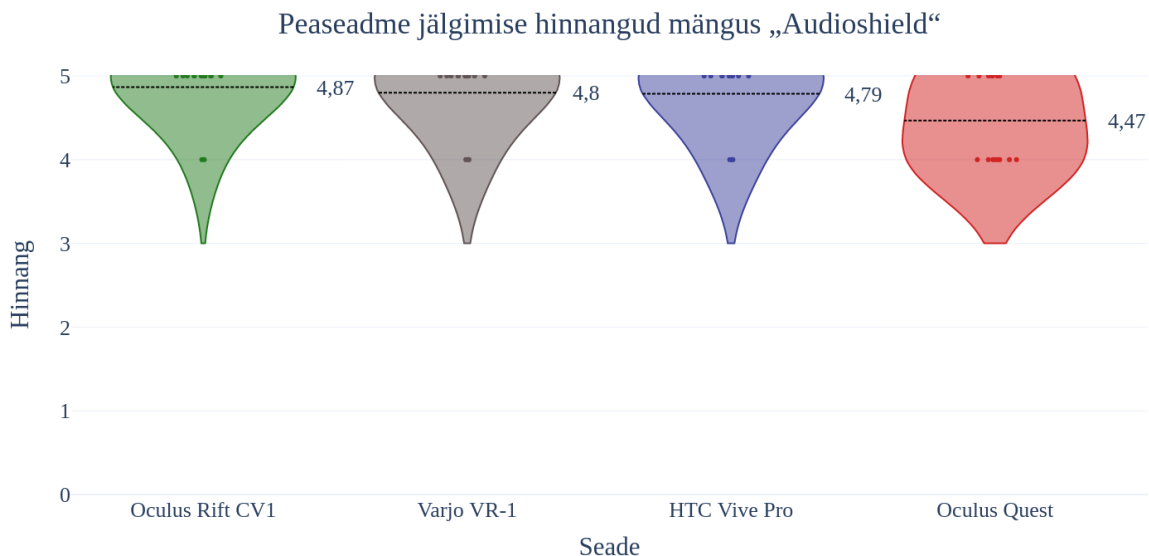
mängida mängu, kus saab ruumis füüsiliselt ringi liikuda ja/või end keerata. Vastavalt sellele tuleb kasutada lisamajakaid või -kaameraid või paremini läbi mõelda sensorite paigutus.

Kui järjestada seadmed iga kategooria keskmiste skooride summa järgi (v.a heli), hinnati kõige paremaks seadmeks Varjo VR-1, mis sai keskmiste tulemuste summaks 25,454. Ühe punkti väärtus sellel seadmel on \$235,72. Sellele järgnesid HTC Vive Pro (keskmiste tulemuste summa 25,334, ühe punkti väärtus \$47,33), Oculus Rift CV1 (keskmiste tulemuste summa 25,166, ühe punkti väärtus \$23,84) ning Oculus Quest (keskmiste tulemuste summa 24,444, ühe punkti väärtus \$16,32). Seega osutus kõige parema hinna ning kasutuskogemuse suhtega seadmeks Oculus Quest, mille ühe punkti väärtus oli kõigist katsetes kasutatud seadmetest madalaim.

4.4 Edasised uurimisvõimalused

Eelnevas peatükis toodi välja kõik olukorrad, kus sai väita, et tekkis statistiline erinevus. Selle jaoks pidi kehtima $p \leq 0,05$. Mõnel juhul tekkis aga olukord, kus ei saanud väita, et oleks olemas kindel statistiline erinevus, kuid p -väärtus oli piisavalt madal ($0,05 < p < 0,1$), et rohkemate andmete korral võiks statistiline erinevus leiduda. Järgnevalt kirjeldatakse taolisi leide.

Mängus „Audioshield“ leiti **peaseadme jälgimise** tulemuste vahel p -väärtuseks $p = 0,067$, mille põhjal võib oletada, et seadmete vahel on siiski erinevus olemas.

