

KÄYTETTÄVYYSHEURISTIikat VR-SOVELLUKSILLE

Serafia Kari

Tampereen yliopisto
Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta

Pro gradu -tutkielma

Huhtikuu 2019

TAMPEREEN YLIOPISTO, Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Informaatiotutkimus ja interaktiivinen media
KARI, SERAFIA: Käytettävyysheuristiikat VR-sovelluksille
Pro gradu -tutkielma, 113 sivua, xvii liitesivua.
Huhtikuu 2019

Virtuaalitodellisuuden (VR) ja sen järjestelmien nopea tekninen kehitys on johtanut siihen, että niiden käytön on ennustettu moninkertaistuvan lähivuosina. Tällä hetkellä VR-järjestelmän omistaminen ei ole kuitenkaan yleistä kuluttajien keskuudessa. Olennaisena syynä voidaan pitää ongelmia sovellusten käytettävyydessä, jotka saavat potentiaaliset käyttäjät välttelemään VR-sovelluksia.

Heuristinen evaluointi on menetelmä, jonka avulla erilaisten tuotteiden käytettävyyttä on helppo ja nopea testata. Menetelmä sopii myös sovelluskehityksen alkuvaiheeseen. Menetelmässä hyödynnetään heuristiikkoja, eli kriteeristöä, jonka avulla käytettävyysasiantuntija arvioi sovellusta. VR-sovelluksille tulisi muodostaa käytettävyysheuristiikat, jotta niiden käytettävyyttä olisi helppo parantaa jo kehitysvaiheessa. Sovellusten käytettävyyden parantuessa niiden käyttö yleistyisi kuluttajien keskuudessa.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, miten VR-sovellusten käytettävyyttä voidaan arvioida. Tässä eksploratiivisessa tutkimuksessa luodaan aiheeseen liittyvien suunnittelun suosituslistojen, heuristiikkojen, sekä alan kirjallisuuden pohjalta VR-sovellusten käytettävyysheuristiikat. Lisäksi tutkimuksessa arvioidaan, miten heuristinen evaluointi menetelmänä sopii VR-sovellusten järjestelmien testaamiseen ja käytettävyyden parantamiseen.

Heuristiikkoja testataan kahdessa heuristisessa asiantuntija-arvioinnissa viiden menetelmän tuntevan asiantuntijan avulla. Testauksessa hyödynnetään Think aloud -metodia sekä kyselyitä, joiden avulla saadaan tietoa testauksen aikana kohdatuista ongelmista. Asiantuntijoiden antaman palautteen perusteella muodostetaan lopulliset heuristiikat.

Testatut heuristiikat vaikuttavat tämän tutkimuksen valossa hyödylliseltä ja helppokäyttöiseltä työkalulta VR-sovellusten käytettävyyden arvioimiseen. Tutkimuksessa selvitettiin myös, mitä seikkoja on otettava huomioon käytettäessä heuristista evaluointia VR-sovellusten testauksessa jatkossa.

Avainsanat: virtuaalitodellisuus, käytettävyys, käytettävyystutkimus, heuristiikka, sovellukset

Kiitokset

Kiitos ohjaajilleni Tuomas Harviaiselle ja Janne Paavilaiselle tutkimukseni oikoluvusta sekä hyvistä neuvoista, joiden ansioista jaksoin uskoa siihen, että jotakin olen ehkä tekemässä oikein. Heidän lisäksi Reijo Savolainen, ohjaajani gradun alkuvaiheessa ansaitsee myös paikkansa tällä sivulla. Savolaisen vinkit ja huomiot gradun tutkimussuunnitelman pohjalta auttoivat minut alkuun tällä mutkittelevalla polulla. Kiitokset myös Tampereen yliopistolle Gamelab-tilan tarjoamisesta testaussessioita varten.

Kiitokset pilottitestiaajilleni Juusolle ja Sorsalle. Sorsalle vielä erityiskiitokset kansikuvasta, jonka hän jaksoi kasata päivää ennen gradun palautusta. Oikolukijani Matilda ja Shan: kiitos teille, kun jaksoitte kolata gradusuon läpi, ja huomasitte sieltä juuri ne yksityiskohdat, joille itse olin sokeutunut. Erityiskiitokset ansaitsevat tietysti myös käytettävyysasiantuntijat heuristiikkojen testauksessa: ilman teitä tätä gradua ei olisi olemassa.

Ja lopuksi kiitos teille kaikille ystäville ja perheenjäsenille, jotka jaksoitte kuulla ahdistumistani ja joka viikkoista tarinointia siitä, kuinka ”gradu on jo ihan melkein kohta valmis”. Nyt voin hyvillä mielin todeta, että valmista tuli, kaikesta huolimatta.

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO.....	1
2	VIRTUAALITODELLISUUS JA KÄYTETTÄVYYS.....	4
2.1	Virtuaalitodellisuuden määritelmä	4
2.2	Virtuaalitodellisuuden historiaa.....	8
2.3	Käytettävyys ja käytettävyystutkimus	13
2.4	Heuristinen arviointi	15
2.5	Käytettävyystutkimus ja virtuaalitodellisuus	17
3	KIRJALLISUUSKATSAUS HEURISTIikkojen POHJANA.....	19
3.1	Kirjallisuus	20
3.2	Suunnitteluohjeistukset.....	21
3.3	Heuristiikat ja kriteerit.....	22
4	VIRTUAALITODELLISUUSSOVELLUSTEN SUUNNITTELU JA KÄYTETTÄVYYDEN ARVIOINTI	25
4.1	Käyttöliittymä.....	25
4.1.1	Käyttöliittymän elementit virtuaalimaailmassa	26
4.1.2	Visuaalinen ilme	31
4.2	Vuorovaikutus	32
4.2.1	Liikkuminen	33
4.2.2	Valinta	36
4.2.3	Manipulointi	38
4.3	Immersio.....	40
4.3.1	Intensiivisyys	42
4.3.2	Eri aistit	44
4.3.3	Realistisuus.....	46
4.4	Turvallisuus	49
4.4.1	Virtuaalimaailman turvallisuus.....	51
4.4.2	Ergonomia	52
4.4.3	Käyttäjien huomioiminen	53
5	TUTKIMUSASETELMA	55
5.1	Heuristiset evaluointisessiot	56
5.2	Think aloud-menetelmä	57
5.3	Kyselyt.....	59
5.4	Heuristiikkojen testaajat	60
5.5	Testaussessioiden esivalmistelut	61
5.6	Käytetyt laitteistot ja tilat	63
6	HEURISTIikkojen TESTAUS	65
6.1	Ensimmäinen testauskierron	65
6.2	Ensimmäisen testauksen kyselyn tulokset.....	71
6.2.1	Käyttöliittymä.....	72
6.2.2	Vuorovaikutus	74
6.2.3	Immersio.....	76

6.2.4	Turvallisuus	80
6.3	Uudet heuristiikat	82
6.4	Toinen testauskierros	85
6.5	Toisen testauksen kyselyn tulokset	90
6.5.1	Evaluointiraportit.....	92
6.5.2	Heuristiikkojen kehittyminen kyselyn perusteella	95
7	POHDINTAA TESTAUKSISTA	99
7.1	Heuristinen evaluointi VR-heuristiikoilla	99
7.2	Lopulliset heuristiikat.....	100
7.3	Heuristiikkojen jatkokehitys.....	101
8	YHTEENVETO	104
9	LÄHTEET	106

LIITTEET

[Liite 1 VR-sovellusheuristiikat, ensimmäinen testiversio](#)

[Liite 2 VR-sovellusheuristiikat, toinen testiversio](#)

[Liite 3 Esimerkki evaluointiraportista](#)

[Liite 4 Lopulliset V-sovellusten käytettävyysheuristiikat](#)



1 JOHDANTO

Virtuaalitodellisuus (VR) on aiemmin ollut tavallisen käyttäjän ulottumattomissa. VR-järjestelmät ovat olleet harvinaisia muussa kuin teollisuus- ja tutkimuskäytössä kalliin hinnan sekä monimutkaisten ja vaikeakäyttöisten laitteiden vuoksi. Kuluttajille suunnatut versiot laitteista ovat kuitenkin yleistyneet viime vuosina. Erityisesti mobiililaitteiden kanssa käytettävät VR-järjestelmät ovat kuluttajien suosiossa.

Laadukkaammat VR-järjestelmät vaativat usein tehokkaan tietokoneen. Tällaiset vaativammat VR-järjestelmät eivät ole vielä laajasti käytössä kuluttajien keskuudessa. Yhtenä syynä tähän pidetään laitteistojen korkeaa hintaa. HTC Vive Pro 2.0 järjestelmä maksaa yksinään noin 1500 euroa, Oculus Rift noin 500 euroa. Tämän lisäksi järjestelmät vaativat tehokkaan, pelaamiseen tarkoitetun tietokoneen. Tämä nostaa kustannukset laajalle yleisölle usein turhan kalliiksi.

Toinen tärkeä tekijä laitteistojen yleisyyteen on itse sisältö. Laadukkaiden sovellusten kehittäminen VR-järjestelmille on keino tehdä laitteistoista kuluttajalle houkuttelevampia (Barrera, 2017). Sovelluksia on jo kehitetty huomattavan laajalle VR-laitteistojen kirjolle. Koska laitteistot poikkeavat toisistaan huomattavasti, yleisiä käytettävyyteen kohdistuvia standardeja VR-sovelluksille ei vielä ole. Standardien puuttuminen vaikeuttaa VR-

sovellusten kehittämistä. Erilaisia käytettävyyshauristiikkoja ja suunnitteluohjeistuksia liittyen virtuaalitodellisuuteen on kylläkin olemassa. Ne on usein tarkoitettu virtuaalitodellisuuden eri osa-alueille, kuten VR-peleille, tietyn tyyppisille järjestelmille tai käyttäjille. Näitä aiempia ohjeistuksia ja huristiikkoja hyödyntämällä voidaan muodostaa yhtenäiset VR-sovelluksille tarkoitettut käytettävyyshauristiikat, joiden avulla eri sovellusten käytettävyyden tutkiminen ja kehittäminen on helpompaa.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on muodostaa VR-sovelluksille niiden ominaispiirteisiin perustuvat huristiikat työkaluksi käytettävyyden arviointiin, ja selvittää, miten tätä työkalua voitaisiin hyödyntää käytännössä. VR-sovellusten alusta on erilainen verrattuna vaikkapa työpöytä- tai mobiilikäyttöliittymiin. Siksi huristiikkoja ei voi suoraan johdattaa aikaisemmista näille käyttöliittymille muodostetuista huristiikoista, vaan on hyödynnettävä alan uusinta tutkimusta. VR-teknologia on etenkin viime vuosina kehittynyt huomattavaa vauhtia, jolloin myös tutkimusta on ollut saatavilla yhä enemmän. Viimeisimpään teknologiseen kehitykseen pohjautuvaa tutkimusta hyödyntämällä saadaan rakennettua huristiikat, jotka vastaavat parhaiten tämänhetkisiin ja tuleviin VR-sovelluksiin kohdistuviin vaatimuksiin.

Tutkimus on tyyppiltään eksploratiivinen. Mitään vakiintunutta mallia uusien käytettävyyshauristiikkojen muodostamiseen ei ole, vaikkakin tutkimuksia erilaisten menetelmien kartoitukseen onkin tehty (esimerkiksi Quiñones & Rusu, 2017). Lingin ja Salvendyn mukaan (2005) huristiikkojen muodostamisessa on kaksi vaihetta: tiedon hankinta ja tiedon muuttaminen huristiikoiksi. Tässä tutkimuksessa tieto on kerätty aiemmasta virtuaalitodellisuuden käytettävyyden tutkimuksesta ja muusta kirjallisuudesta, joka esitellään kirjallisuuskatsauksena. Kirjallisuuden pohjalta esitellään neljä osa-aluetta, jotka ovat aiemmassa tutkimuksessa toistuvia teemoja. Nämä osa-alueet ovat:

- Käyttöliittymä
- Immersio
- Vuorovaikutus
- Turvallisuus

Näistä osa-alueista kerättiin olemassa olevien heuristiikkojen ja käytäntöjen listoilta erilaisia suosituksia, joiden pohjalta muodostettiin testattavat heuristiikat. Heuristiikat testattiin asiantuntija-arvioinnilla kahdessa testisessiossa.

Tämän tutkimuksen kannalta keskeiset tutkimuskysymykset ovat:

- Mitä kriteereitä kohdistuu VR-sovellusten käytettävyyteen?
- Miten VR-sovellusten käytettävyyttä voidaan arvioida heuristiikkojen avulla?

Vastausta näihin kysymyksiin lähdettiin tutkimaan kirjallisuuskatsauksella VR-sovellusten käytettävyyttä koskevalla kirjallisuudella. Tältä pohjalta muodostettiin käytettävyyshauristiikat VR-sovelluksille. Tämän jälkeen niin ensimmäiseen kuin toiseenkin kysymykseen lähdettiin kartoittamaan vastausta testaamalla heuristiikkoja käytännössä heuristisessa evaluoinnissa. Lopputuloksena syntyivät käytettävyyshauristiikat, joita voidaan käyttää VR-sovellusten kehityksessä alustasta riippumatta.

Tutkimuskysymysten kautta muodostuu tämän tutkimuksen rakenne. Luvussa 2 määritellään tutkimuksen peruskäsitteet kuten virtuaalitodellisuus, käytettävyys sekä heuristinen evaluointi. Luvussa 3 käydään läpi kirjallisuus, jota on käytetty heuristiikkojen muodostamisessa. Luvussa 4 heuristiikat käydään läpi teemoittain. Luvussa 5 esitellään tutkimusasetelma, jonka avulla heuristiikkoja testattiin. Luvussa 6 tarkastellaan heuristiikkojen testausten kulkua ja tuloksia. Luvussa 7 analysoidaan tuloksia sekä arvioidaan heuristiikkojen soveltuvuutta VR-sovellusten käytettävyyden tutkimiseen. Luvussa 8 käydään läpi tutkimuksen yhteenveto.

2 VIRTUAALITODELLISUUS JA KÄYTETTÄVYYS

Luvussa 2 määritellään tämän tutkimuksen pääkäsitteet: virtuaalitodellisuus ja käytettävyys. Luvussa 2.1 ja 2.2 kerrotaan virtuaalitodellisuudesta ja sen lähikäsitteistä sekä vesiteellään VR-järjestelmien kehityksen historiaa. Luvussa 2.3 ja 2.4 avataan käytettävyyden ja heuristisen evaluoinnin käsitteitä. Lopuksi 2.5 luvussa pohditaan käytettävyydetutkimuksen ja virtuaalitodellisuuden suhdetta toisiinsa.

2.1 Virtuaalitodellisuuden määritelmä

Populaarikulttuurista löytyy lukuisia viittauksia erilaisista virtuaalitodellisuutta hyödyntävistä laitteista, varsinkin science fictionin puolelta. Star Trek -sarjassa Holodeck on aidontuntuinen ja näköinen virtuaalitodellisuusympäristö huoneen sisälle mallinnettuna. Ready Player One -elokuvassa ihmiset käyttävät melkein enemmän aikaa virtuaalitodellisuusmaailmoissa seikkaillen kuin virtuaalilasien takaisessa maailmassa. Virtuaalitodellisuus on hyvin tuore kommunikaation väline, joka hyödyntää vanhoja medioita uudella tavalla. Keskiössä tässä ilmiössä on ihminen, kone ja näiden välinen vuorovaikutus. Tässä luvussa kerrotaan, miten virtuaalitodellisuus määritellään tässä tutkimuksessa.

Sherman ja Craig (2003) kommentoivat kirjassaan virtuaalitodellisuuden (*virtual reality*) termin ristiriitaista olemusta. Siinä missä *virtual* tarkoittaa vuoden 1989 Websterin sanakirjan vaikutusta tai olemusta ("being in essence or effect, not in fact"), joka ei ole todellista, *reality* taas merkitsee jonkun asian todellisuutta, asiaa, joka on olemassa itsenäisesti siitä koskevista ideoista. Näin ollen sanat *virtual* ja *reality* yhdessä tarkoittaisivat epätodellista todellisuutta. Kotimaisten kielten keskuksen Kielitoimiston sanakirja (2017) määrittelee termin taas seuraavasti:

Virtuaalitodellisuus tietokonesimulaation tuottamien aistimusten avulla luotu keinotekoinen ympäristö, keino-, lume-, tekotodellisuus.

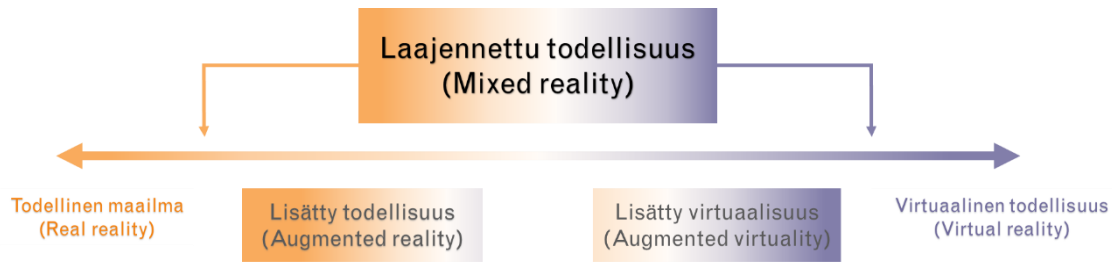
Mazuryk ja Gervautz (1999) määrittelevät virtuaalitodellisuuden historiallisessa katsauksessaan hyvin samankaltaisesti. Heidän mukaansa VR on vuorovaikutteinen ja immersiiivinen kokemus, eli se tuottaa kokemuksen läsnäolosta simuloidussa autonomisessa ympäristössä. Virtuaalitodellisuudella on myös useita rinnakkaistermejä,

joista esimerkiksi virtuaaliympäristöä, (VE, *Virtual environment*) käytetään usein tutkimuskirjallisuudessa (Mazuryk & Gervautz, 1999).

Virtuaalitodellisuudessa on siis kyse simuloidusta tai keinotekoisesta todellisuudesta. Tämä luotu keinotodellisuus on toteutettu tietokoneen ohjelmistoilla. Ihminen havaitsee keinotodellisuuden erilaisten keinotekoisien aistiärsykkeiden kautta. Aistiärsykkeet toteutetaan virtuaalitodellisuusjärjestelmällä (*virtual reality system*). Ärsykkeet voivat olla esimerkiksi näkö-, kuulo- tai tuntoaisteille tuotettuja. Joskus harvoin myös tasapaino, haju ja maku on myös huomioitu (Craig et al. 2009). Aistiärsykkeiden avulla tuotetaan siis ihmiselle kokemus läsnäolosta keinotekoisessa todellisuudessa.

Virtuaalimaailma (*virtual world*) tai keinotekoinen ympäristö (*synthetic environment*) on tällainen keinotekoinen todellisuus (Mazuryk & Gervautz, 1999). Sherman ja Craig esittävät vuoden 2003 teoksessaan, että virtuaalimaailma on olemassa itsenäisesti, vaikkakin sen kokemiseen vaaditaan esimerkiksi virtuaalitodellisuusjärjestelmä. He vertaavat virtuaalimaailmaa ja virtuaalitodellisuusjärjestelmää näytelmän käsikirjoitukseen ja toteutettuun näytelmään. Samalla tavalla, kuin tarvitaan lava ja näyttelijät, jotta näytelmä voidaan kokea, myös virtuaalitodellisuusjärjestelmä tarvitaan käyttäjän ja virtuaalimaailman välille, jotta käyttäjä voisi kokea virtuaalimaailman ympärillään.