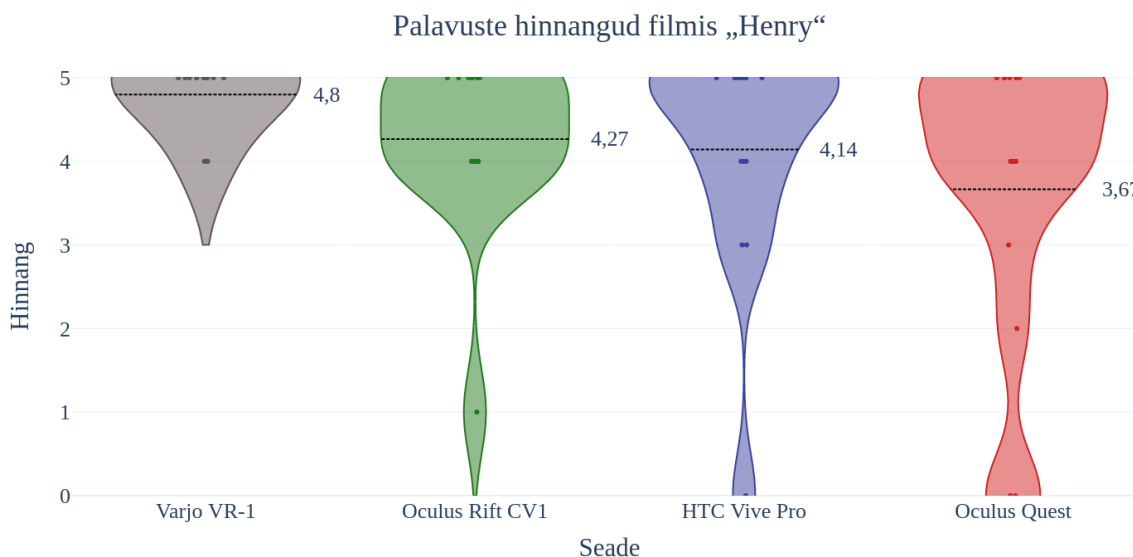


Joonis 10. Peaseadme jälgimine mängus „Audioshield“.

Vaadates tulemusi (vt Joonis 10) on näha, et Oculus Quest on saanud võrreldes teiste seadmetega rohkem madalamaid hinnanguid. Võib oletada, et see seade erineb teistest, kuid selle kindlaks väitmiseks peaks koguma rohkem andmeid.

Peaseadme häirimise tulemuste vahel leiti p -väärtuseks $p = 0,086$. Selle põhjal võib oletada, et seadmete vahel erinevus leidub. Kuna kõige kõrgema keskmise hinde ja kõige madalama keskmise hindega seadme vahel on olemas märgatav vahe (vastavalt HTC Vive Pro ja Varjo VR-1), siis võib eeldada, et erinevus tekiks nende seadmete vahel. Selle jaoks oleks aga vaja nende seadmetega rohkem katseid teha, et erinevus rohkem välja tuleks.

„Henry“ puhul saadi **peaseadmete palavuste** keskmiste tulemuste vahel p-väärtuseks $p = 0,095$. On võimalik, et ka nende tulemuste vahel on erinevus olemas.



Joonis 11. Palavuste hinnangus filmis „Henry“.

Jooniselt 11 on näha, et Varjo VR-1 on ainus seade, mille kõik palavuse hinnangud „Henry“ vaatamise ajal on olnud üle nelja. Võib oletada, et Varjo VR-1 erineb teistest seadmetest, kuid jällegi oleks selle kindlaks väitmiseks tarvis nende seadmetega rohkem katseid teha.

Kõlarite sättimise tulemuste puhul oli Conoveri p-väärtus HTC Vive Pro ning Varjo VR-1 vahel $p = 0,086$ (vt Tabel 4). Selle järgi võib oletada, et nende seadmete vahel on erinevus olemas, kuid saadud tulemuste põhjal seda kindlalt väita ei saa.

5. Kokkuvõte

Käesoleva töö eesmärk oli uurida ja võrrelda nelja kaasaegset virtuaalreaalsuse (VR) seadet, mis olid Oculus Rift CV1, Oculus Quest, HTC Vive Pro ning Varjo VR-1. Seadmed olid valitud erinevate parameetrite ning hinnaklasside järgi. Seadmete võrdluseks korraldati katsed, mille käigus taheti leida erinevusi seadmete vahel ning omadusi, mis seadmete puhul kõige rohkem elamust häirivad ja mida peaks seadme soetamisel silmas pidama.

Lühidalt tutvuti VR ajaloo ja tänapäevaste seadmetega. Kirjeldati ka turu-uuringute tulemusi, mis näitasid VR seadmete aina populaarsemaks muutumist. Sellest järeldati, et VR seadmete uurimine oleks oluline. Selle jaoks korraldatud katsetes kasutati kolme erinevat elamust, mis olid „Half-Life: Alyx“, „Audioshield“ ning „Henry“. Elamused valiti selliselt, et osaleja saaks katsetada erinevat tüüpi elamusi. „Half-Life: Alyx“ sai osaleja virtuaalset maailma avastada ning erinevaid objekte käsitleda. Selle mängu puhul oodati tagasisidet pultide mugavuse ning nende ja peaseadme jälgimise täpsuse kohta. „Audioshieldis“ pidi osaleja end rohkem liigutama ning selle mängu puhul loodeti saada tagasisidet peaseadme ja pultide jälgimise täpsuse ning ka peaseadme häirimise kohta. „Henry“ vaatamise sai osaleja keskenduda ekraani kvaliteedile ning ka tagasisidet loodeti peamiselt just selle kohta.

Katsetes osales 59 inimest ning osalejad olid valitud selliselt, et neil puuduks või oleks minimaalne VR seadmete kasutamise kogemus. Katsed korraldati katseisikutevahelisel meetodil, kus üks osaleja sai kõikide elamuste jaoks kasutada üht seadet. Selliselt puudus osalejal võimalus seadmeid omavahel võrrelda ning nii saadi osaleja esmamulje seadmest. Sedasi taheti leida seadmete peamised negatiivsed tegurid, mis kasutaja elamust mõjutavad. Osalejad jaotati katsetes kasutatud seadmete vahel nii, et iga seadme kasutaja keskmine vanus, väsimus, meeleolu ja varasem 3D mängude kogemus oleks võimalikult võrdne. Nii ei tekkinud seadmete vahel kallutatust, mis oleks võinud tulemusi mõjutada.

Katsetest saadud tulemustest tuli välja neli märkimisväärset tulemust. Esiteks leiti, et hea kasutajakogemuse jaoks on vaja läbi mõelda ka kõlarite või kõrvaklappide paigutus. Varjo VR-1 seadme puhul toodi mitmel juhul välja, et kõrvaklappide paigutamine oli ebamugav ning see häiris saadud elamust. Teiseks tuli tagasiside põhjal välja, et peaseadme vaateväli on samuti elamuse jaoks oluline. Mitu Varjo VR-1 kasutanud osalejat tõid mängu „Audioshield“ puhul

välja, et seadme väikse vaatevälja tõttu pidi pead rohkem liigutama, mis nende arvates häiris saadud elamust. Kolmandaks selgus, et ühildustarkvara kasutamine häirib peaseadme jälgimist. Film „Henry“ on loodud kasutamiseks vaid Oculuse seadmetega ning selle tõttu kasutati Revive tarkvara, et seda vaadata ka teiste seadmetega. Saadud tulemustest aga selgus, et Revive kasutatavatel seadmetel hinnati peaseadme jälgimist „Henry“ halvemaks, kui Oculuse seadmetel. Viimaseks leiti, et jälgimisseadmete paigutus ruumis on samuti oluline, kui VR seadmega tahetakse mängida mängu, kus kasutaja peab virtuaalses maailmas ringi liikuma. Oculus Rift CV1 puhul halvenes seadme ja juhtpultide jälgimine, kui osaleja keeras sensoritele selja ning osaleja pidi selle tõttu end tihti ümber keerama.

Parima hinna ning kasutuskogemuse suhtega seadmeks osutus saadud tulemuste põhjal Oculus Quest, mille ühe punkti väärtus oli katsetes vaadeldud seadmetest madalaim. Varjo VR-1 oli kõige halvema hinna ning kasutuskogemuse suhtega seade, mille ühe punkti väärtus oli katsetes vaadeldud seadmetest kõrgeim.

Leitud tulemuste põhjal selgus, et katseid võiks korrata rohkemate osalejatega, kuna mõnel juhul oli leitud p-väärtus lähedal lävendile. Rohkemate andmete puhul võiks võimalik erinevus statistiliselt kindlamini välja tulla.

Töö autor tänab kõiki katsetes osalenuid ning AGVR laborit käesolevas töös kasutatud seadmete ja katsete läbiviimise keskkonna eest.