Virtuaalitodellisuuden lisäksi on olemassa myös muita virtuaalimaailmoja hyödyntäviä teknologioita. Lisätyssä todellisuudessa, lyhennettynä AR (*augmented reality*), on kyse virtuaaliympäristön ja todellisen maailman yhdistämisestä näyttöjen, käyttäjän seuraamisen sekä muiden teknologioiden avulla (LaViola et al., 2017). Tarkoitus on lisätä todellisuuteen jotakin virtuaalista. Esimerkiksi käyttäjä voi tarkastella todellista tilaa älylaitteen kameran välityksellä niin, että laitteen näytöllä näkyy virtuaalisia elementtejä, kuten pelihahmoja. Pokemon Go -pelissä voit taistella pelihahmoja vastaan niin, että ne näyttävät olevan upotettuna todelliseen maailmaan (Paavilainen et al., 2017).



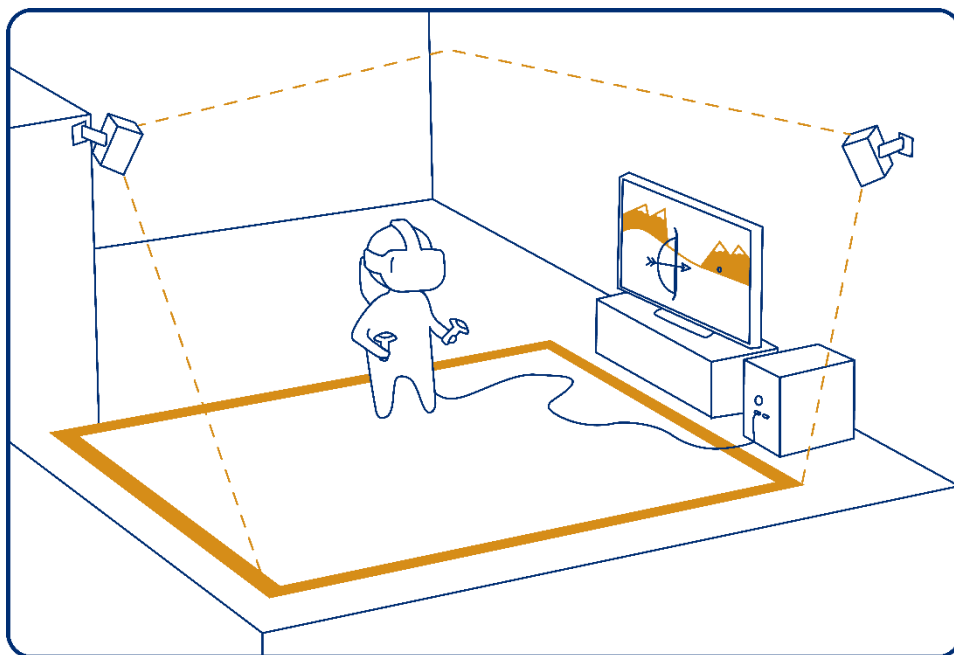
Kuva 1. Mukaelma Milgramin reality-virtuality jatkumosta (Milgram et al., 1995)

Sekä virtuaalitodellisuutta ja lisättyä todellisuutta hyödyntäviä järjestelmiä voidaan kutsua *mixed reality* (MR) järjestelmiksi, eli yhdistetyn tai laajennetun todellisuuden järjestelmiksi. MR-termiä kuvataan niin kutsutulla Milgramin reality-virtuality-jatkumona (Milgram et al., 1995), jonka ääripäinä ovat todellinen ja virtuaalinen maailma (kuva 1). Kattoterminä näille kolmelle on viimeisimpänä ilmaantunut *extended reality*, eli puhekielessä *X-reality* tai *cross-reality* (XR). Se viittaa yleisemmällä tasolla kaikkiin virtuaalisuutta ja todellisuutta yhdistäviin teknologioihin. XR ja MR termit ovat tässä mielessä rinnastettavissa toisiinsa (Mann et al., 2018).

Muita lähitermejä virtuaalitodellisuudelle ovat kyberavaruus (cyberspace) ja etäläsnäolo (telepresence) (Mazuryk & Gervautz, 1999; Craig et al., 2009). Kyberavaruus -termiä käytettiin ensimmäisen kerran Gibsonin *Neuromancer* -kirjassa vuonna 1984. Termillä viitataan yhteiseen tilaan, jossa kaksi ihmistä voivat päästä jonkin laitteen välityksellä, vaikka todellisuudessa sijaisivat kaukana toisistaan. Esimerkiksi puhelimen välityksellä kaksi ihmistä voivat päästä yhteiseen kyberavaruuteen, jossa he voivat puhua toisilleen ikään kuin olisivat toistensa lähellä (Craig et al., 2009). Termillä voidaan myös viitata esimerkiksi erilaisiin viihdejärjestelmiin ja Internetiin (Mazuryk & Gervautz, 1999).

Etäläsnäolojärjestelmät muistuttavat hyvin paljon virtuaalitodellisuusjärjestelmiä. Etäläsnäolo mahdollistaa sen, että käyttäjä voi tuntea olevansa muualla kuin missä oikeasti on. Etäläsnäolojärjestelmän avulla käyttäjä voi esimerkiksi olla mukana kokouksessa, joka järjestetään toisella puolella maailmaa. Erona VR-järjestelmään on se, että VR-järjestelmissä virtuaalimaailma on synteettinen, kun taas etäläsnäoloa varten mallinnetaan tai kuvataan oikea maailma, jonka kanssa ollaan vuorovaikutuksessa (LaViola et al., 2017; National Research Council Staff, 1994). Etäläsnäolon ja virtuaalitodellisuuden käsitteet ovatkin hyvin lähellä toisiaan.

Virtuaalimaailma voidaan kokea esimerkiksi elokuvien, pelien tai kirjallisuuden kautta (Craig et al., 2009). Tässä tutkimuksessa keskitytään nimenomaan virtuaalitodellisuusjärjestelmien, ja vielä tarkemmin *Head-Mounted Devices* (HMD), kautta koettaviin virtuaalimaailmoihin. HMD-laitteisiin kuuluvat virtuaalitodellisuuslasit, sekä usein jonkinlaiset ohjaimet ja kuulokkeet. Ohjainten avulla käyttäjä on vuorovaikutuksessa virtuaalimaailman elementtien kanssa. Käyttäjän sijainti virtuaalimaailmassa päätellään ohjainten ja VR-lasien sijainnin perusteella. Tässä saatetaan käyttää apuna niin kutsuttuja VR-majakoita, laitteita, jotka mittaavat käyttäjän ohjainten ja VR-silmikon sijaintia määrätyn alueen sisällä.



Kuva 2. VR-majakat havaitsevat käyttäjän VR-lasien ja ohjainten sijainnin.

Virtuaalitodellisuudessa on olennaista vuorovaikutus käyttäjän ja järjestelmän välillä. Järjestelmän antamien syötteiden avulla käyttäjä pystyy kommunikoimaan järjestelmän kanssa. Jerald (2016, s. 10) on esittänyt virtuaalitodellisuuden kommunikoinnin välineenä. Hänen mukaansa virtuaalitodellisuuden suunnittelussa on olennaista, kuinka virtuaalimaailma ja sen sisältämät asiat saadaan kommunikoitua käyttäjälle, niin että käyttäjä voi kontrolloida virtuaalimaailmaa. Käyttäjän ei ideaalitulanteessa tarvitsisi keskittyä kontrollointiin, vaan virtuaalimaailmaan eläytymiseen ja kokemiseen.

Kokeminen onkin toinen keskeinen osa virtuaalitodellisuuden määritelmää. Virtuaalimaailman immerssiivisyys on tärkeässä osassa VR-kokemuksessa (Mazuryk & Gervautz, 1999). Immersio tai läsnäolon kokemus (presence) on virtuaalitodellisuuskokemuksessa aivan omalla tasollaan verrattuna muihin medioihin.

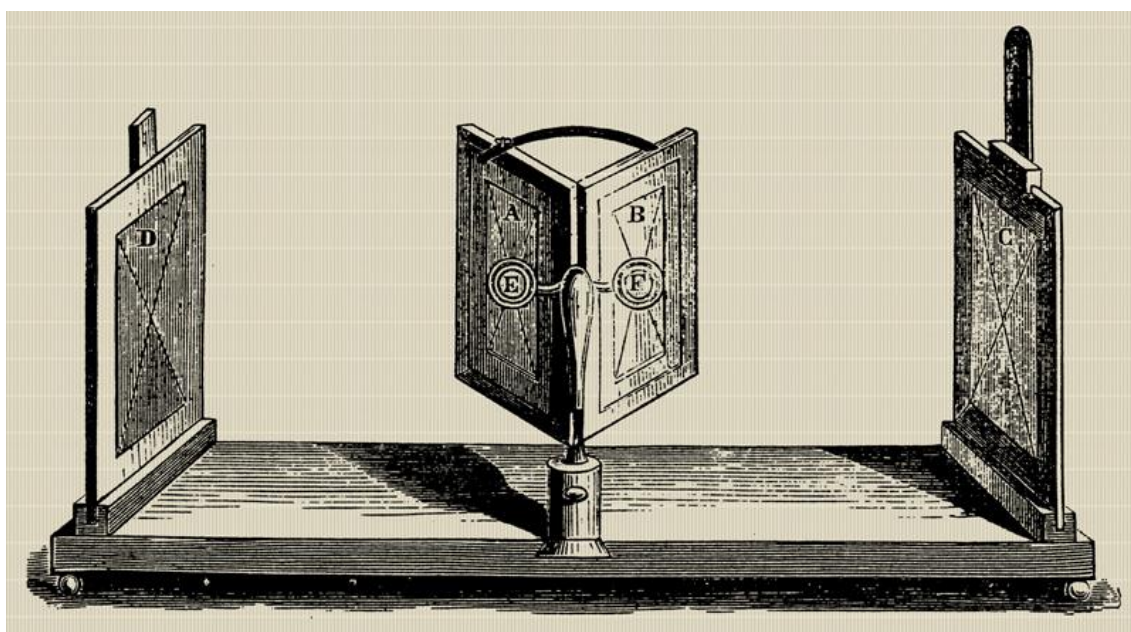
Vuorovaikutuksen ansiosta käyttäjän ei tarvitse olla vain passiivinen katsoja, kuten elokuvissa. Käyttäjä on lähes suorassa vuorovaikutuksessa kolmiulotteisen ympäristön objektien kanssa. Erona perinteiseen hiireen ja näppäimistöön, ohjaimen sijainti voidaan arvioida kolmiulotteisessa tilassa. Näin saadaan aikaan luonnollisempi ja vapaampi vuorovaikutus virtuaalimaailman ja käyttäjän välillä.

Tässä tutkimuksessa tullaan jatkossa käyttämään virtuaalitodellisuudesta sen englanninkielistä lyhennettä VR (virtual reality) yhtenäisyyden vuoksi. Sitä käytetään virallisesti huomattavasti enemmän kuin sen suomenkielistä vastinetta, VT (virtuaalitodellisuus).

2.2 Virtuaalitodellisuuden historiaa

Virtuaalitodellisuudella on taustansa yllättävän pitkällä historiassa, ja kehityksen voidaan nähdä lähteneen liikkeelle jo 1800-luvulla. Tässä luvussa kerrotaan, mitkä keksinnöt ovat johtaneet virtuaalitodellisuusjärjestelmien kehitykseen, missä järjestelmiä hyödynnetään, sekä minkä tyyppisiin järjestelmiin tämä tutkimus keskittyy.

Kolmiulotteista kuvaa tuottavien järjestelmien kehityksen voidaan nähdä alkaneen 1800-luvulta, jolloin Charles Wheatstone kehitti ensimmäisen versionsa stereoskoopista. Laite käytti peilejä, jotka oli aseteltu 45° kulmaan heijastamaan kuvia vasemmalta ja oikealta puolelta silmiä (Jerald, 2016, s. 15).



Kuva 3. Sir Charles Wheatstonen stereoskooppi vuodelta 1838. (Wikimedia Commons, 2014)



Kuva 4. Sama idea eri teknologioita hyödyntäen. Brewsterin stereoskooppi vuodelta 1870 (Nassiri 2014), View-master (Kobbaka, 2016) ja Google Cardboard.

Stereoskoopin tarkoitus on luoda illuusio kolmiulotteisesta kuvasta. Kun kummallekin silmälle näytetään oma kuvansa, joka perspektiivissä eroaa hiukan toisesta, aivot tulkitsevat kuvan kolmiulotteiseksi.

Myöhemmin stereoskoopista teki oman versionsa kaleidoskoopin keksijä David Brewster. Hänen kuluttajaystävällisempi kädessä pidettävä stereoskooppi esiteltiin maailmannäyttelyssä 1851. Brewsterin yksinkertaista konseptia voi verrata esimerkiksi 1900-luvun Viewmasterin tai nykypäivän Google Cardboardiin. Stereoskoopissa kuviin käytettiin paperia, Viewmasterissa diafilmiä ja lopulta Cardboardissa mobiilipuhelinta näyttämään kuva eri perspektiivissä kummallekin silmälle (kuva 4). (Jerald, 2016, s. 15-16)

1900-luvulle tultaessa virtuaalitodellisuuden johtavia teknologioita keksintöjä ilmaantui lisää. Edwin Link kehitti 1928 ensimmäisen lentosimulaattorin, joka oli alun perin tarkoitettu armeijan koulutuskäyttöön. Link myi ensimmäiset versionsa huvipuistoille, jonka jälkeen Britannian ilmavoimat kiinnostuivat ostamaan järjestelmiä. Myöhemmin Linkin simulaattoreita alettiin kehittää myös astronauteille ja erikoislentäjille (Jerald, 2016, s. 19). Simulaattorit ja niiden kehitys ovatkin virtuaalitodellisuusjärjestelmien taustalle.

1960-luvulla ratkaiseva askel VR-järjestelmien kehityksessä oli Ivan Sutherlandin Head-mounted display system (HMD). Järjestelmä pohjautui Sutherlandin visioon, jota hän kutsui nimellä ”The Ultimate Display” (Mazuryk & Gervautz, 1999). Kyseessä oli virtuaalitodellisuuslasit työnimellä ”Sword of Damocles”, jotka seurasivat käyttäjän pään asentoa ja sijaintia, sekä näyttivät tietokoneella tuotettua kuvamateriaalia (Jerald, 2016, s. 22).

Tämän jälkeen VR-laitteiden parissa tapahtui läpimurtoja, jotka ovat johtaneet nykypäivän laitteiden kehitykseen. Oheiseen taulukkoon (taulukko 1) on koottu VR-järjestelmien kehitykseen johtaneita erilaisia keksintöjä. Näitä ovat esimerkiksi 1970-luvulla Chapel Hillin yliopistossa North Carolinassa aloitetut Sutherlandin innoittamat VR-tutkimushankkeet (Jerald, 2016, s. 23) kuten GROPE vuonna 1971 ja UNC Walkthrough -projekti 1980-luvulla (Mazuryk & Gervautz, 1999). VPL Researchin hankkeita olivat puolestaan DataGlove vuonna 1985 ja EyePhone HMD 1988, jotka olivat ensimmäisiä vapaille markkinoille tuotettuja VR-laitteita (Mazuryk & Gervautz, 1999). Laitteistojen lisäksi yksi tutkitummista ajan VR-järjestelmistä oli CAVE (Cave Automatic Virtual Environment) virtuaalitodellisuusluola, joka kehitettiin vuonna 1992.

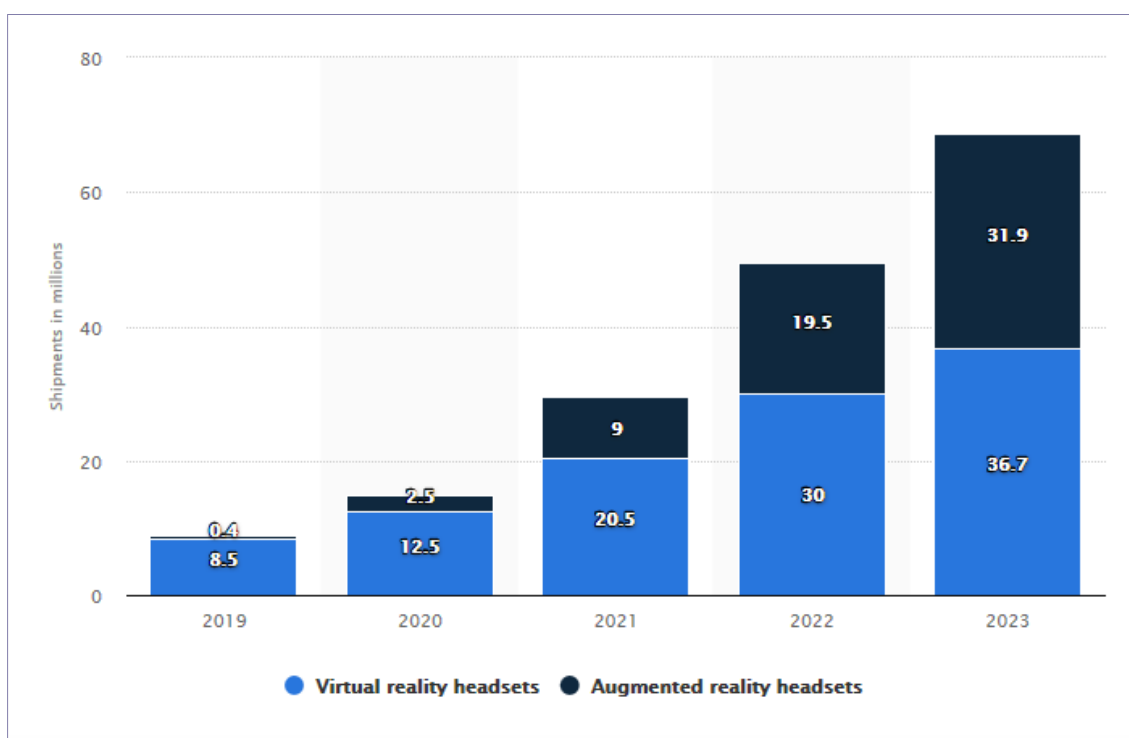
Taulukko 1. VR-järjestelmiä ja niiden kehitykseen vaikuttaneita keksintöjä.

VUOSI	LAITE	KEHITTÄJÄ
1838	Stereoskooppi	Charles Wheatstone
1851	Kannettava stereoskooppi	David Brewster
1928	Lentosimulaattori	Edwin Link
1962	Sensorama	Morton Heilig
1968	Sword of Damocles	Ivan Sutherland
1971	GROPE-projekti	Pohjois-Carolinan yliopisto
1985	DataGlove	Thomas Zimmerman, VPL Research
1986	UNC Walkthrough –projekti	Pohjois-Carolinan yliopisto
1988	EyePhone HMD	VPL Research
1989	Datasuit	VPL Research
1992	CAVE - virtuaalitodellisuusluola	Illinoisin yliopisto, Chicago
2013	Oculus Rift DK1	Palmer Luckey, Oculus VR
2016	HTC Vive	HTC, Valve
2016	Google Cardboard	Google
2016	Playstation VR	Playstation

Siinä HMD-laitteen sijasta virtuaalimaailma projektoitiin huoneen seinille. Etuna HMD-laitteisiin nähden oli laajempi näkökenttä kuin laseja käytettäessä (Mazuryk & Gervautz 1999, Cruz-Neira et al. 1992).