Kasutatud kirjandus

- [1] Sutherland, Ivan E. „The Ultimate Display“. *Proceedings of the IFIP Congress*, 506-508, 1965.
<https://citeseer.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.136.3720> (24.04.2021)
- [2] Zachara, Matt ja Zagal, José P. „Challenges for success in stereo gaming: a Virtual Boy case study“. *Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE '09)*, 99-106, 2009.
<https://doi.org/10.1145/1690388.1690406>
- [3] Boyer, Steven. „A Virtual Failure: Evaluating the Success of Nintendo's Virtual Boy“. *The Velvet Light Trap*, vol. 64, 23-33, 2009. <https://doi.org/10.1353/vlt.0.0039>
- [4] Borrego, Adrián; Latorre, Jorge; Alcañiz, Mariano ja Llorens, Roberto. „Comparison of Oculus Rift and HTC Vive: Feasibility for Virtual Reality-Based Exploration, Navigation, Exergaming, and Rehabilitation“. *Games for Health Journal Volume 7 Issue 3*, 151-156, 2018. <http://doi.org/10.1089/g4h.2017.0114>
- [5] Suznjevic, Mirko; Mandurov, Matija ja Matijasevic, Maja. „Performance and QoE assessment of HTC Vive and Oculus Rift for pick-and-place tasks in VR“. *2017 Ninth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX), Erfurt*, 1-3, 2017. <http://doi.org/10.1109/QoMEX.2017.7965679>
- [6] Maraj, Crystal; Hurter, Jonathan; Ferrante, Schuyler; Horde, Lauren; Carter, Jasmine ja Murphy, Sean. „Oculus Rift Versus HTC Vive: Usability Assessment from a Teleportation Task“. *Virtual, Augmented and Mixed Reality. Multimodal Interaction. HCII 2019. Lecture Notes in Computer Science*, vol 11574, 247-257, 2019.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-21607-8_19
- [7] Mehrfard, Arian; Fotouhi, Javad; Taylor, Giacomo; Forster, Tess; Navab, Nassir ja Fuerst, Bernhard. „A Comparative Analysis of Virtual Reality Head-Mounted Display Systems“. 2019. <https://arxiv.org/abs/1912.02913> (23.04.2021)
- [8] Budi, Raluca. „Between-Subjects vs. Within-Subjects Study Design“. *Nielsen Norman Group*, 2019.
<https://www.nngroup.com/articles/between-within-subjects/> (10.04.2021)

- [9] Lang, Ben. „Varjo Launches VR-1 with Retina-quality Fixed-foveated Display & Eye-tracking, Priced at \$6,000“. *Road to VR*. 2019. <https://www.roadtovr.com/varjo-vr-1-retina-fixed-foveated-display-launch-release-date-price/> (7.12.2020)
- [10] Orland, Kyle. „The Ars Review: Oculus Rift expands PC gaming past the monitor’s edge“. *Arstechnica*, 2019. <https://arstechnica.com/gaming/2016/03/the-ars-review-oculus-rift-expands-pc-gaming-past-the-monitors-edge/> (7.12.2020)
- [11] Wong, Raymond. „Oculus Quest review: A new milestone for VR“. *Mashable*. <https://mashable.com/feature/oculus-quest-vr-review/> (7.12.2020)
- [12] Austin, Patrick Lucas. „Review: The Oculus Quest Is Virtual Reality's Best Bet Yet“. *Time*, 2019 <https://time.com/5584275/oculus-quest-review/> (7.12.2020)
- [13] Zhang, Chen. „Investigation on Motion Sickness in Virtual Reality Environment from the Perspective of User Experience“. *2020 IEEE 3rd International Conference on Information Systems and Computer Aided Education (ICISCAE), Dalian, China*, 393-396, 2020. <http://doi.org/10.1109/ICISCAE51034.2020.9236907>
- [14] Lane, Rick. „Half-Life: Alyx review – a spectacular immersive experience“. *The Guardian*, 2020. <https://www.theguardian.com/games/2020/mar/25/half-life-alyx-review-a-spectacular-immersive-experience> (8.12.2020)
- [15] Penumudi, Sai Akhil; Kuppam, Veera Aneesh; Kim, Jeong Ho ja Hwang, Jaejin. „The effects of target location on musculoskeletal load, task performance, and subjective discomfort during virtual reality interactions“. *Applied Ergonomics*, Volume 84, 103010, ISSN 0003-6870, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.103010>.
- [16] Huhti, Juho. „The Effect of High Monitor Refresh Rate on Game Experience“. Vaasa, 2019. https://osuva.uwasa.fi/bitstream/handle/10024/10196/UniVaasa_2019_Huhti_Juho.pdf (24.04.2021)
- [17] Bevans, Rebecca. „An introduction to t-tests“. *Scribbr*, 2020. <https://www.scribbr.com/statistics/t-test/> (15.04.2021)