Virtuaalitodellisuusjärjestelmät pysyivät kuitenkin pitkään tavallisen käyttäjän ulottumattomissa. Sawyerr ja Hobbs (2014) toteavat tutkimuksessaan, että yksi syy on ollut virtuaaliympäristöjen huono käytettävyys, joka on hidastunut niiden laajaa käyttöönottoa. 1990- ja 2000-luvuilla VR-järjestelmiä valmistettiin enimmäkseen tutkimuskäyttöön, sekä teollisuuteen tietyille aloille. Virtuaalitodellisuutta voidaan esimerkiksi hyödyntää arkkitehtuurin, maisemasuunnittelun ja aluesuunnittelun aloilla (Portman, et al., 2015). Niissä virtuaalitodellisuutta voidaan käyttää visualisoinnin ja suunnittelun työkaluna. Virtuaalitodellisuutta on myös toiminut työkaluna koulutuksessa, esimerkiksi armeijan tai lääketieteen puolella (Bhagat et al. 2016, Moraes & Machado, 2014). Kyseisillä aloilla virtuaalitodellisuus tarjoaa mahdollisuuden harjoitella vaarallisia, paljon riskejä sisältäviä tilanteita turvallisesti. Samalla niitä voidaan myös käyttää oppimistuloksien arviointiin (Moraes & Machado, 2014). Lisäksi virtuaalitodellisuutta on voitu hyödyntää terapian apuvälineenä esimerkiksi lentopelon hoitamiseen (Rothbaum et al., 2000) tai kivuntunteen vähentämiseen palovammapotilailla (Amin et al. 2016).

2010-luvun alussa VR-teknologia päätyi pitkän hiljaisuuden kuluttajien ulottuville. Tähän vaikutti esimerkiksi Palmer Luckeyn kehittämä Oculus Rift-järjestelmä, sekä myöhemmin esimerkiksi HTC Viven, Google Cardboardin ja Samsungin Daydreamin tulo VR-markkinoille (The Verge, 2018). Nämä järjestelmät ovat käyttäjäystävällisiä



Kuva 5. Statistan (2019) ennuste VR- ja AR-järjestelmien myynnin määrien kasvusta.

sekä kohtuullisemman hintaisia verrattuna aikaisempiin virtuaalitodellisuusjärjestelmiin. Tulevaisuudessa VR-järjestelmien myynnin arvioidaan moninkertaistuvan. Esimerkiksi Statistan (2019) ennusteen mukaan VR-laitteiden myyntimäärien odotetaan kasvavan 8,5 miljoonasta kappaleesta jopa 36,7 miljoonaan.

Tässä tutkimuksessa keskitytään edellä mainituista järjestelmistä erityisesti HTC Viven ja Oculus Riftin kaltaisiin VR-järjestelmiin. Jerald (2016) viittaa kyseisiin järjestelmiin high-end VR-järjestelminä verrattuna niin sanottuihin casual VR-järjestelmiin. Olennaista high-end järjestelmissä on langattomien VR-lasien, ohjainten, äänijärjestelmien sekä sijainnin paikantamisen hyödyntäminen. Verrattuna mobiililaitteiden kanssa käytettäviin VR-laseihin, ne ovat paljon tehokkaampia ja näin ollen niillä on mahdollista luoda laajempia ja immersivisempiä VR-kokemuksia. Mobiilikäyttöiset VR-sovellukset ovat taas arkipäiväisempiä ja sosiaalisempia kokemuksia varten, ja niiden kanssa käytettävät laitteistot eivät vaadi kovinkaan suuria valmisteluja. (Jerald, 2016, s. 255-256)

Tutkimuksen lähtökohtana ovat erityisesti high-end järjestelmiä varten kehitetyt VR-sovellukset. Tällä rajauksella pyrittiin varmistamaan, että heuristiikkoja voi hyödyntää laajasti erilaisissa järjestelmissä, sen sijaan että keskitytään tietyn järjestelmän asettamiin



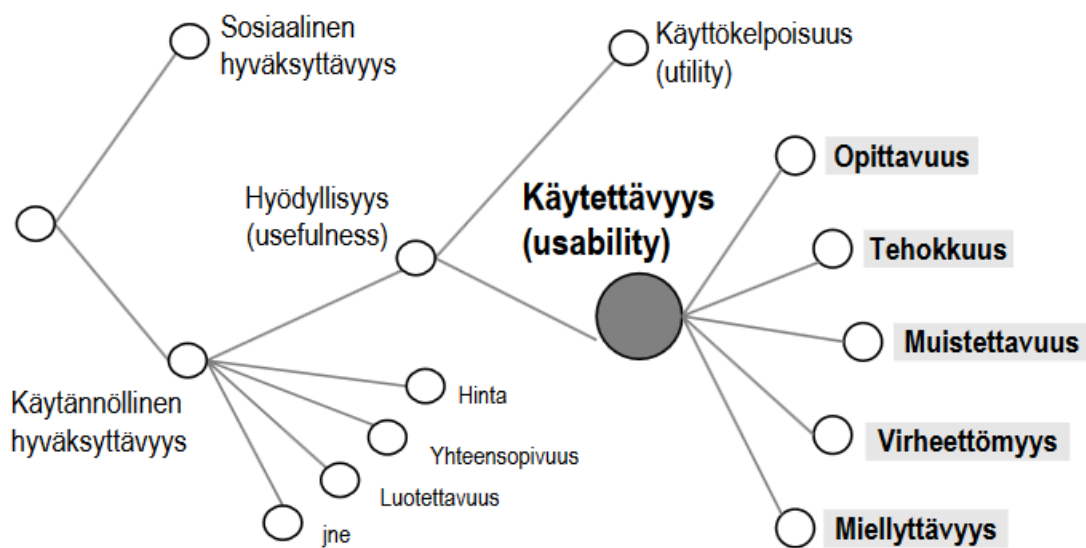
Kuva 6. Kuvassa käytössä HTC Vive VR-järjestelmä. Tutkimuksessa kehitetyt heuristiikat on suunnattu vastaavanlaisille high-end järjestelmille.

vaatimuksiin. Puhuttaessa VR-sovelluksista tarkoitetaan niin VR-pelejä kuin myös simulaatioita, koulutustarkoitukseen tarkoitettuja sovelluksia tai niin sanottuja VR-kokemuksia. VR-kokemukset eivät ole varsinaisesti pelejä, mutta ovat kuitenkin viihdekäyttöön tarkoitettuja sovelluksia. Rajauksen tarkoituksena oli, että muodostettuja käytettävyyshauristuksia voitaisiin hyödyntää mahdollisimman laajasti, vaikka ne ovatkin suunnattu tietyn tyyppisille VR-järjestelmille.

2.3 Käytettävyys ja käytettävyystutkimus

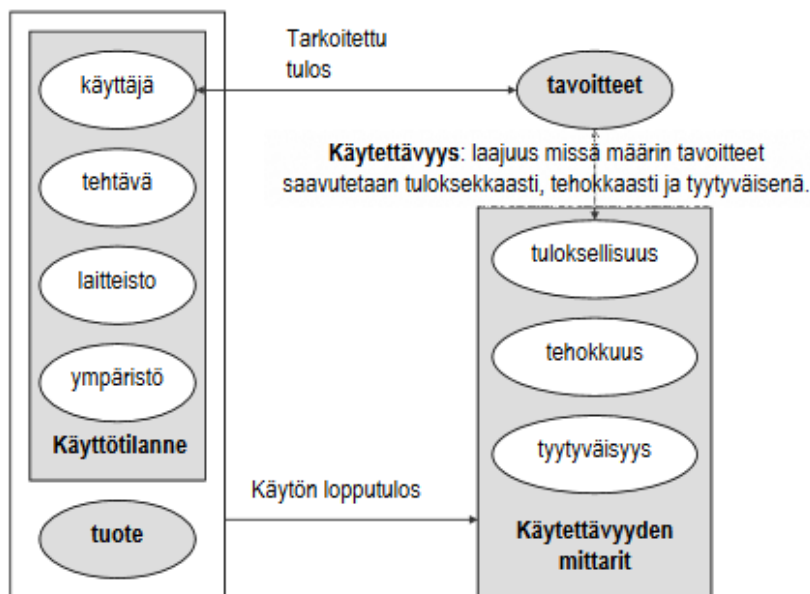
Tässä luvussa määritellään käytettävyys ja käytettävyystutkimuksen käsitteet tämän tutkimuksen kannalta. Lisäksi luvussa kerrotaan käytettävyystutkimuksen menetelmistä sekä niiden jaottelusta.

Käytettävyyden käsite on laaja-alainen ja sitä käytetään vaihtelevasti kontekstista riippuen. Käytettävyystutkimuksessa määritelmänä käytetään useimmiten Nielsenin käytettävyyden osatekijöitä (kuva 7) tai käytettävyysstandardia ISO 9241-11.



Kuva 7. Nielsenin käytettävyyden osatekijät (Ovaska & Majaranta, 2005)

Nielsenin määritelmässä käytettävyyden (usability) osatekijät jakaantuvat eri osa-alueisiin. Käytettävyyteen vaikuttaa opittavuus, tehokkuus, muistettavuus, virheettömyys sekä miellyttävyys. Lisäksi käytettävyyteen liittyy Nielsenin jaottelussa myös hyödyllisyys, joka puolestaan rakentuu kuvan mukaisesti eri osa-alueista. Kaikkia näitä osa-alueita yhdistää havainnoitavuus ja mitattavuus käytettävyytutkimuksenmenetelmien avulla. (Ovaska & Majaranta, 2005.)



Kuva 8. ISO 9241-11, mukailtu ja suomennettu alkuperäisestä kuvasta. (Ovaska & Majaranta, 2005)

ISO 9241-11 standardin mukaan tuotteen käytettävyyteen vaikuttaa, voiko käyttäjä tuloksellisesti, tehokkaasti ja käyttäjää tyydyttävällä tavalla saavuttaa tavoitteensa tuotetta käyttäessään (Ovaska & Majaranta, 2005). Standardin kontekstina toimivat näyttöpäätteet, mutta sitä voidaan käyttää muiden tuotteiden käytettävyyden arviointiin (Korvenranta, 2005).

Ovaska ja Majaranta (2005) huomauttavat, että ISO-standardin määritelmässä käyttäjän näkökulma on ratkaiseva käytettävyyden mittaamisessa. Jos käyttäjä kokee, ettei kykene tuotteen avulla vastaamaan näihin vaatimuksiin, ei tuote ole silloin käytettävä. Ovaska ja Majaranta toteavat, että kaiken ytimessä on käyttäjän tunteminen. Erilaisilla käyttäjillä on erilaiset lähtökohdat vaatimusten täyttymiseen. Myöskin käyttökonteksti vaikuttaa vaatimuksiin. Työelämässä ja vapaa-ajalla käytettävillä sovelluksilla vaatimukset

suhteutetaan eri tavoin. Mobiililaitteella ja näyttöpäätteellä käytettävillä sovelluksilla on erilaiset vaatimukset.

Käytettävyytutkimuksessa pyritään mittaamaan näitä käytettävyyden osa-alueita erilaisilla menetelmillä. Eri menetelmiä käytetään tuotteen suunnittelun ja kehittämisen eri vaiheissa. Jokaisella niistä on omat etunsa ja haittapuolensa. Ovaskan ja Majarannan (2005) mukaan menetelmät jaetaan tarkistusmetodeihin ja testausmenetelmiin sen mukaan, ovatko käyttäjät mukana testauksessa vai eivät. Kun käyttäjät ovat mukana testauksessa, puhutaan testausmenetelmistä. Muuten kyse on tarkistusmenetelmistä, menetelmistä, joissa on mukana asiantuntija. Seuraavassa luvussa käsitellään yhtä tunnetuimmista käytettävyytutkimuksen menetelmistä, heuristista arviointia, joka on tämän tutkimuksen lähtökohtana.

2.4 Heuristinen arviointi

Tässä luvussa kerrotaan, mitä heuristinen arviointi on, miten se voidaan toteuttaa sekä mitä etuja menetelmän käyttämisessä on.

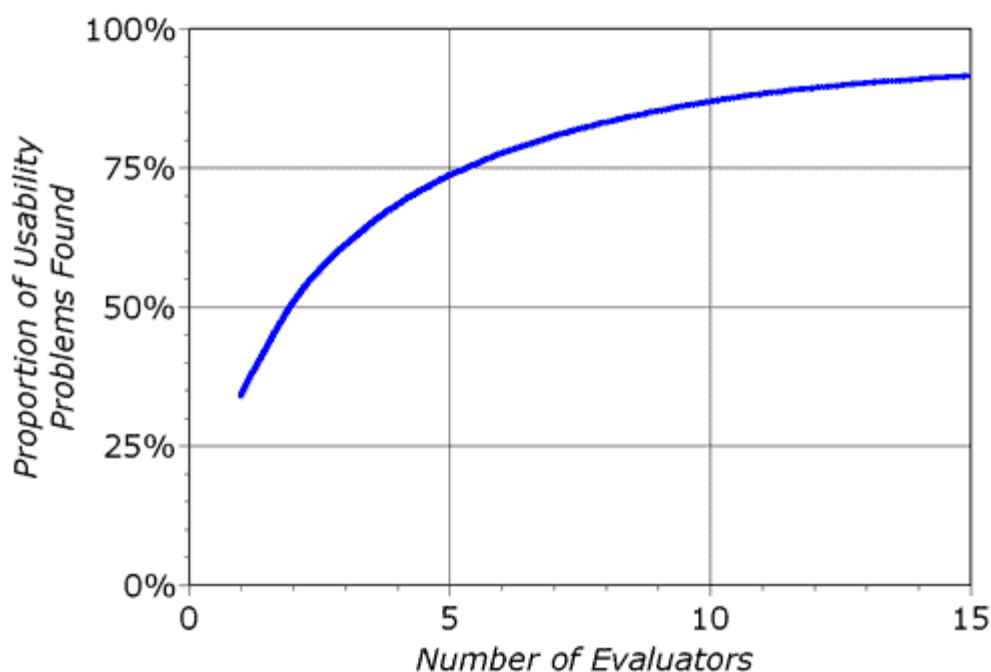
Yksi perinteisistä käytettävyytutkimuksen metodeista on asiantuntija-arviointi. Asiantuntija-arviointi käytettävyytutkimuksessa niin kutsuttu tarkistusmenetelmä, sillä tässä menetelmässä käyttäjät eivät ole mukana tutkimuskohteena. Asiantuntija-arvioinnissa käytettävyyden ja sovellusalan asiantuntija tai asiantuntijaryhmä arvioi käytettävyyden toteutumista sovelluksessa tai järjestelmässä. (Korvenmaa 2005)

Yksi tapa toteuttaa asiantuntija-arviointi on heuristinen arviointi. Näitä termejä käytetään Korvenmaan (2005) mukaan usein toistensa synonyymeina kirjallisuudessa. Tässä tutkimuksessa heuristisella arvioinnilla tarkoitetaan käytettävyytutkimuksen menetelmää, jossa asiantuntija tai asiantuntijaryhmä arvioi jotakin tuotetta, kuten sovellusta, heuristiikkojen perusteella. Heuristiikat ovat käytettävyydsperiaatteista tai ohjeista koottuja listoja. Heuristiikka ei ole yksittäinen käytettävyyden ohjenuora, vaan pikemminkin yleisluontoisempi periaate (Nielsen, 1995). Menetelmää voidaan käyttää niin valmiin tuotteen testaamiseen, kuin myös tuotteen iteratiivisessa kehitysprosessissa (Wei-siong et al., 2009).

Eräät tunnetuimmista heuristiikoista ovat Nielsenin heuristiikat. Nielsen ja Molich kehittivät 90-luvulla seitsemän muun heuristiikkalistan sekä aiemman

käytettävyytutkimuksen pohjalta heuristiikat heuristisen arvioinnin työkaluksi (Korvenmaa, 2005). Aikaisemmin asiantuntija-arviointiin saattoi kulua huomattavasti aikaa jopa tuhansien käytettävyysohjeistuksien tarkistamisessa (Ling & Salvendy, 2005). Nielsenin heuristiikkalista on paljon yksinkertaisempi ja lyhyempi, ja sen avulla käytettävyysohjelmien löytäminen ja merkitseminen on verrattain helppoa ja nopeaa (Ling & Salvendy, 2005).

Nielsenin ja Molichin kehittämässä heuristisessa evaluoinnissa suositellaan käytettäväksi 3-5 asiantuntijaa. Nielsenin vertailun mukaan kaikkein eniten ongelmia löytävät ne asiantuntijat, jotka tuntevat sekä käytettävyytutkimuksen menetelmät, että tutkittavan sovellusalueen (Nielsen, 1992). Aluksi asiantuntijat käyvät itsenäisesti läpi testattavan sovelluksen heuristiikkojen avulla mielellään useamman kerran. Kun käytettävyysohjelmien on kirjattu ylös, ne luokitellaan esimerkiksi vakavuuden tai yleisyyden mukaisesti. Tässä vaiheessa kaikki asiantuntijat osallistuvat kaikkien löydettyjen ongelmien vakavuuden määrittelyyn. Lopuksi löydettyistä ongelmista kootaan raportti. Menetelmä sopii tuotekehityksen eri vaiheisiin, se on kustannustehokas eikä se vaadi paljoa resursseja (Korvenmaa, 2005).



Kuva 9. Löytyneet käytettävyysohjelmien suhteessa evaluoijien määrään (Nielsen, 1995a)

Vaikka heuristinen evaluointi onkin monella tapaa tehokas työkalu käytettävyyden arvioinnissa, siinä on myös omat ongelmansa. Koska menetelmässä ei käytetä lopullisia käyttäjiä, löydetty ongelmat voivat poiketa todellisista ongelmista. Lingin ja Salvendyn

(2005) mukaan suuri osa ongelmista saattaa olla vakavuudeltaan vähäpätöisiä, tai mahdollisesti jopa niin sanottuja false-positive ongelmia, joihin käyttäjät eivät todellisuudessa kohtaa käyttäessään tuotetta. Toisaalta Korvenmaa (2005) toteaa, että myös vähemmän vakavien ongelmien löytäminen voi olla tärkeää sovelluksen kehityksen kannalta. Voidaan ajatella, että jos sovelluksessa on useita pieniäkin käytettävyyserikoituksia, niistä kasaantuu kokonaisuutena laaja ongelma, joka rikkoo esimerkiksi ISO 9241-11 määritelmän tehokkuuden periaatetta.

Heuristista evaluointia ei usein suositella käytettävän ainoana käytettävyystudkimuksen menetelmänä juuri loppukäyttäjien puuttumisen vuoksi. Koska käytettävyystudkimuksen peruseriaatteena on käyttäjän tunteminen (Ovaska & Majaranta, 2005), on suositeltavaa käyttää myös menetelmää, jossa käyttäjät ovat mukana. Nämä menetelmät täydentävät toisiaan, ja niiden avulla voidaan kehittää paras mahdollinen tuote. Esimerkiksi Lingin ja Salvendyn (2005) mukaan käyttäjätutkimuksella löytyy enemmän jonkin tietyn tehtävän suorittamiseen liittyviä ongelmia, kun taas asiantuntija-arvioinnissa löydetyt ongelmat liittyvät usein käyttöliittymään. Myös esimerkiksi motorisista lipsahduksista johtuvat ongelmat saattavat jäädä heidän mukaansa huomaamatta. Tästä syystä niin käyttäjätestausta ja asiantuntija-arviointia kannattaa molempia hyödyntää, kun tutkitaan palvelun tai tuotteen käytettävyyttä.

2.5 Käytettävyystudkimus ja virtuaalitodellisuus

Vaikka interaktiivisia sovelluksia ja järjestelmiä varten on kehitetty erilaisia evaluointimenetelmiä, niiden käyttö virtuaaliympäristöjen kontekstissa voi olla ongelmallista (Stanney et al., 2003). Suurin osa menetelmistä on suunnattu perinteisemmille graafisilla käyttöliittymillä. Virtuaaliympäristöt, joihin on kehitetty uusia innovatiivisia vuorovaikutusmenetelmiä, vaativat erilaisia menetelmiä kuin perinteiset graafiset käyttöliittymät (graphical user interface, GUI). Tavoitteet virtuaaliympäristöjen ja perinteisten käyttöliittymien kesken voivat olla samoja, mutta käyttöliittymien lähtökohdat voivat erota huomattavasti (Bowman et al., 2002). Tässä luvussa kerrotaan, mitä tulisi huomioida yleisellä tasolla tarkasteltaessa VR-sovellusten käytettävyyttä.

VR-sovellusten käyttäjät ovat samanaikaisesti kahdessa tilassa, kahdessa ulottuvuudessa: fyysisessä ja virtuaalisessa. Tämä on otettava huomioon niin käyttöliittymän

suunnittelussa kuin käytettävyyden tutkimisessakin. Tarkkailtaessa käyttäjää, tutkijan on saatava tietoa siitä, mitä käyttäjä kulloinkin näkee tai kokee. Bowman et al. (2002) ehdottavat esimerkiksi Think aloud -menetelmän hyödyntämistä virtuaaliympäristöjen käytettävyyden tutkimuksessa. Tällöin käyttäjä selostaa menetelmän mukaisesti ääneen mitä näkee ja kokee virtuaalimaailmassa, ja mitä ongelmia hän kohtaa. Lisäksi voidaan hyödyntää esimerkiksi videokuvaa, tai muuta vastaavaa tallennusmenetelmää muistiinpanoja varten (Bowman et al. 2002).

Virtuaalitodellisuuden käytettävyyden tutkiminen heuristisella evaluoinnilla voi olla hankalaa. Koska alalla ei ole vielä olemassa varsinaisia käytettävyydsstandardeja, evaluointia on vaikeampi suorittaa (Jerald, 2016, s. 440). Aiemmissa tutkimuksissa on usein käytetty esimerkiksi Nielsenin heuristiikoista johdettujen VR-heuristiikkoja. Tämä on jossain määrin ongelmallista, sillä vaikka tietyt käytettävyydsstandardit, kuten tehokkuus ja virheiden välttäminen ovat hyvin universaalisti toimivia, virtuaalitodellisuudessa on paljon seikkoja, joita perinteiset heuristiikat eivät ota huomioon.

Toinen ongelma on laaja kirjo erilaisia VR-järjestelmiä. CAVE-tyyppiseen VR-huoneeseen pätevät toisenlaiset käytettävyydskriteerit kuin vaikkapa pahvisiin Google Cardboard -silmikkoihin, joita käytetään älypuhelimien kanssa. Tämän tutkimuksen kohteena olevat high-end HMD-järjestelmät ovat keskenään jonkin verran poikkeavia, joten yksittäiselle järjestelmälle muodostetut kriteerit eivät välttämättä toimi toiselle. Tämän vuoksi tutkimuksessa heuristiikat on kohdistettu nimenomaan VR-sovelluksille jonkin tietyn VR-järjestelmän sijasta. Tavoitteena on muodostaa heuristiikat, joita voisi hyödyntää VR-sovelluksen arvioinnissa laitteistosta ja alustasta riippumatta.

Virtuaalitodellisuudella ja käytettävyydetutkimuksella on kummallakin taustallaan jo monta kymmentä vuotta tutkimusta (Mazuryk & Gervautz, 1999; Bowman et al., 2002; Nielsen, 1992). Vielä ei olla kuitenkaan onnistuttu luomaan heuristiikkoja, joissa otettaisiin huomioon VR-sovellusten erityisvaatimukset.

3 KIRJALLISUUSKATSAUS HEURISTIIKKOJEN POHJANA

Kirjallisuuskatsausta käytettiin tässä tutkimuksessa heuristiikkojen muodostamisen lähtökohtana. Kirjallisuuden perusteella kartoitettiin VR-sovellusten tärkeimpiä osa-alueita. Toistuvia teemoja olivat kirjallisuuskatsauksessa esitelty neljä osa-aluetta:

- Käyttöliittymä
- Immersio
- Vuorovaikutus
- Turvallisuus

Näihin osa-alueisiin liittyen heuristiikkoihin lähdettiin kartoittamaan aiemmista heuristiikoista, design guideline -listoista eli suunnitteluohjeistuksista sekä muusta aiheeseen liittyvästä kirjallisuudesta näihin osa-alueisiin liittyviä suosituksia. Akateemisen käytettävyydentutkimuksen sekä kaupallisen puolen käytännöt yhdistämällä uudet VR-heuristiikat ovat tuoreet ja ajantasaiset, mutta noudattavat vakiintuneita käytettävyyssäätöjä.

Virtuaalitodellisuuden käytettävyyteen liittyvää tutkimusta lähdettiin kartoittamaan niin avoimesti saatavilla olevista verkkoaineistoista (esimerkiksi Google Scholar ja Research Gate) kuin myös tieteellisistä suljetuista tietokannoista (yliopiston kirjaston tarjoamat tietokannat kuten Ebsco ja Science Direct). Hakusanoina käytettiin muun muassa seuraavia: ”VR”, ”virtual reality”, ”virtual environments”, ”heuristics” ja ”usability”. Heuristiikkojen osa-alueiden tarkentuessa etsittiin lisäksi hakusanoilla ”interface”, ”immersion”, ”presence”, ”interaction”, ”ergonomics” ja ”safety”. Tulosten relevanttiutta arvioitiin sen mukaan, kuinka tuoretta lähdeaineisto on, ja kuinka paljon se on keskittynyt nimenomaan virtuaalitodellisuuteen, eikä esimerkiksi virtuaaliympäristöihin tai lisättyyn todellisuuteen.

Kirjallisuuden kartoittamisessa hyödynnettiin myös lähdeaineistoa, jota käytettiin myös muissa aiheeseen liittyvissä kandidaatin ja maisterintutkielmissa. Myös aiheeseen liittyviä väitöskirjoja, kuten Korhosen (2016) mobiilipelien asiantuntija-arviointiin keskittyvää tutkimusta käytettiin lähtökohtana erityisesti heuristiikkojen muodostamiseen liittyvässä kirjallisuudessa.

VR-järjestelmiin ja sovelluksiin keskittyviä yrityksiä haettiin Google-haulla esimerkiksi hakusanoilla ”VR” ja ”best practices”. Tulosten relevanttiutta arvioitiin sen mukaan, kuinka ajantasaiset ja kattavat löydetyt suositukset olivat.

Seuraavissa luvuissa kerrotaan lyhyesti tutkimuksessa käytetystä tausta-aineistosta. Tutkimuksessa käytettiin virtuaalitodellisuutta käsittelevää kirjallisuutta (luku 3.1), VR-sovellusten kehittämiseen tarkoitettuja suunnittelun suositus -listoja (luku 3.2), sekä muita aiempia, VR-sovelluksiin liittyviä heuristiikkoja ja kriteerejä (luku 3.3).

3.1 Kirjallisuus

Heuristiikkojen lähtökohdaksi otettiin kaksi teosta, joiden pohjalta VR-sovelluksiin liittyviä käytettävyyden tekijöitä alettiin kartoittamaan. Kirjojen tarkoituksena oli selventää VR-järjestelmien toimintaa, ja antaa lähtöpiste muun kirjallisuuden keräämiselle. Teokset valikoituivat laaja-alaisuutensa sekä asiantuntevien tekijöidensä perusteella. Tämän lisäksi kumpikin teos oli tutkimuksen alkaessa hyvin tuore ja ajantasainen erityisesti uusimpien laitteistojen ja viimeisimpien alan tutkimusten osalta.

The VR Book (Jerald, 2016) teokseen on koottu kaikki huomionarvoinen liittyen virtuaalitodellisuuteen, sen historiaan, laitteistoihin, tekniikkaan sekä suunnitteluun liittyen. Kirjasta löytyy käytettävyyssuosituksia immersion luomiseen, vuorovaikutukseen, käyttöliittymään sekä erityisesti käyttäjän turvallisuuteen liittyen. Luodut heuristiikat pohjautuvat pitkälti näihin teoksessa esiin tuotuihin suosituksiin. Lisäksi teoksessa käydään läpi VR-järjestelmien toiminnan periaatteita. Hyvin toimiva virtuaalitodellisuus vaatii käyttäjän ja koneen välisen kommunikaation toimimista. Järjestelmän tulee siis kyetä tulkitsemaan ihmisen käyttäytymistä, ja kommunikoidaan ymmärrettävällä tavalla käyttäjän kanssa, suoraan tai epäsuoraan (Jerald, 2016, s. 10).

3D User Interfaces (LaViola et al., 2017) teoksessa käydään läpi kolmiulotteisen käyttöliittymän suunnitteluun liittyviä käytänteitä ja suosituksia. Teos on suunnattu esimerkiksi AR- ja VR-käyttöliittymien kehittämiseen, mutta yleinen näkökulma 3D-käyttöliittymiin mahdollistaa myös muiden vastaavien ympäristöjen tarkastelun. Kirjassa esitellään niin 3D-ympäristöjen ja havaintopsykologian teoriaa kuin myös 3D-käyttöliittymien suunnittelumenetelmiä.

Näiden teosten toimiessa pääasiallisina lähdeveksina heuristiikoille, hyödynnettiin jokaisella heuristiikkojen osa-alueella juuri siihen liittyvää kirjallisuutta viitekehystenä. Käyttöliittymä-luvun taustalla ovat erityisesti Nielsenin käytettävyyteen liittyvä kirjallisuus (Nielsen 1992, 1995a, 1995b, 2012). Vuorovaikutus-luvussa hyödynnetään Normanin (2013) luomaa käsitteistöä viitekehystenä käyttäjän ja käyttöliittymän välisen vuorovaikutuksen käytettävyyden tekijöihin. Immersio-luvun pohjalta löytyvät muun muassa pelien immersiota kuvaamaan tarkoitettu Ermin ja Mäyrän SCI-malli (2005) sekä Csikszentmihalyin (1997) Flow-teoria. Turvallisuus-luvussa Jeraldin VR Book -teoksen (2016) suositusten lisäksi on hyödynnetty Kennedyn simulaatiopahoinvointikyselyn (Kennedy et al., 1993) kysymyksiä.

3.2 Suunnitteluohjeistukset

VR-alan suunnitteluohjeistukset ovat arvokas työkalu VR-sovellusten käytettävyyden arviointiin. Toisin kuin ehkä akateemiset käytettävyydytyökalut, kyseiset listat päivittyvät jatkuvasti ja huomioivat uusien laitteistojen ja vuorovaikutustekniikoiden mahdollisuudet. Suunnittelusuosituksia on käytetty muodostettujen heuristiikkojen jokaisella osa-alueella. Suosituslistat toimivat myös kehitettäessä VR-sovellusta sille alustalle, joka suositukset on alun perin kehittänyt.

Oculusen The VR Best Practices -suositukset (Oculus VR, 2018) ovat erityisen tunnetut VR-suunnittelun työkaluna. Ne on tarkoitettu käytettäväksi Oculusen omiin laitteistoihin, mutta niitä voi soveltaa myös muiden samankaltaisten VR-järjestelmien kanssa. Oculus Best Practices huomioi VR-silmikkojen optiikkaan, näkökenttään ja näkymän renderöimiseen liittyvät seikat, liikkumisen seurannan, simulaatiopahoinvoinnin sekä käyttöliittymän ja käyttäjän syötteen. Niiden vahvuutena on ajantasaisuus: Oculusen verkkosivuilta löytyviä suosituksia päivitetään jatkuvasti laitteistojen kehittyessä. Tässä tutkimuksessa on hyödynnetty kahta suositusten versiota, joista toinen on tiiviimpi dokumentti, ja toinen taas tuorein verkosta löytyvä laajempi versio.

Muut käytetyt suunnittelun suosituslistat ottavat huomioon edellä mainittujen tekijöiden lisäksi esimerkiksi immersion ja läsnäolon. Leap Motionin suositukset ja artikkelit on kehitetty erityisesti Leap Motion-järjestelmien näkökulmasta. Järjestelmässä ei käytetä ohjaimia, vaan järjestelmä tunnistaa käyttäjän käsien liikkeet ja eleet. Leap Motionin

suositusten keskiössä on vuorovaikutus järjestelmän ja käyttäjän välillä. Vuorovaikutuksen tarkoituksena on tehdä sovelluksista nimenomaan immersiivisempiä.

Roblox on alusta, jonka avulla kuka tahansa voi kehittää oman pelin yksinkertaisten valmiiden ominaisuuksien kautta. Robloxin avulla käyttäjät voivat myös kehittää oman VR-sovelluksensa, ja suosituslista on koottu tätä varten. Roblox-suositusten vahvuutena on niiden selkeys ja hyvät esimerkit. Alusta on suunnattu erityisesti nuorille, ja suositukset ovat esitettyinä Robloxin verkkosivuilla kohderyhmä huomioon ottaen. Ne ovatkin hyvin yksinkertaistettuja, ja niihin on hyvin tiivistetty VR-kokemuksen tärkeimpiä osa-alueita, kuten käyttömukavuus (comfort) ja läsnäolon tunne (presence) (Roblox, 2018).

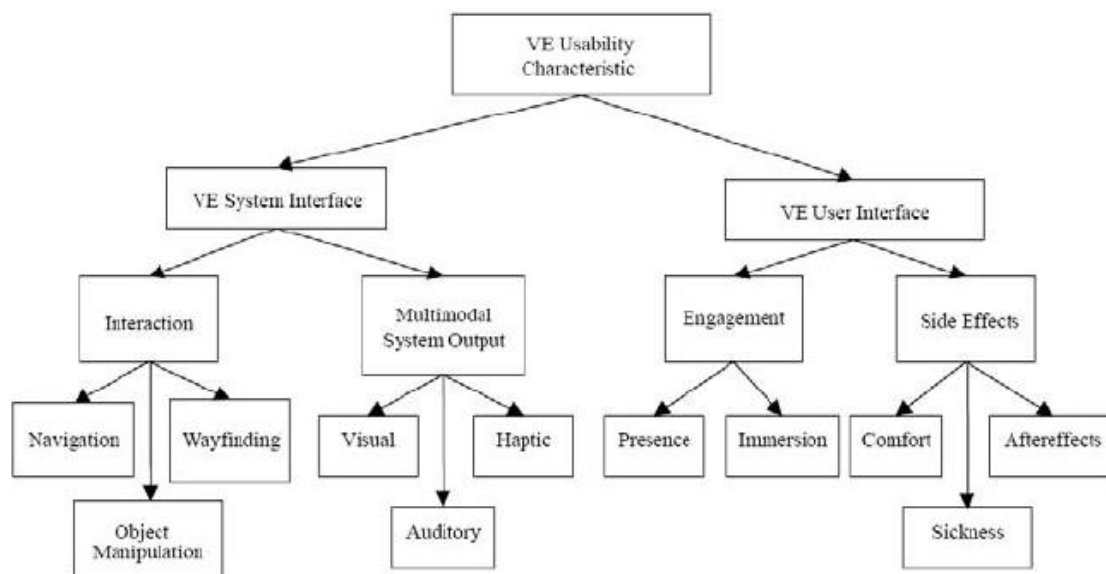
3.3 Heuristiikat ja kriteerit

Akateemisten ja vakiintuneempien heuristiikkojen huomioiminen uusissa heuristiikoissa on tärkeää. Ne tuovat uusille heuristiikoille painoarvoa, ja niiden avulla voidaan varmistaa, etteivät heuristiikat ohita jotain oleellista tieteellisesti todettua käytettävyydekriteeriä. Tässä tutkimuksessa hyödynnetyt heuristiikat ovat aiemmissä tutkimuksissa testatut ja hyväksi todetut.

Nielsenin kymmentä heuristiikkaa on usein käytetty uusien heuristiikkojen muodostaessa (Quiñones & Rusu, 2017). Esimerkiksi Sutcliffe & Gault (2004) muodostivat VR-sovellusten evaluointiin omat heuristiikkansa nimenomaan Nielsenin heuristiikkoja hyödyntämällä. Jaferian et al. (2011) vertasivat IT-turvallisuustyökalujen heuristiikkoja Nielsenin heuristiikkoihin, ja suosittelivat evaluointiin käytettäväksi molempia.

Tämän tutkimuksen heuristiikoissa kehittämisessä on hyödynnetty Nielsenin heuristiikkojen keskeisiä käytettävyyden periaatteita. Toisaalta monia yleisluontoisista käytettävyyden periaatteista, kuten virheiden välttäminen ja virheistä ilmoittaminen on jätetty pois näistä heuristiikoista, sillä oletetaan, että nämä ovat heuristiikkoja käyttävälle evaluoitsijalle tuttuja entuudestaan. Sovellusta evaluoitaessa voidaankin käyttää yhdessä sekä tämän tutkimuksen VR-heuristiikkoja, että Nielsenin käytettävyysheuristiikkoja.

Multi-criteria Assessment of Usability for Virtual Environments eli MAUVE on Stanney et al. (2003) kehittämä arviointityökalu virtuaaliympäristöihin. Sen kehittämisen lähtökohtana on ollut, että perinteiset heuristiikat eivät ota kantaa virtuaaliympäristöjen olennaisimpiin käytettävyyden tekijöihin, kuten liikkumiseen, manipulointiin, turvallisuuteen tai immersioon. Esimerkiksi syötteiden laatua tai 3D-tilan vaikutuksia interaktioon ei heidän mukaansa käsitellä perinteisissä evaluointimenetelmissä. MAUVE perustuu aikaisempaan tutkimukseen VR-järjestelmien käytettävyyteen liittyen.



Kuva 10. Virtuaaliympäristön piirteet jaoteltuna MAUVE:n mukaisesti.

Tämän tutkimuksen heuristiikat on jaoteltu samoja periaatteita noudattaen kuin MAUVE:ssa. Siinä VR-sovellusten käytettävyyshauristiikat jakautuvat neljään osa-alueeseen. Vaikka osa-alueet ovatkin nimetty eri tavalla, ne sisältävät samoja teemoja kuin tässä tutkimuksessa kehitetyt heuristiikat. Esimerkiksi Vuorovaikutus-osa-alueen eri teemat on jaettu samalla periaatteella. Vaikka MAUVE on kehitetty jo verrattain kauan sitten vuonna 2003, ovat monet siinä käsitellyistä VR-käytettävyyden tekijöistä edelleenkin ajankohtaisia. Siksi sen jaottelua käytettiin kehitetyissä heuristiikoissa tukena.

VR PLAY Guidelines on avoimesti verkosta löytyvä VR-pelien arvioinnin työkalu. Ohjeistuksen on kehittänyt User Behavioristics Inc., yritys, joka on keskittynyt verkkosivujen, sovellusten sekä mobiili- ja videopelien käyttäjien tutkimukseen. Yrityksen perustaja, Heather Desurvire, on julkaissut aiemmin esimerkiksi PLAY ja GAP heuristiikat (Desurvire & Wixon 2013). VR PLAY -heuristiikat pohjautuvat edellä mainittuihin heuristiikkoihin. VR PLAY -heuristiikkoihin näiden aiempien

heuristiikkojen periaatteita on sovellettu VR-pelien vaatimukset huomioon ottaen (Desurvire & Kreminski 2018).

VR PLAY heuristiikat on suunnattu erityisesti VR-peleille ja pelillistettyihin kokemuksiin, mutta niistä löytyy paljon kriteerejä, joita voi soveltaa VR-sovelluksiin yleensä. Heuristiikkojen osa-alueet uuden käyttäjän huomioiminen (New Player Experience), käytettävyys (Usability), immersio (VR Immersion) ja luovuuden tukeminen (Creative VR) ovat tärkeitä muissakin sovelluksissa kuin VR-peleissä. Tämän lisäksi pelattavuuden (Playability) osa-alueelta esimerkiksi kriteeriä Encourage Player Engagement, eli käyttäjän kannustaminen kokeilemaan ja osallistumaan, voi hyvin soveltaa muuallakin kuin pelien kehityksessä.