Lisad

I. Sõnastik

1. „**Blink**“ ehk eesti keeles „**Tehishüpe**“ – Liikumisviis virtuaalreaalsuses, kus ilma reaalselt liikumata on võimalik läbida mingi teatud vahemaa³⁹.
2. **Peaseade** – Üldnimetus kõigile peas kantavatele seadmetele⁴⁰.
3. **Sensor** – Välistoimele reageeriv ja seda mõõtmiseks, infotöötluseks või automaatseadme töölepanekuks muundav seade⁴¹.
4. **Majakas** (ingl **Base Station**) – Seade, mis saadab välja nähtamatuid kiiri, mida jälgitav seade sensorite abil kinni püüab ning nende abil enda asukoha kindlaks teeb⁴².
5. **Jälgimine** – Virtuaalreaalsuse seadme asendi pidev mõõtmine, et muuta virtuaalset asendit vastavalt vajadusele⁴³.
6. **Valguse „lekkimine“** – Olukord, kus peaseadme sisse on näha valgust ümbritsevast keskkonnast, enamasti nina piirkonnast.
7. **Ühildustarkvara** – Tarkvara, mille abil saab kasutada programme, mis pole mõeldud kasutatava riistvaraga kasutamiseks.
8. **Vaateväli** – Parameeter, mis tähistab ekraani ja läätsede koostööna tekkiva virtuaalse vaatevälja ulatust⁴⁴.
9. **Mängumehaanika** – Reeglid ja tagasisideahelad, millega mängija kokku puutub⁴⁵.
10. **Stereoskoopiline pilt** – Pilt, mida on võimalik tajuda ruumiliselt⁴⁶.
11. **Juhtpult** – Sisendseade, mida kasutatakse mängudes sisendi andmiseks, enamasti liigutuste tegemiseks⁴⁷.

³⁹ Tehishüpe - <https://eevr.ee/vr-dictionary/>

⁴⁰ Peaseade - <https://eevr.ee/vr-dictionary/>

⁴¹ Sensor - <http://eki.ee/dict/qs/index.cgi?Q=sensor>

⁴² Majakas - https://xinreality.com/wiki/Base_Stations

⁴³ Jälgimine - <https://eevr.ee/vr-dictionary/>

⁴⁴ Vaateväli - <https://eevr.ee/vr-dictionary/>

⁴⁵ Mängumehaanika - <https://www.gamedesigning.org/learn/basic-game-mechanics/>

⁴⁶ Stereoskoopiline - <http://eki.ee/dict/ekss/index.cgi?Q=stereoskoopiline&F=M>

⁴⁷ Juhtpult - https://en.wikipedia.org/wiki/Game_controller

II. Failid

Kaasasolev ZIP-fail sisaldab katsetele eelnevalt kasutatud küsimustikke, katsete ajal kasutatud küsimustikku ning katsete käigus saadud tulemuste faili. Küsimustikke sisaldavates failides tähistab „Vastanu“ küsimustikule vastanut, kes katses ei osalenud, ning „Osaleja“ vastanut, kes katses osales. Kaasasoleva ZIP-faili struktuur on järgnev:

- Kaust „Eelküsitlused“ - sisaldab katsetele eelnevaid küsitlusi.
 - eelkysitlus_eng.pdf - ingliskeelne eelküsitlus.
 - eelkysitlus_eng_vastused.csv - ingliskeelse eelküsitluse vastused.
 - eelkysitlus_est.pdf - eestikeelne eelküsitlus.
 - eelkysitlus_est_vastused.csv - eestikeelse eelküsitluse vastused.
- vr_katsed_algandmed.csv - katsete käigus andmete kogumiseks kasutatud küsimustiku vastused.
- vr_katsed_kysimustik.pdf - küsimustik, mida kasutati katsete ajal andmete kogumiseks.
- vr_katsed_tulemuste_analyys.csv - katsete käigus kogutud andmete analüüs.

III. Litsents

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Peeter Paal,

1. Annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose Virtuaalreaalsuse seadmete uurimus, mille juhendaja on Raimond-Hendrik Tunnel, reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Peeter Paal

06.05.2021