Korhonen (2016) esittelee väitöskirjassaan mobiilipeleille tarkoitettuja heuristiikkoja sekä niiden muodostamiseen liittyvää tutkimusta. Tutkimustyön pohjalla, samoin kuin tämän tutkimuksen heuristiikoissa, on hyödynnetty aiempia heuristiikkoja. Siinä mielessä tutkimus toimi vertailupisteenä heuristiikkojen kehittämiseen ylipäätään. Sekä mobiilipeleissä että VR-sovelluksissa on myös olennaista alusta tai järjestelmä, jonka kautta sovelluksia tai pelejä käytetään. Tämän vuoksi Korhosen väitöskirja toimi hyvänä vertailupisteenä tämän tutkimuksen heuristiikkojen kehittämisessä.

4 VIRTUAALITODELLISUUSSOVELLUSTEN SUUNNITTELU JA KÄYTETTÄVYYDEN ARVIOINTI

VR-sovelluksille ei ole vielä tähän mennessä kehitetty omia heuristiikkoja, mutta monia aiheeseen liittyviä heuristiikkoja löytyy. Heuristiikkoja on kehitetty esimerkiksi virtuaaliympäristöille, virtuaalimaailmoille, VR-järjestelmille ja VR-peleille. Sisällöltään ovat joko hyvin yksityiskohtaisia tai teknisiä, tiettyyn sovellustyyppiin tai laitteistoon rajautuvia. Mikään näistä ei kuitenkaan ole nimenomaan VR-sovellusten ja ohjelmien kehittämiseen tarkoitettu työkalu. Niiden välillä on kuitenkin monia yhtäläisyyksiä, ja niitä voidaan hyödyntää VR-sovellusten arviointiin tarkoitetuissa heuristiikoissa.

Tässä luvussa käydään läpi alan kirjallisuudessa käytettävyyteen liitettäviä teemoja, joiden pohjalta tässä tutkimuksessa muodostetut heuristiikat on luotu. Teemat toistuivat niin kirjallisuudessa kuin aiheeseen liittyvissä aiemmissa heuristiikoissa. Näiden teemojen kautta luodaan tämän tutkimuksen käytettävyyshauristiikat, joita testataan kahdessa heuristisessa evaluointisessiossa. Lukujen alkuun on kerätty teemaan liittyvät heuristiikat, ja avataan teoria niiden taustalla.

Luku 4.1 kertoo, miten virtuaalitodellisuudessa kolmiulotteinen ympäristö ja sen visuaalinen ilme ovat kytköksissä VR-käyttöliittymään ja sen käytettävyyteen. Luvussa 4.2 esitellään vuorovaikutuksen keinoja virtuaalimaailmassa, ja miten niiden suunnittelu vaikuttaa VR-sovelluksen käytettävyyteen. 4.3 luku kertoo, miten immersio ja läsnäolon tunne ovat kytköksissä käytettävyyteen. Viimeinen luku 4.4 kertoo, miten käyttäjän turvallisuuden virtuaalimaailmassa voidaan vaikuttaa, ja miksi se on tärkeää myös käytettävyyden näkökulmasta.

4.1 Käyttöliittymä

Käyttöliittymä on perinteisesti nähty järjestelmän osana, joka mahdollistaa kommunikoinnin käyttäjän ja järjestelmän välillä (Jørgensen, 2013). Esimerkki tällaisesta perinteisestä käyttöliittymästä on WIMP (*windows, icons, menus, pointers*). WIMP on graafisen käyttöliittymän malli, jossa käyttäjä siirtyy kaksiulotteisessa näkymässä sovellusikkunasta toiseen ja käyttää sovelluksia ikonien, valikkojen ja osoittimen avulla. Käyttäjä on epäsuorassa vuorovaikutuksessa käyttöliittymän elementtien kanssa, joita

osoittamalla kursorilla ja klikkaamalla niitä hän saa aikaan erilaisia toimintoja. Jørgensenin (2013) mukaan peleissä ja pelimaailmoissa käyttöliittymä on taas osa pelimaailmaa. Samoin on virtuaalitodellisuuden käyttöliittymissä: kolmiulotteinen virtuaalimaailma toimii itsessään käyttöliittymänä, joka tarjoaa käyttäjälle informaatiota sekä erilaisia keinoja olla vuorovaikutuksessa VR-sovelluksen kanssa.

Yksinkertaisimmillaan kolmiulotteisen käyttöliittymän voi määritellä käyttöliittymäksi, jossa hyödynnetään kolmiulotteista grafiikkaa (LaViola et al., 2017). Aiemmissa luvuissa on kerrottu kolmiulotteisten käyttöliittymien kehityksestä tähän päivään asti erityisesti VR-teknologian näkökulmasta, sekä kerrottu sen yhteydestä muihin vastaaviin 3D-ympäristöjä hyödyntäviin teknologioihin, kuten lisättyyn todellisuuteen. Kolmiulotteisille käyttöliittymille sekä virtuaalimaailmoille on aiemmin kehitetty heuristiikkoja. Niissä näkökulma on ollut yleisesti joko virtuaalimaailmoissa (Muñoz et al., 2011), tai esimerkiksi VR-peleissä (Desurvire & Kreminski, 2018). Heuristiikkojen pohjalla on saatettu käyttää esimerkiksi Nielsenin heuristiikkoja, joita on lisäksi täydennetty VR-heuristiikoilla (Sutcliffe & Gault, 2004). Tämän tutkimuksen tuloksena muodostetut heuristiikat on kohdistettu yleisesti VR-sovelluksille, eikä esimerkiksi pelkästään peleille.

Nielsenin käytettävyyshauristiikat (Nielsen, 1992) ovat hyvin tunnetut ja yleisesti käytetyt. Ne ovatkin hyvä lähtökohta VR-käyttöliittymän heuristisessa evaluoinnissa. Kolmiulotteinen, käyttäjän ympäröivä virtuaalimaailma asettaa kuitenkin tiettyjä haasteita, joita perinteiset käyttöliittymänheuristiikat eivät ota huomioon. Seuraavissa luvuissa kerrotaan, miten virtuaalimaailman kolmiulotteisuus on otettava huomioon visuaalisen käyttöliittymän suunnittelussa, ja miten sen visuaalinen ilme vaikuttaa virtuaalimaailmassa käytettävyyteen ja käyttäjäkokemukseen.

4.1.1 Käyttöliittymän elementit virtuaalimaailmassa

UI1.1 Käyttöliittymän elementit on sidottu virtuaalimaailman objekteihin

UI1.2 Graafinen käyttöliittymä on suunniteltu virtuaaliympäristöön sopivaksi

UI1.3 Tutut käyttöliittymän elementit auttavat käyttäjää sopeutumaan VR-käyttöliittymään

Virtuaalimaailmassa käyttöliittymän suunnittelijoilla on aikaisempaan verrattuna vapaammat kädet. Käyttäjät voivat olla käyttöliittymäelementtien kanssa lähes suorassa

vuorovaikutuksessa verrattuna perinteiseen WIMP-käyttöliittymään. Käyttäjällä on VR-järjestelmästä riippuen käytössään tietty määrä vapauden asteita, degrees of freedom (DOF). Vapauden asteella viitataan siihen, kuinka monelta asteelta järjestelmä saa tietoa käyttäjän asennosta 3D-ruudukossa. Esimerkiksi Oculus Rift VR-järjestelmissä on 6-DOF syötteen mahdollistavat laitteet. Käyttäjältä saatavia tietoja ovat tällöin:

- sijainti 3D-ruudukossa XYZ-akseleilla
- asento XYZ-akseleihin nähden

(Bowman 2013).

Perinteisessä WIMP-käyttöliittymässä käyttäjä hiiren avulla pystyy usein liikkumaan ohjelman käyttöliittymässä X- ja Y- akseleilla kaksiulotteisesti. Muutenkin käyttäjän näkymä on kaksiulotteinen, vaikka sovelluksessa käytettäisiin 3D-grafiikkaa.

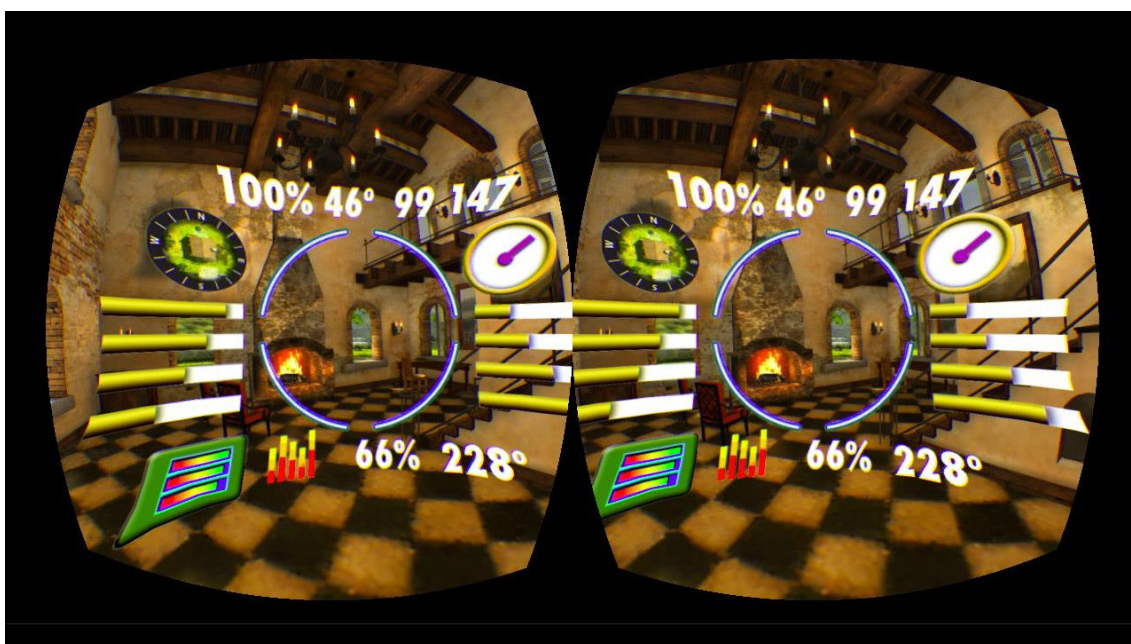


Kuva 11. esimerkki HUD-käyttöliittymästä SuperTuxKart-pelissä. Virtuaalilaseihin siirrettynä käyttöliittymä ei toimisi, sillä käyttäjä ei voi tarkentaa katsettaan kunnolla lasien reunoille. (Head-up display, 2013)

Kaksiulotteista käyttöliittymää ei voi suoraan siirtää kolmiulotteiseen. Käyttäjän asennosta ja asemasta 3D-ympäristössä saadaan tarkempaa tietoa verrattuna perinteisiin käyttöliittymiin. Tätä tietoa voidaan hyödyntää käyttöliittymän suunnittelussa. Tyypillinen tapa informoida käyttäjää 2D-käyttöliittymässä on käyttää erilaisia tekstielementtejä ja ikoneita. Elementit, joita käyttäjä tarvitsee jatkuvasti, voivat olla pysyvästi käyttäjän nähtävillä. Esimerkiksi peleissä käytetään usein erilaisia

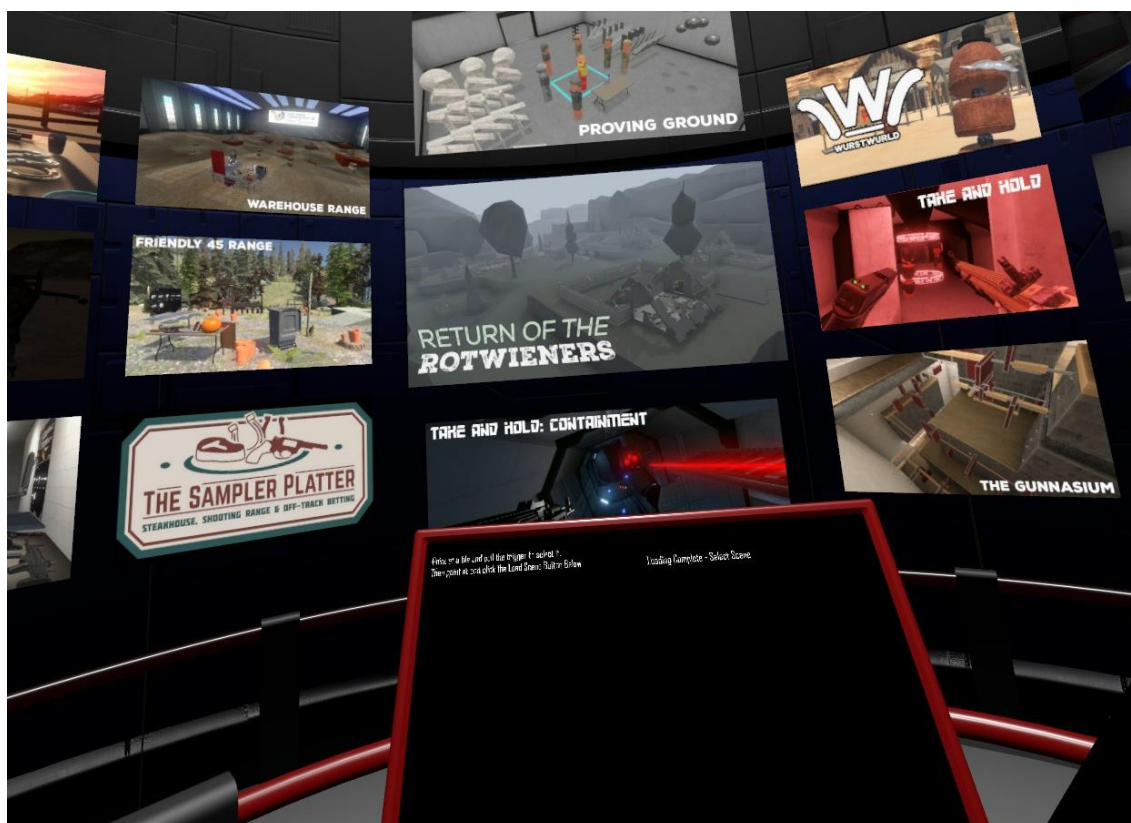
indikaattoreita, jotka ovat jatkuvasti käyttäjän nähtävillä. Niiden tarkoituksena on antaa käyttäjälle esimerkiksi tietoa siitä, millaiset ovat hänen sen hetkiset aseensa, mikä on hänen sijaintinsa peliympäristössä, tai kuinka paljon energiaa hänellä on jäljellä.

Elementit voidaan esittää esimerkiksi HUD-käyttöliittymän muodossa. HUD eli Head-up display tarkoittaa esimerkiksi pelien tapaa esittää käyttäjälle olennaista informaatiota virtuaaliympäristön päälle läpinäkyvästi aseteltuna. Tällöin käyttöliittymän elementit on aseteltu käyttäjän näkymän reunoille, jotta käyttäjä voi keskittyä itse pelaamiseen, mutta näkee milloin tahansa sen hetkisen statusensa pelissä.



Kuva 12. Virtuaalimaailmassa HUD-näkymä voi näyttää käyttäjän näkökulmasta täyteen ahdetulta. (Oculus VR 2018)

Virtuaalilasien kanssa vastaavanlainen HUD-elementtien käyttö ei toimi täysin samalla tavalla. Ensinnäkään käyttäjä ei erota virtuaalilasien reunoille sijoitettuja elementtejä kunnolla. Koska elementit ovat jatkuvasti käyttäjän näkökentän reunoilla, käyttäjä ei voi tarkentaa katsettaan niihin kunnolla. Toisekseen HUD peittää näkyvistä muun virtuaalimaailman (Oculus VR, 2017). Oculuksen suunnitteluohjeistuksen mukaan elementit, joihin käyttäjä joutuu keskittymään pidempiä aikoja, kuten erilaiset valikot tai teksti-ikkunat, tulisi olla sijoitettuna vähintään puolen metrin etäisyydelle käyttäjästä virtuaalimaailmassa. HUD-käyttöliittymässä elementit on sijoitettu hyvin lähelle käyttäjää, jonka vuoksi sen soveltamista VR-käyttöliittymään tulisi suunnitella tarkasti.



Kuva 13. Kuvakaappaus pelistä Horseshoes, Hotdogs and Handgrenades, jossa alkuvalikon paneelissa teksti on hyvin pienellä. VR-laseilla pieni teksti on usein epäselvää.

Nielsenin heuristiikoissa ohjeistetaan, että käyttöliittymän tulisi olla minimaalisesti suunniteltu, jotta käyttäjän on helppo keskittyä olennaiseen (Nielsen, 1992). Tämä pätee myös VR-maailmaan. Käyttöliittymän elementit kannattaa jollakin tavalla sitoa virtuaalimaailman muihin objekteihin. Pitkiä tekstiohjeistuksia kannattaa välttää, sillä pieni teksti ei välttämättä erotu kovin hyvin VR-lasien kanssa.

Sen sijaan kannattaa hyödyntää esimerkiksi ikoneita, animaatioita, sekä ääniefektejä ohjeistamaan käyttäjää ja antamaan palautetta hänen toiminnastaan. Erityisesti äänipalautte täydentää hyvin visuaalista palautetta (Stanney et al., 2003.) Käyttöliittymä pysyessä yksinkertaisena käyttäjän on helppo löytää sieltä tarvitsemansa informaatio. Käyttäjän tarvitsemat tiedot tulisi esittää mahdollisimman yksinkertaisella tavalla, niin että käyttäjä saa nopealla vilkaisulla käsityksen ympäristöstään ja omasta statuksestaan (Oculus VR, 2017).

Virtuaalimaailmassa käyttäjä saattaa joutua liikkumaan suuressakin virtuaaliympäristössä. Käyttäjän on helpompi liikkua virtuaalimaailmassa, kun ympäristö on suunniteltu auttamaan käyttäjää navigoinnissa. Portaot, tiot, portit ja ovet antavat tietoa käyttäjälle, mihin paikkoihin hänen mahdollisuus kulkea virtuaalimaailmassa ja mitä



Kuva 14. Kuvakaappaus pelistä Horseshoes, Hotdogs and Handgrenades. Pelistä löytyy perinteisen valikon lisäksi valikko ”kiinnitettynä” ohjaimen. Käyttäjä voi valita itse, kumpaa käyttää mieluummin. Reittejä pitkin hän niihin pääsee. Käyttäjillä on usein tapana valita lyhyin mahdollinen reitti määränpäähensä (Lidwell et al., 2010). VR-sovelluksen tulisikin tarjota käyttäjälle keino löytää tämä lyhyin reitti. Kartat, erilaiset suuntava osoittavat kyltit ja selkeästi merkityt reitit ovat erityisen tärkeitä virtuaalimaailmassa, jossa käyttäjällä ei ole muuta informaatiota käytössään kuin mitä hän näkee VR-lasien kautta (Leap Motion 2016a).

Virtuaalimaailman käyttöliittymän elementeissä kannattaa hyödyntää perinteisistä käyttöliittymistä tuttuja ikoneita ja metaforia. Niiden avulla käyttäjä ei tunne olevansa täysin eksyksissä uudessa ympäristössä. Perinteiset valikot painikkeineen ovat käyttäjälle tuttuja WIMP-ympäristöstä, ja hän todennäköisesti osaa käyttää niitä luontevasti myös VR-sovelluksessa. Metaforat puolestaan voivat tehdä käyttöliittymästä yhtenäisemmän, tosin vertauskuvallisissa ilmaisuissa kannattaa pysyä kohtuudessa. Esimerkiksi Nielsenin (2000) mukaan liiallinen metaforien käyttö käyttöliittämässä voi hämärtää sen todellista käyttötarkoitusta.

Toisaalta VR tarjoaa mahdollisuuden esittää valikon esimerkiksi ohjaimen integroituna. Tarjoamalla käyttäjälle molemmat vaihtoehdot, hän voi valita itselleen luontevimman

toimintatavan. Tällä tavoin otetaan huomioon eri tyyppiset tavat toimia virtuaalimaailmassa.

4.1.2 Visuaalinen ilme

UI2.1 Virtuaalimaailma ja käyttäjän avatar on skaalattu käyttäjän mittasuhteiden mukaan

UI2.2 Värit ja valot auttavat käyttäjää sopeutumaan VR-maailmaan

Virtuaalimaailman suunnittelussa on otettava huomioon käyttäjän mentaalimalli itsestään ja ympäristöstään virtuaalimaailmassa. Jos näitä asioita ei ole suunniteltu hyvin, käyttäjä tuntee itsensä irralliseksi ja erilliseksi virtuaalisesta ympäristöstä. Visuaalinen ilme voi vaikuttaa myös käyttäjän sopeutumiseen sekä siihen, kuinka kauan hän pystyy viettämään aikaa virtuaalimaailmassa.

Jotta käyttäjä ei tunne itseään ulkopuoliseksi, käyttäjän koko ja virtuaalimaailman mittasuhteiden tulee olla tasapainossa. Jos virtuaalimaailma on skaalattu niin, että käyttäjä tuntee itsensä siellä liian isoksi tai kömpelöksi, sopeutuminen saattaa olla hankalaa. Jos käyttäjän avatar on skaalattu virtuaalimaailmaan väärän kokoiseksi, käyttäjä ei tunne välttämättä oloaan kotoisaksi väärän kokoisen virtuaaliruumiin sisällä (Oculus VR 2018). Avatarilla tarkoitetaan tässä virtuaalista ilmentymää käyttäjästä, jonka kautta hän toimii simuloitussa ympäristössä. Väärän kokoinen avatar pahimmillaan vaikeuttaa virtuaalimaailman ja sitä kautta myös VR-käyttöliittymän hahmottamista.

Värit ja valot vaikuttavat käyttäjän sopeutumiseen voimakkaasti. Esimerkiksi vilkkuvat valot saattavat olla häiritseviä tai käyttäjää kuormittavia. Lisäksi ne aiheuttavat herkille käyttäjille pahoinvointia (Jerald, 2016, s. 217). Toisaalta väreillä ja virtuaalisella ympäristöllä vaikuttaa käyttäjään myös positiivisesti. Amin et al. (2016) tutkimuksessa tutkittiin, miten VR-pelillä voitaisiin helpottaa palovammapotilaiden oloa. Tutkimuksessa käytetyssä pelissä oli käytetty viileän sävyisiä värejä ja kylmiä elementtejä, joiden tarkoituksena oli johdattaa palovammapotilaiden ajatuksia ja helpottaa heidän oloaan. Tutkimuksessa selvisi, että virtuaalisen tilan suunnittelu helpotti kipua.

Värimaailmalla voidaan luoda tietynlainen tunnelma virtuaalimaailmaan. Väreillä on perinteisissä käyttöliittymissä myös helpotettu erilaisten objektien tunnistamista ja vuorovaikutusta niiden kanssa. Värit auttavat erottamaan esineitä toisistaan. Kirkkaat

värit kiinnittävät käyttäjän huomion varsinkin, jos ympäristö on väriykseltään muuten neutraali. Väreillä voidaan myös viestiä, mikä on tietyn objektin tila tietyllä hetkellä. (Jerald, 2016, s. 238-239)

Virtuaaliympäristössä väri- ja valosuunnittelulla voidaan helpottaa liikkumista eri tilojen välillä virtuaalimaailmassa. Voimakasta värien ja valojen vaihtelua kannattaa välttää. Toisaalta esimerkiksi hämärään tilaan siirtymistä voidaan helpottaa punertavalla valolla tai tummalla värimaailmalla, joka auttaa ihmissilmää tottumaan hämärään nopeammin (Jerald, 2016, s. 143, 157).

4.2 Vuorovaikutus

Virtuaalitodellisuusjärjestelmässä käyttäjä on vuorovaikutuksessa sovelluksen kanssa. Vuorovaikutus tapahtuu erilaisten syöte- ja tuloste (*input* ja *output*) järjestelmien kautta. Käyttäjä syöttää sovellukselle käskyjä, joihin järjestelmä reagoi tuottaen käyttäjälle tulosten. Pohjimmiltaan on kysymys siis kommunikoinnista käyttäjän ja järjestelmän välillä. VR-sovellus toimii ikään kuin näiden kahden rajapintana.

Vuorovaikutus voidaan jakaa suoraan ja epäsuoraan vuorovaikutukseen (Jerald, 2016 s. 284-285; Craig et al., 2009). Craig et al. mukaan suorassa vuorovaikutuksessa voi esimerkiksi tarttua esineeseen virtuaalimaailmassa omaa kättään käyttämällä ja siirtää sen haluamaansa paikkaan. Epäsuorassa vuorovaikutuksessa käyttäjä voi heidän mukaansa käyttää kolmea eri vuorovaikutuksen tapaa:

- *fyysinen*, jolloin käyttäjällä on apunaan ohjain tai esimerkiksi hiiri tai näppäimistö
- *virtuaalinen*, jolloin käyttäjä on vuorovaikutuksessa virtuaalisen esineen, esimerkiksi painikkeen kanssa
- *agentin välityksellä*, jolloin käyttäjä kertoo järjestelmälle esimerkiksi tekstin tai puheen välityksellä, mitä haluaa tehdä.

Leap Motionin (2016b) artikkelissa vuorovaikutuksella on kolme tasoa: suora vuorovaikutus, vuorovaikutus-metaforat sekä abstrakti vuorovaikutus. Suorassa vuorovaikutuksessa käyttäjä toimii virtuaalimaailmassa todellisen maailman vuorovaikutustapoja noudattaen. Käyttäjä voi esimerkiksi painaa nappia virtuaalimaailmassa. Abstraktissa vuorovaikutuksessa vuorovaikutuksen mekanismi on epäsuora: käyttäjä tekee jonkin tietyn eleen, joka ei välttämättä liity tehtävään toimintoon

muuten kuin sovelluksen sisällä sovittuna sääntönä. Vuorovaikutusmetaforat ovat taas jotakin näiden kahden välillä. Esimerkiksi ottamalla esineen ”kulmista” kiinni ja tekemällä venytyseleen käyttäjä suurentaa esineen. Venyttämisele toimii näin vuorovaikutusmetaforana esineen suurentamiselle.

Virtuaalitodellisuudessa järjestelmä saa käyttäjältä syötteitä hänen sijainnistaan, sijainnin muutoksista sekä käyttäjän suorittamista toiminnoista ja eleistä. Käytettyyn sovellukseen on ohjelmoitu valmiiksi erilaisia vuorovaikutusmalleja, joiden kautta käyttäjä ja sovellus voivat kommunikoida keskenään tehokkaasti. Vuorovaikutusmalleja virtuaalimaailmassa voidaan jaotella eri tavoilla. Craig et al. (2009) jakaa ne seuraavasti:

- *valinta (selection)*: suunnan tai objektin valinta
- *virtuaalimaailman manipulointi (manipulating the virtual world)*: realistisesti tai ”yliluonnollisella” tavalla
- *navigointi (navigation)*: suunnistaminen (wayfinding) ja liikkuminen (travel)

LaViola et al. (2017) puolestaan jakaa VR:n vuorovaikutuksen valintaan ja manipulointiin, liikkumiseen ja järjestelmän hallintaan. Jeraldin (2016) teoksessa vuorovaikutuksen muodostavat valinta, manipulointi, näkökulman hallinta, epäsuora hallinta sekä yhdistetyt menetelmät.

Tässä tutkimuksessa heuristiikkojen pohjalla on käytetty Craig et al. jaottelua valintaan, manipulointiin ja navigointiin (tässä liikkuminen). Valinta tehtiin jaottelun selkeyden ja yksinkertaisuuden vuoksi. LaViolan järjestelmän hallinnan nähtiin liittyvän enemmänkin käyttöliittymään yleensä. Jeraldin jaottelun voidaan jossain määrin nähdä sisältyvän Craig et al. jaotteluun esimerkiksi valinnan ja manipuloinnin osalta. Seuraavissa luvuissa kerrotaan, miten liikkuminen (4.2.1), valinta (4.2.2) sekä manipulointi (4.2.3) voidaan toteuttaa virtuaalimaailmassa käyttäjäystävällisellä tavalla.

4.2.1 Liikkuminen

IA1.1 Liikkumismenetelmässä on otettu huomioon virtuaalimaailman laajuus

IA1.2 Liikkumismenetelmä auttaa käyttäjää sopeutumaan virtuaalimaailmaan

Craig et al. mukaan (2009) navigointi virtuaalimaailmassa koostuu suunnistuksesta (wayfinding) ja liikkumisesta (travel). Liikkumisella tarkoitetaan paikasta toiseen liikkumista virtuaalimaailmassa esimerkiksi kävellen tai käyttäen jotain kulkuneuvoa.

Suunnistuksella tarkoitetaan virtuaalimaailmasta saadun informaation hyödyntämistä suunnan ja liikkumisnopeuden säätelyä varten. Virtuaalimaailman hyvällä suunnittelulla voidaan helpottaa suunnistusta erilaisilla keinoilla. Virtuaalimaailmasta ja sen suunnittelusta kerrotaan enemmän luvussa 4.1. Tämä luku esittelee, miten käyttäjä voi löydettyään määränpänsä tehokkaasti liikkua sinne. Tapaa, jolla virtuaalimaailmassa liikutaan, kutsutaan tässä tutkimuksessa liikkumismenetelmäksi.

Liikkumismenetelmän valintaan ei ole yleensä yhtä oikeaa ratkaisua. Riippuu hyvin paljon sovelluksesta ja sen tarkoituksesta, kohderyhmästä sekä virtuaalimaailman laajuudesta, mitä liikkumismenetelmää kannattaa milloinkin käyttää. LaViola et al. (2017) mukaan liikkumisen tarkoituksen (travel task) avulla voidaan määritellä, minkälaista liikkumismenetelmää tulisi käyttää. Teoksessa liikkumistyyppit voidaan jakaa seikkailevaan tutkimiseen (*explore*), etsimiseen (*search*) ja liikkeen ohjaukseen ja hallintaan (*maneuvering*). Seikkaillessa käyttäjällä ei ole tarkkaa kohdetta virtuaalimaailmassa, vaan hänen tarkoituksenaan on tutkia virtuaalimaailmaa. Etsinnässä käyttäjällä on olemassa valmis kohde, mutta hänen on löydettävä se virtuaalimaailmasta. Liikkeen ohjauksessa käyttäjälle ovat selviä niin kohde kuin tarkka reitti kohteen luokse. Ohjatussa liikkumisessa on keskeistä rajatulla alueella tarkasti liikkuminen.

Lisäksi on olemassa muita liikkumismenetelmän valintaan vaikuttavia tekijöitä. Näitä ovat muun muassa

- matkan pituus
- kääntymisen tarve liikuttaessa
- kohteen näkyvyys käyttäjälle matkan lähtöpisteessä
- liikkuminen horisontaalisesti ja vertikaalisesti
- liikkeen vaadittava tarkkuus
- muut matkan aikana vaadittavat tehtävät

(LaViola et al., 2017)

Liikkumisen kohteen etäisyyden huomioonottaminen liikkumismenetelmän valinnassa on tärkeää, sillä pienessä maailmassa saattaa riittää esimerkiksi käyttäjän sijainnin seuraaminen, ja sen mallintaminen virtuaalimaailmaan. Suuressa ympäristössä täytyy käyttää toisenlaisia menetelmiä, sillä fyysinen tila toimii rajoittavana tekijänä virtuaalimaailmassa liikuttaessa.

Liikkumisen oikeanlainen suunnittelu on tärkeää, sillä liike on yksi niistä asioista, jotka saattavat herkistää käyttäjän VR-pahoinvoinnille (Oculus VR, 2018; Jerald, 2016, s. 163-172). Sensory conflict -teoriaa mukaillen VR-pahoinvointi aiheutuu aistien välisestä konfliktista. Käyttäjä saa visuaalisesti tietoa liikkumisesta, vaikka tasapainoaistin mukaan käyttäjä pysyykin paikoillaan. Tämän konfliktin välttämiseksi voidaan käyttää esimerkiksi teleporttimenetelmää. Menetelmän avulla käyttäjä liikkuu paikasta toiseen osoittamalla paikkaa, johon haluaa liikkua ja ilmestymällä sinne. Tässä menetelmässä liike on nopea, tai se ei näy käyttäjälle lainkaan, jolloin se ei altista pahoinvoinnille.

Pahoinvointia voidaan vähentää myös käyttämällä liikkumisessa jotakin kulkuneuvoa, ja antamalla käyttäjälle kontrolli sen liikuttamisesta. Joidenkin teorioiden mukaan VR-pahoinvointiin vaikuttavat samanlaiset tekijät kuin matkapahoinvoinnin syntyyn. Matkapahoinvointia kokevat erityisesti kulkuneuvon matkustajat, kun taas kuljettajalla on harvemmin matkapahoinvointioireita (Rolnick & Lubow, 1991). Kun käyttäjän annetaan olla ”kuljettajana” sovelluksessa, pahoinvointia ei välttämättä koeta niin herkästi. Jeraldin mukaan (2016, s. 207-208) kulkuneuvon tarjoama visuaalinen vihje kuljettajalle voi helpottaa sopeutumista virtuaalimaailmaan. Kulkuneuvoa voi käyttää eräänlaisena ”virtuaalinenänä” joka auttaa käyttäjää asemoimaan itsensä virtuaaliympäristössä. Lisäksi Robloxin suositusten mukaan kulkuneuvo tuntuu käyttäjältä luonnolliselta varsinkin silloin, kun käyttäjä käyttää sovellusta istuallaan (Roblox, 2018).

Myös liikkeen nopeus ja suunta voivat vaikuttaa siihen, miten herkästi käyttäjä kokee VR-pahoinvointia. Esimerkiksi hitaasti kiihtyvä liike tai sivuttainen liike voivat Oculusin suosituslistan (Oculus VR, 2018) mukaan aiheuttaa käyttäjälle pahoinvointia. Tämä on hyvä huomioida liikkumismetaforan sekä virtuaalimaailman reittien suunnittelussa.

Oculus VR (2018) ehdottaa käyttämään avataria antamaan käyttäjälle vihjeen siitä, mihin suuntaan ja millä tavalla käyttäjän tulisi liikkua. Näin käyttäjällä on mahdollisuus sopeutua liikkeeseen etukäteen, jolloin pahoinvointi vähenee. Esimerkiksi kolmannesta persoonasta kuvatuissa sovelluksissa voi näkyä, kuinka avatar kääntyy, ennen kuin kuvakulma kamerassa vaihtuu.

Liikkuminen VR-maailmassa on tärkeää, niin käyttäjän turvallisuuden kuin vuorovaikutuksen sulavuuden takia. Liikkumisen suunnittelussa on otettava huomioon

liikuttavat etäisyydet, virtuaalimaailman koko sekä liikkeen nopeus. Suljettu virtuaalinen huone vaatii erilaista lähestymistapaa kuin avara virtuaalimaailma, jossa käyttäjä voi liikkua vapaasti. Erilaisia menetelmiä liikkumiseen on kehitetty useita, ja vain testaamalla saadaan selville, miten valittu liikkumismenetelmä sopii sovelluksen käyttötarkoitukseen.

4.2.2 Valinta

IA2.1 Valittavat esineet tulisi erottua niistä, joita ei voi valita

IA2.2 Valintametaforassa on huomioitu esineen koko ja etäisyys käyttäjästä

Virtuaalimaailmassa liikkumisen lisäksi käyttäjä on vuorovaikutuksessa virtuaalimaailman objektien kanssa. Objekteilla voi olla erilaisia tarkoituksia ja ne voivat olla abstrakteja tai hyvinkin konkreettisia. Jotta käyttäjä pystyy toimimaan virtuaalimaailmassa vuorovaikutuksessa näiden objektien kanssa, hänen on tiedettävä mitkä niistä ovat valittavissa, ja miten valinta suoritetaan.

Perinteisessä WIMP-käyttöliittymässä tietokoneella käyttäjä voi erottaa valittavat esineet esimerkiksi koon, värin tai sijainnin perusteella. Virtuaalimaailmassa käyttäjät usein haluavat kokeilla kaikkia näkyvillä olevia virtuaaliobjekteja. Käyttäjän ollessa osana virtuaalimaailmaa kaikki objektit saattavat vaikuttaa valittavilta. Tästä syystä käyttöliittymissä keinoja tulisi hyödyntää perinteisiä metodeja, joiden avulla käyttäjä saa tietoa valittavista esineistä.

Kaksiulotteisessa ympäristössä tietokoneruudulla kaikki käyttöliittymän elementit ovat yhden hiiren klikkauksen päässä käyttäjästä. Virtuaalisessa kolmiulotteisessa ympäristössä valittavat esineet saattavat olla ympäriinsä ripoteltuna laajassa virtuaalimaailmassa. Hyvän käyttöliittymän ja liikkumismenetelmän ansiosta käyttäjä löytää valittavat esineet ympäristöstään ja osaa liikkua niiden luokse. Sovelluksesta riippuen tällainen ympäriinsä liikkuminen voidaan korvata hyvällä valintamenetelmällä, joka ottaa etäisyyden lisäksi huomioon valittavien esineiden koon ja lukumäärän.

LaViola et al. (2017) kuvailee valintaa yhtenä tehtävänä osana 3D-objektien manipulointia. Manipulointi ja valinta ovat omia osa-alueitaan heuristiikoissa. Valinnan fyysisen maailman vastine on esineiden poimiminen tai niiden osoittaminen esimerkiksi puheen avulla. LaViola erottelee lisäksi yhden esineen valinnan ja useamman esineen valinnan keskenään. Valintatehtävän parametreina toimivat kohteen etäisyys ja suunta

käyttäjistä, kohteen koko, muiden objektien lukumäärä valittavan kohteen ympärillä, valittavien kohteiden lukumäärä sekä kohteen peittävyys.

Virtuaalimaailmassa kaikki esineet saattavat käyttäjän näkökulmasta näyttää potentiaalisesti kohteilta, joiden kanssa voidaan olla vuorovaikutuksessa. Tämän vuoksi niiden tulisi jollakin tapaa selkeästi erota niistä esineistä, joiden kanssa ei voida olla vuorovaikutuksessa. Yksi turhauttavimmista kokemuksista virtuaalimaailmassa voi olla, kun käyttäjä yrittää valita esinettä, joka on todellisuudessa vain ”rekvisiittaa”, vaikka tämä ei ulkonäöltään eroa millään tavalla toiminnallisista esineistä. Tällöin ainoa keino käyttäjälle on ainoastaan kokeilla kaikkia mahdollisia esineitä, jotta saa tietää, voiko olla niiden kanssa vuorovaikutuksessa vai ei. Tämä on paitsi turhauttavaa, myös aikaa vievää, ja sotii esimerkiksi Nielsenin käyttöliittymän tilan näkyvyyden, käyttöliittymän johdonmukaisuuden sekä virheiden estämisen heuristiikkoja vastaan (Nielsen, 1995).

Kohteiden määrä, koko ja etäisyys käyttäjistä on otettava huomioon valintamenetelmän suunnittelussa. Virtuaalitodellisuuden sovelluksia varten on kehitetty eri metaforia, joiden avulla tietyn tyyppisten kohteiden valinta on helppoa ja tehokasta. Metaforan avulla käyttäjä ymmärtää helposti, miten vuorovaikutusmenetelmä toimii.

Tyypillisin valintamenetelmä on virtuaalinen laserosoitin, joka kohdistetaan valittavaan esineeseen. Osoitin toimii yleensä käsiohjaimella. Käyttäjä aktivoi laserin, jolloin ohjaimesta lähtee lasersäde suoraan eteenpäin. Tämän jälkeen käyttäjä voi osoittaa ohjaimella mitä tahansa virtuaalitilan esinettä, joka on hänen näkyvissään. Osoitin on kätevä tapa valita myös kaukana olevia esineitä. Näin käyttäjän ei tarvitse toistuvasti liikkua esineiden luokse, jotta voisi valita ne. Käyttäjystävällisyyttä voi lisätä myös, että esineen valintaan liitetään automaattinen toiminto. Esimerkiksi valitsemalla osoittimella oven kahvan ovi avautuu automaattisesti. (LaValle, 2016)

Joskus käyttäjän täytyy valita useita kohteita samanaikaisesti. Tätä varten kannattaa harkita oman valintamenetelmän käyttämistä. Yksi tyypillinen tapa valita useita kohteita samanaikaisesti on niin kutsuttu ”taskulamppu-tekniikka” (flashlight technique). Samoin kuin laserosoittimessa, käyttäjä aktivoi sen käsiohjaimen painikkeella. Lasersäteen sijasta ohjaimesta lähtee kartionmuotoinen alue, jonka sisälle jäävät esineet käyttäjä voi valita. (LaViola et al., 2017)

Valintamenetelmän valinnassa on tärkeintä, että vuorovaikutus on käyttäjälle mukavaa, helppoa ja riittävän nopeaa. Vuorovaikutuksen ei välttämättä tarvitse seurata todellisen maailman fysiikan lakeja täydellisesti, vaan valintamenetelmät voivat olla tavallaan maagisia. Valintamenetelmä voi olla niin sanottu ”go-go vieterikäsi”, jolloin käyttäjän avatarin käsi venyy noutamaan halutun esineen käyttäjän luokse luonnonlakeja uhmaten. Valintaa voidaan helpottaa myös niin, ettei käyttäjän valinnan tarvitse osua täsmälleen halutun esineen kohdalle. Riittää että käyttäjä osoittaa laserosoitinella tai muulla menetelmällä tarpeeksi lähelle. (LaViola et al., 2017)

Valintamenetelmän valintaan vaikuttaa, niin kuin liikkumismenetelmänkin valinnassa, erityisesti sovelluksen tarkoitus ja käyttäjäryhmä. Jos käyttäjäryhmällä on esimerkiksi motorisia vaikeuksia, olisi valintamenetelmän oltava mahdollisimman yksinkertainen. Kokeneemmat käyttäjät puolestaan arvostavat luultavasti eniten nopeutta ja tehokkuutta. Vaikka valintametodeja on kehitetty useita, oikean menetelmän löytää usein vain testaamalla.

4.2.3 Manipulointi

IA3.1 Valittavissa olevia esineitä on kyettävä manipuloimaan tai tarkastelemaan

IA3.2 Manipuloinnissa hyödynnetään esineiden luonnollisia tarjoumia

Kun käyttäjä on saanut valittua haluamansa objektin tai objektit, hän haluaa joko manipuloida valitsemaansa objektia, tai manipuloida virtuaalimaailmaa ympärillään objektin avulla. Alun perin käyttäjä on valinnut ehkä kappaleen, koska se on vaikuttanut kiinnostavalta tai erottunut jollakin tapaa muusta virtuaalimaailmasta. Virtuaalimaailmalla on tapana houkuttaa käyttäjiä katsomaan ja kokeilemaan eri asioita. Kun käyttäjä valitsee virtuaalimaailman esineen, hänen on myös pystyttävä sujuvasti tarkastelemaan tai manipuloimaan valittua esinettä.

Valittu objekti voi olla käyttäjälle entuudestaan tuttu oikeasta maailmasta, tai se voi olla virtuaalimaailmaa varten luotu aivan uusi esine tai asia. Jotta käyttäjä tietää, millä tavalla objektia voidaan manipuloida tai mikä sen merkitys saattaisi olla virtuaalimaailmassa sen tulisi ulkonäöllään viestiä mitä mahdollisuuksia se tarjoaa, ja minkä tyyppistä käyttö se ei salli. Käytettävyytutkimuksessa affordanssi- tai tarjouma-termiä käytetään kuvaamaan objektin tarjoumia käyttömahdollisuuksia käyttäjälle. Norman määrittelee

tarjouma-termin klassikkoteoksessaan *The design of everyday things* (2013) käytettävän esineen tai asian ominaisuuksien ja käyttäjän kykyjen väliseksi suhteeksi.

Erilaisilla käyttäjillä on erilaisia kykyjä ja ominaisuuksia, jotka vaikuttavat käytettävän esineen tarjoamiin. Tuoli tarjoaa lapselle erilaisia käyttömahdollisuuksia: hän voi istua sen päällä, käyttää sitä korokkeena hakiessaan jotakin kaapista tai vaikkapa käyttää sitä osana tyynylinnoitustaan. Kissalle tuoli sopii makuualustaksi tai ponnahduslaudaksi. Lapsi ei mahdu tuolille makaamaan, eikä kissa osaa rakentaa tyynylinnaa: tuoli tarjoaa siis erilaisia mahdollisuuksia eri käyttäjäryhmille. VR-käyttöliittymässä on tarjoutuvia elementteille, joiden avulla käyttäjä voi käyttää erilaisia toimintoja. Jerald (2016, s. 279) käyttää esimerkkinä virtuaalista kättä, joka mahdollistaa erilaisten objektien valinnan virtuaalimaailmassa.

Jotta käyttäjä tunnistaa esineen tai asian tarjouman, voidaan Normanin mukaan käyttää erilaisia merkitsijöitä (signifier). Merkitsijä toimii eräänlaisena vihjeenä siitä, millaisia erilaisia tarjoutuvia objekteilla on, eli mitkä ominaisuudet esineessä mahdollistavat toiminnan tietyllä tavalla (Norman 2013). Esimerkiksi kahva kertoo siitä, että esineestä voidaan ottaa kädellä kiinni, vetää tai työntää. Virtuaalimaailmassa tällainen konkreettinen merkitsijä antaa käyttäjälle hyvän vihjeen siitä, mitä hänen kannattaa kokeilla ja tehdä.

Tarjoumien suunnittelussa kannattaa hyödyntää esineiden luonnossakin toimivia konkreettisia käyttötapoja. Sijoittamalla käyttäjän lähelle roskakorin hän voi heittää siihen objekteja, jotka hän haluaa hävittää virtuaalimaailmasta. Virtuaalisaksilla objektien muotoa voi muokata, ja maalipurkillla vaihtaa niiden väriä. Käyttäjäystävällisintä on tehdä näistä vuorovaikutusmetaforista mahdollisimman yksinkertaisia, jotta ne olisi helppo käsittää ja oppia nopeasti, ilman erillistä ohjeistusta (LaValle, 2016).

Mitä monimutkaisempi käytettävä esine on, sitä hankalampi sillä on saada käyttäjä tekemään haluttua asiaa (Leap Motion, 2015). Painikkeen ainoa mahdollinen toiminto on painaminen. Palloa sen sijaan voi heittää, pomputtaa tai vierittää. On käyttäjäystävällistä suunnitella manipuloitavat esineet niin, että niillä pystyy tekemään vain tiettyä, haluttua asiaa. Muut toiminnot rajataan pois esineen käyttötavoista. Käytettävyytutkimuksessa toimintoja pois rajaavia ominaisuuksia kutsutaan rajoitteiksi (constraints) (Norman 2013). Niiden avulla pyritään ohjaamaan käyttäjää käyttämään sovellusta tavalla, johon se on tarkoitettu. Virtuaalimaailmassa käyttäjä voidaan esimerkiksi ohjata ottamaan

kiinni aseensa kahvasta, ja estämällä muut tavat tarttua aseeseen. Näin saadaan käyttäjä pitämään asetta kädessään oikealla tavalla.

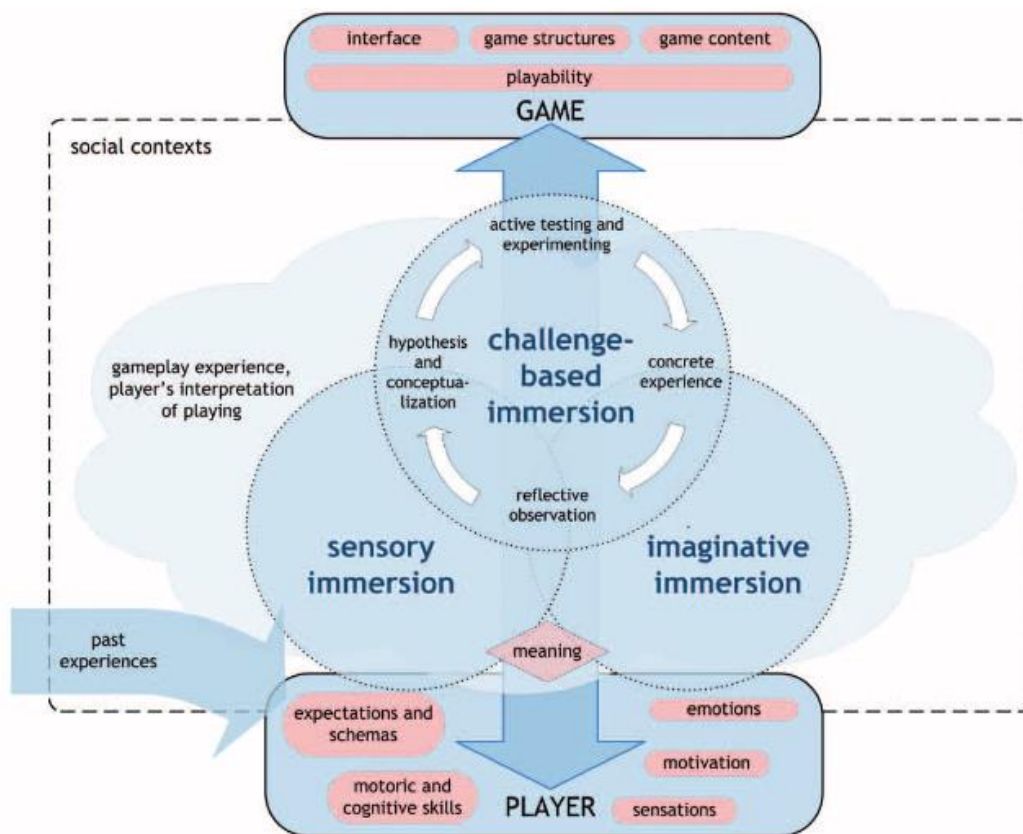
Manipulointi on ehkä yksi jännittävimmistä vuorovaikutuksen tavoista virtuaalimaailmassa. Virtuaalimaailma mahdollistaa monia tapoja manipuloida ympäröivää maailmaa ja sen esineitä. Käyttäjät ovat hyvin innokkaita kokeilemaan virtuaalimaailman tarjoamia mahdollisuuksia. Siksi onkin tärkeää, että käyttäjälle on selvää, mitkä asiat virtuaalimaailmassa mahdollistavat vuorovaikutuksen, ja mitkä vuorovaikutuksen tavat ovat mahdollisia. Merkitsijöiden avulla käyttäjä saadaan tietoisiksi eri esineiden tarjoumista, ja rajoitteilla puolestaan rajataan tietyt väärät vuorovaikutuksen tavat pois. Selkeät toimintatavat auttavat käyttäjää näkemään virtuaalimaailman mahdollisuudet, ja kannustavat kokeilemaan, oppimaan ja luomaan uutta.

4.3 Immersio

Kun katsotaan elokuvaa tai pelataan peliä, voi kokemus temmata mukaansa niin, että tuntee olevansa keskellä tarinan tapahtumia. Tätä kokemusta voidaan kuvata termeillä läsnäolo (presence) tai immersio (immersion). Näitä termejä käytetään usein synonyymeina toisilleen, tosin jokseenkin eri konteksteissa.

Keskeistä immersiossa ja läsnäolon tuntemuksessa on, että käyttäjä kokee olevansa tietyssä paikassa. Paikka on tila, johon on sidottu jokin merkitys (Turner & Turner, 2006). Merkityksiä tuottavat Turnerin ja Turnerin (2006) mukaan ympäristön fyysiset piirteet, muistot ja assosiaatiot tilaan liittyen, toiminnot, joita tila tarjoaa, kuten sosiaalinen vuorovaikutus, joka tilaan saattaa liittyä. Tutkimuksessaan he esittävät paikan merkittävänä tekijänä, joka vaikuttaa läsnäolon tunteen kokemukseen.

Läsnäolontunnetta virtuaalitodellisuudessa on määritelty esimerkiksi Steuer (1992). Läsnäolo linkittyy hänen VR-määritelmässään etäläsnäoloon. Steuerin mukaan läsnäolo viittaa luonnolliseen ympäristön havainnointiin, kun taas etäläsnäolossa ympäristö



Kuva 15. SCI-malli (Ermi & Mäyrä 2005)

havaitaan välittäjän kautta, tässä tapauksessa VR-kokemuksen avulla. Hänen mukaansa VR-järjestelmän avulla koetaan kaksi tilaa rinnakkaisesti: todellinen maailma, missä käyttäjä käyttää VR-järjestelmää, sekä virtuaalimaailma, johon päästään VR-kokemuksen kautta. Voidaan ajatella, että kokemus on parhaimmillaan, kun käyttäjä ei enää huomaa olevansa todellisessa maailmassa, vaan voi täysin syventyä virtuaalimaailmaan ja sen toimintaan. Tällöin syntyisi täydellinen läsnäolon kokemus. (Steuer, 1992)

Ermin & Mäyrän (2005) mukaan läsnäolo-termiä ollaan käytetty usein teleoperaatioiden kuvauksessa, kun taas immersiota on käytetty esimerkiksi kuvaamaan mielen prosesseja pelaamisen aikana. Heidän SCI-mallissaan immersio rakentuu kolmesta eri osa-alueesta: aisteista, haasteista ja eläytymisestä (sensory-, challenge-based- ja imaginative immersion). Malli on tarkoitettu immersion mallintamiseen pelien ja pelaamisen kontekstissa, mutta sopii myös kuvaamaan immersiota virtuaalimaailmassa. Aistien immersiolle tarkoitetaan käyttäjän audiovisuaalista kokemusta. Haasteiden immersiolle taas tarkoitetaan käyttäjän taitojen ja pelin haastavuuden tasapainoa. Vaaditut taidot

voivat olla niin motorisia kuin mentaalisiakin. Eläytymisen immersiossa on kyse tarinaan ja hahmoihin samaistumisesta.

Seuraavaksi esittelen immersion osa-alueet tämän tutkimuksen heuristiikoissa. Osa-alueet muistuttavat jossain määrin Ermin ja Mäyrän SCI-mallin osa-alueita. Intensiivisyys viittaa siihen, kuinka intensiivisesti käyttäjä on vuorovaikutuksessa sovelluksen kanssa ja kuinka hän pääsee siinä flow-tilaan. Sillä on siis yhteys Ermin ja Mäyrän haastavuuden immersioon. Intensiivisyyttä ja sen saavuttamista käsitellään luvussa 4.3.1. Eri aistit viittaavat käyttäjän saamiin syötteisiin VR-järjestelmän kautta, näistä etenkin näkö-, kuulo-, ja tuntoaistien ulottuvuudet. Tässä on nähtävissä yhteys Ermin ja Mäyrän aistien immersioon. Syötteitä eri aisteille esitellään luvussa 4.3.2. Realistisuus taas liittyy virtuaalimaailman ja sen hahmojen realistisuuden tasoon. Vastaava immersion osa-alueena voidaan pitää SCI-mallin eläytymistä. Virtuaalimaailman ja sen hahmojen realistisuuden merkityksestä puhutaan luvussa 4.3.3.

4.3.1 Intensiivisyys

P1.1 Intensiiteetti skaalautuu käyttäjän taitojen ja sovelluksen tarkoituksen mukaisesti

P1.2 Käyttäjä tietää, mikä on tavoite ja kuinka se saavutetaan

Immersion yhtenä osa-alueena Ermin ja Mäyrän SCI-mallin mukaan on haasteisiin pohjautuva immersio. Seuraavaksi esitellään VR-heuristiikkojen vastaava osa-alue, intensiivisyys. Intensiivisyydellä tarkoitetaan, kuinka VR-sovellus saa käyttäjän flow-tilaan, jossa haaste ja taidot ovat tasapainossa. Intensiiteettiin vaikuttaa myös tavoitteiden selkeys VR-sovelluksessa. Luvussa 4.3.1 kerrotaan flow-tilasta, sekä siitä, miten se vaikuttaa immersioon.

Csikszentmihályin (1997) tunnetun Flow-teorian mukaan käyttäjä kokee flown (virtauksen) tunteen, kun hänen taitonsa ja tehtävän tarjoama haaste ovat tasapainossa. Käyttäjä tai pelaaja keskittyy flowssa tekemäänsä täysin, eikä joudu enää ajattelemaan tehtävän suorittamisen eri vaiheita. Flow-tilassa käyttäjä on samanaikaisesti valpas ja toisaalta uppoutunut tehtäväänsä ja sen suorittamiseen. Csikszentmihályi kuvaa flow-tilaa nautinnollisena ja ihmiselle optimaalisena onnellisuutta tuottavana tilana.

Esimerkiksi Bian et al. (2016) kuvaavat flowta VR-pelien käyttäjäkokemuksen tärkeänä kriteerinä. Koska flow-tila on immerstiivinen ja nautittava kokemus käyttäjälle, flown

mahdollistaminen parantaa VR-pelin tai sovelluksen käyttäjäkokemusta. Bian et al. (2016) esittelevät tutkimuksessaan, kuinka flow-tilaa voi mitata erilaisilla fysiologisilla mittareilla. Flow-tilaan päästessään käyttäjä on täysin keskittynyt tekemiseensä. Tämän vuoksi voi olla hankalaa saada käyttäjältä tietoa siitä, milloin tämä on flow-tilassa. Fysiologisten mittareiden avulla havainnoimalla saadaan tietoa siitä, milloin käyttäjä saavuttaa flow-tilan, ja miten tila vaikuttaa hänen suorituskykyynsä. Tämä voi olla hyödyllistä tehtäessä käyttäjä tutkimusta. Aina fysiologisten mittareiden käyttäminen ei ole kuitenkaan mahdollista, ja tällöin käyttäjän tai arvioitsijan tulisi osata arvioida flow-tilaa muilla kriteereillä.

Näissä heuristiikoissa immersion yhtenä osa-alueena on intensiivisyys, ja siihen liittyvät flow-tilan mahdollistavat kriteerit. Esimerkiksi Sweetser & Wyeth (2005) kehittivät pelikokemuksen flow-tilan arvioimiseen GameFlow kriteeristön, joita ovat soveltaneet muun muassa reaaliaikaisten strategiapelien arvioinnissa (Sweetser et al., 2012). Sweetserin ja Wyethin kriteerit koostuvat kahdeksasta osa-alueesta, jotka mukailevat jossain määrin Csikszentmihalyin flow-tilan osa-alueita:

1. concentration (keskittyminen),
2. challenge (haaste),
3. skills (taidot),
4. control (hallinta),
5. clear goals (selkeät tavoitteet),
6. feedback (palaute),
7. immersion (immersio),
8. social interaction (sosiaalinen vuorovaikutus)

Flow-tilassa on oleellista käyttäjän taitojen ja tehtävien vaikeuden tasapaino. Mitä taitavammaksi käyttäjä kehittyy, sitä enemmän haastetta tehtävien tulisi hänelle tarjota. Tämä lisää virtuaaliodellisuudessakin kokemuksen immersiivisyyttä. Käyttäjällä tulee olla mahdollisuus kehittää taitojaan ja oppia jatkuvasti. Tämän mahdollistaa selkeät tavoitteet ja palaute, jonka käyttäjä saa sovellukselta suoriutumisestaan.

Immersion intensiteettiin vaikuttaa käyttäjän saamien erilaisten syötteiden määrä ja voimakkuus. Robloxin VR-suunnittelun suositukset kehottavat ottamaan myös VR-kokemuksen tunnelman ja temmon (Roblox, 2018). Jos kokemus on liian raju, se saattaa ahdistaa käyttäjää. Jos käyttäjä haluaa pois virtuaalimaailmasta tämän vuoksi, on

sovelluksen intensiteetti liian suuri käyttäjälle. Virtuaalimaailmassa käyttäjä on tapahtumien, valojen ja hahmojen keskellä. Liian nopea tempo ja liiallinen määrä erilaisia tehosteita voi olla uudelle käyttäjälle liikaa. Siksi intensiteetti on osattava skaalata käyttäjän VR-taitojen ja oppimiskäyrän mukaisesti.

4.3.2 Eri aistit

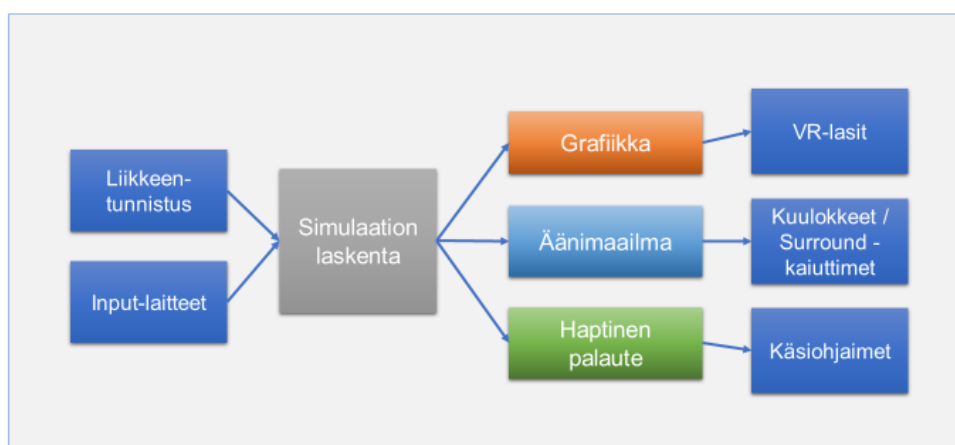
P2.1 Äänimaailma toimii kolmiulotteisesti käyttäjän ympärillä

P2.2 Kuvataajuus on riittävän korkea ja tasainen

P2.3 Ohjainten haptinen palaute helpottaa vuorovaikutusta virtuaalimaailmassa

Nykyiset VR-laitteistot rakentuvat yleensä virtuaalilaseista, joiden avulla käyttäjä näkee ympäristönsä virtuaalimaailmassa, kuulokkeista, joiden avulla hän kuulee mitä ympärillä tapahtuu reaaliaikaisesti sekä ohjaimista, joiden avulla hän kykenee olemaan

Tyypillinen VR-järjestelmä



Kuva 16. VR-järjestelmän rakenne

vuorovaikutuksessa ympäröivän virtuaalimaailman kanssa. Ohjainten kautta käyttäjä saa usein haptista- eli tuntopalautetta, joka helpottaa vuorovaikutusta. Käyttäjä saa siis palautetta näkö-, kuulo- ja tuntoaistinsa kautta. Nämä kolme aistia ovat avain sovelluksen immersiiivisyyden lisäämiseen.

Korhosen (2016) Game usability -heuristiikoissa GUIa on hyvä esimerkki audiovisuaalisten elementtien huomioimisesta heuristiikoissa. *GUIa Audio-visual representation supports the game* kuvaa sitä, kuinka paljon äänimaailmalla voidaan vaikuttaa immersioon ja käyttäjän tunnetilaan. Peligrafiikat puolestaan antavat informaatiota ympäristöstä ja tukevat pelin tarinaa. Virtuaalimaailmassa kuva ja ääni

vaikuttavat käyttäjään vielä syvemmin, sillä käyttäjä on käytännössä eristetty virtuaalimaailmaan kuulokkeiden ja virtuaalilasien vuoksi. Esimerkiksi Rogers et al. (2018) toteavat tutkimuksessaan, että äänimaailmalla on VR-järjestelmän kannalta vielä enemmän vaikutusta immersiivisyyteen kuin normaalissa pelijärjestelmässä. Virtuaalimaailma onkin ihanteellinen tila immersion luomiseen ja lisäämiseen näiden työkalujen avulla. Immersio voi kuitenkin rikkoontua, jos kuva, ääni ja haptinen palaute toimivat epä johdonmukaisesti tai huonosti.

Jotta ääni olisi käyttäjälle mahdollisimman uskottava, on sen kuulostettava samalta kuin todellisessa kolmiulotteisessa ympäristössä. Vääränlaiset syötteet vääristävät käyttäjän ja objektien etäisyyksien hahmottamista (Stanney et al., 2003). Leap Motionin artikkelissa (2017) kerrotaan, miten äänisuunnittelulla voidaan saada ”tekstuuria” VR-maailmaan. Artikkelissa kuvaillaan, kuinka äänisuunnittelun avulla käyttäjä pystyy paremmin paikallistamaan itsensä ja erilaisia virtuaalimaailman elementtejä virtuaalisessa tilassa. Ilman tuntoaistin kautta saatavaa palautetta ympäristöstä ja sen pinnoista, voidaan äänimaailmalla luoda tilan tuntua.

Käyttäjällä on VR-lasien ansioista mahdollisuus katsoa mihin tahansa suuntaan virtuaalimaailmassa. Äänipalautteen avulla käyttäjälle pysyy tietoisena sellaisista tapahtumista, jotka ovat hänen näkökenttensä ulkopuolella. Leap Motionin mukaan hyvin ajoitetuilla äänillä voi jopa saada aikaan ”haamutuntemuksia”, jolloin käyttäjä tuntee koskevansa jotakin virtuaalimaailmassa, vaikka todellisuudessa vaikutelma kosketuksesta onkin tullut ääniefektien ajoituksen ja reaktiivisuuden kautta. (Leap Motion, 2017)

Näköaisti on pääosassa virtuaalimaailmassa. Siksi virtuaalilasien kautta saatavat aistihavainnot vaikuttavat huomattavasti koettuun immersion. Tähän vaikuttaa kuvataajuus. Kuvataajuus, (frame rate), on taajuus, jolla virtuaalilasien näyttö päivittää kuvan. Se voidaan ilmaista hertzeinä (hz) tai kuvina sekunnissa (frames per second eli FPS). Mitä korkeampi on kuvataajuus, sitä immersiivisempi on kokemus.

Yleensä suositeltu kuvataajuus VR-sovelluksille, joita käytetään VR-laseilla, on 90 FPS. Esimerkiksi Oculus VR -suositusten (2018) mukaan optimaalisin kuvataajuus olisi nimenomaan 90 FPS, ja minimisuositusten mukaisessa koneessa sen tulisi olla vähintään 45 FPS. Playstationin suositus peleilleen on 60 FPS, joka on vähimmäismäärä, jolla pelin on toimittava (Grubb, 2016). Ennen kaikkea kuvataajuuden on oltava tasainen. Jos

kuvataajuus vaihtelee paljon esimerkiksi 60-90 FPS välillä, käyttäjän immersio katkeaa, sillä vaihtelu näkyy käyttäjälle sovelluksen hidasteluna. Tämän vuoksi kuvataajuuden tasaisuuteen tulisi kiinnittää huomiota varsinkin VR-järjestelmää kuormittavien jaksojen osalta.

Kuulo ja näköaistin lisäksi sovellusta suunnitellessa on otettava huomioon tuntoaisti. Tuntoaistiin viitataan usein taktiilisena havaitsemisena tai haptiikkana. Termeillä tarkoitetaan yleensä ihon kautta koettavaa tuntoaistimusta. Haptiikkaa käytetään esimerkiksi peliohjaimissa ja mobiililaitteissa, jotka antavat käyttäjälle värinäpalautteen.

Haptinen palaute on jo pitkään ollut tärkeä osa VR-kokemusten kehitystä. Stone (2001) esittelee historiallisessa katsauksessaan, kuinka tärkeää haptisen palautteen realistinen toteutus on ollut erilaisissa VR-sovelluksissa. Varsinkin virtuaalitodellisuuden alkuvaiheilla haptinen palaute oli tärkeä etäläsnaolon ja etätyöskentelyn toteuttamisessa. Esimerkiksi DataGloven tarkoitus oli tuottaa VR-sovelluksen käyttäjälle tuntemus siitä, että hän todella koskettaa täysin toisessa tilassa sijaitsevaa objektia (Stone, 2001).

Koska käyttäjä ei pysty fyysisesti koskettamaan virtuaalista esinettä, hänen voi olla vaikea toimia vuorovaikutuksessa erilaisten virtuaaliobjektien kanssa. Monet VR-järjestelmät sisältävätkin käsiohjaimet, jotka tuottavat käyttäjälle haptisen palautteen, ja auttavat näin käyttäjää hahmottamaan virtuaalimaailmaa ja sen objekteja. Esimerkiksi koskettaessa virtuaaliobjektia ohjain antaa käyttäjälle haptisen palautteen, joka auttaa käyttäjää hahmottamaan objektin mittasuhteita ja käyttäytymistä. Haptinen palaute ei saa häiritä käyttäjää, vaan auttaa häntä eläytymään virtuaalimaailmaan.

4.3.3 Realistisuus

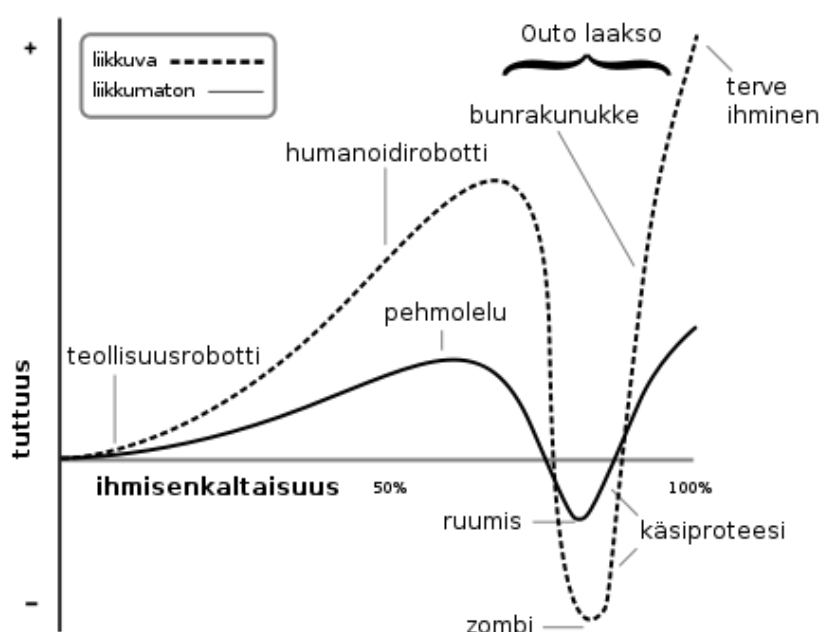
P3.1 Virtuaalimaailman realistisuuden taso tukee sovelluksen tarkoitusta

P3.2 Hahmojen ja avatarien realistisuus tukee vuorovaikutusta ja tuntuu luonnolliselta

Virtuaalimaailman realistisuudella tarkoitetaan tässä sekä virtuaalimaailman graafista ulkoasua, että virtuaalimaailman ”luonnonlakien” realistisuutta. Virtuaalimaailman luonnonlait eli VR-sovellukseen ohjelmoidut fysiikan lait vaikuttavat esimerkiksi esineiden painoon, liikkumiseen ja käytökseen virtuaalimaailmassa. Lait voivat olla tarkalleen sellaisia kuin todellissakin maailmassa. Tämä on tarpeen silloin, kun kyseessä on esimerkiksi opetuskäyttöön tarkoitettu VR-sovellus, jonka tulisi opettaa käyttäjälleen

esimerkiksi silmäkirurgiaa tai vaikkapa hissien asentamista. Realismia tuo myös, ettei käyttäjä esimerkiksi törmäile tai kulje läpi virtuaalisista objekteista.

Hahmojen ja käyttäjän avatarin tulisi käyttäytyä luonnollisesti ja realistisesti. Hahmojen realistisuutta voi olla kuitenkin vaikea saavuttaa. Keinotekkoisten hahmojen outo laakso, ”uncanny valley” tarkoittaa tilannetta, jossa luotu hahmo muistuttaa jonkin verran oikeaa ihmistä tai eläintä, mutta epäaidot piirteet siinä aiheuttavat katsojassa negatiivisen reaktion. Masahiro Mori kehitti käsitteen 1970-luvulla kuvaamaan robottien ihmismäisyyden aiheuttamaa reaktiota ihmisissä (Mori, 2012). Ohessa mukailtu versio Morin alkuperäisestä kuvaajasta.



Kuva 17. Kuvaaja Morin Oudosta laaksosta. (Pafcu & MacDormand, 2007)

Mori havaitsi, että robotin ihmisenkaltaisuus lisäsi sen tuttuutta ja viehättävyyttä. Kuitenkin tiettyyn pisteeseen saavuttaessa realistisuus alkoi toimia hahmoa vastaan. Kuvaajassa tämä kohta näkyy syvänteenä, outona laaksona, jossa aitoa jäljittelevä hahmo aiheuttaa katsojassa negatiivisia tunteita. (Mori, 2012)

Vaikka käsite liittyi alun perin robottien ihmismäisyyteen, on sitä käytetty kuvaamaan muitakin keinotekoisia hahmoja, esimerkiksi kolmiulotteisella grafiikalla luotuja elokuva- tai pelihahmoja. Virtuaalimaailmassa hahmot ovat usein nimenomaan 3D-grafiikalla luotuja. Jotta käyttäjän olisi luontevaa olla vuorovaikutuksessa muiden hahmojen kanssa olisi hahmojen oltava sellaisia, etteivät ne aiheuta käyttäjässä epämiellyttäviä tunteita, jotka saattavat pahimmillaan rikkoa immersion. Lisäksi

virtuaalitodellisuudessa oudon laakson tunne voidaan liittää muihinkin aisteihin: tutkimuksissa on havaittu esimerkiksi haptisen palautteen aiheuttavan oudon laakson tuntemuksen (Berger et al. 2018).

Aiheeseen liittyvä tutkimus on usein keskittynyt etsimään erilaisia outouden tunteen aiheuttavia tekijöitä (Stein & Ohler, 2017). Esimerkiksi Timwell et al. (2011) selvittivät tutkimuksessaan erilaisia tunteita ilmentävien ilmeiden vaikutusta siihen, miten ihmismäisenä hahmoja pidettiin. He havaitsivat, että silmien ilmeettömyys sellaisissa tunteissa, kuten viha, pelko ja inho, aiheutti sen, että hahmoa pidettiin todennäköisemmin epäaitona. Steinin ja Ohlerin (2017) tutkimuksessa tuntemukselle on esitetty evoluutiopsykologisia syitä. Hahmoja pidetään mahdollisina taudinaiheuttajina, mahdollisina psykopaatteina tai ne muistuttavat katsojan omasta kuolevaisuudesta. Syitä on haettu myös kognitiiviseen dissonanssiin pohjautuvasta teoriasta, jolloin katsojan odotusten ja hahmon ulkonäön ristiriita aiheuttaa oudon laakson kokemuksen. (Stein & Ohler, 2017).

Yksi tapa välttää oudon laakson tunnetta on tehdä virtuaalimaailmasta tyyllitelty tai sarjakuvamainen. Tällöin käyttäjä voidaan saada hyväksymään epärealistiset piirteet virtuaalihahmoissa, ja niitä saatetaan jopa pitää viehättävinä. Tärkeintä onkin ottaa huomioon sovelluksen tarkoitus ja mahdollinen kohderyhmä. Näin voidaan saavuttaa kompromissi realistisuuden ja käyttäjäystävällisyyden välillä.



Kuva 18. Kuvakaappaus The Accountant -VR-pelistä. Sarjakuvamaiset hahmot saattavat olla helpommin lähestyttävämpiä virtuaalimaailmassa kuin täysin realistiset.

Virtuaalimaailmassa muiden hahmojen lisäksi käyttäjän oma hahmo, avatar, on suunniteltava helposti samaistuttavaksi ja ymmärrettäväksi käyttäjälle. Esimerkiksi VR PLAY-heuristiikoissa (2017) ohjeistetaan luomaan käyttäjän avatarista sellainen, joka lisää samaistuttavuutta niin tunnetasolla kuin fyysisen olemuksen kautta. Avatarin kautta käyttäjä sidotaan virtuaalimaailmaan. Kun käyttäjä kokee olevansa osa virtuaalimaailmaa, kokemuksesta tulee immersioisempi.

4.4 Turvallisuus

Jason Jerald käyttää kirjassaan The VR Book (2016) termiä VR-pahoinvointi (VR sickness) kattoterminä VR-kokemuksen aiheuttamille erilaisille pahoinvoinnin muodoille.

Pahoinvoinnin eri tyyppejä ovat esimerkiksi liike- kyber- ja simulaattoripahoinvointi. Liikepahoinvointia koetaan tyypillisesti kulkuneuvoissa kyydissä ollessa, jossa pahoinvointi liittyy liikkeen kokemiseen. Kyberpahoinvointi tarkoittaa immersiiivisen virtuaalimaailman aiheuttamaa pahoinvointia. Simulaattoripahoinvoinnilla tarkoitetaan taas pahoinvointia, joka ei johdu simuloitavan tilanteen aiheuttamasta pahoinvoinnista, vaan simulaattorin teknisistä puutteista. (Jerald, 2016, s. 160)

VR-pahoinvointia selittämään on kehitetty erilaisia teorioita. Sensory conflict -theory eli aistien ristiriidan teoria esittää, että pahoinvointia ilmenee, kun eri aistit välittävät keskenään ristiriitaista tai mentaalimallien vastaista tietoa. Esimerkiksi virtuaalilaseja pidettäessä käyttäjä tuntee tasapainoaistillaan, että ei liiku, mutta lasit välittävätkin hänelle päinvastaista tietoa. Evoluutiollisen- tai niin kutsutun myrkkysteorian mukaan ristiriitainen tieto aiheuttaa sen, että keho luulee olevansa ikään kuin myrkytystilassa. Oksennusreaktion tai huonon olon (liikkumisen estämisen) tarkoituksena olisi tällöin taistella myrkyä ja sen leviämistä vastaan. (Jerald, 2016, s.165-166)

Laajimpia tutkimuksia VR-pahoinvointiin liittyen on *The Kennedy Simulator Sickness Questionnaire* (SSQ) (Kennedy et al., 1993). Tutkimusta varten testattiin yli tuhat käyttäjää kymmenessä erilaisessa lentosimulaattorissa. Simulaattoreissa ja virtuaalitodellisuussovelluksissa on paljon samaa, ja simulaattorit ovat olleet tärkeässä osassa VR-järjestelmien kehityksen historiassa (kts. luku VR-historia). Tutkimuksen perusteella selvitettiin 16 yleisintä simulaatiopahoinvoinnin oiretta, jotka jaettiin kolmeen kategoriaan:

- näköaistin oireet (oculomotor),
- tasapainottomuus (disorientation),
- huimaus, pahoinvointi (nausea).

Kyselyä on käytetty pahoinvoinnin mittaamiseen myös virtuaalitodellisuuden kontekstissa. Esimerkiksi Kim et al. (2018) kehittivät tutkimuksessaan alkuperäisen kyselyn pohjalta uuden VR-pahoinvointikyselyn. Kyselyä käytettiin heuristiikkojen kehittämisen tukena.

Seuraavissa luvussa kerrotaan, millä tavoin VR-sovellusten käyttäjän turvallisuus virtuaalimaailmassa voidaan huomioida. Luvussa kerrotaan VR-pahoinvoinnista sekä sen ehkäisemisestä (luku 4.4.1), sekä pohditaan erilaisia keinoja, joilla VR-sovellus olisi

ergonominen käyttöä (luku 4.4.2). Lopuksi tarkastellaan tapoja, joilla erityyppiset käyttäjät voidaan huomioida VR-sovelluksissa (luku 4.4.3).

4.4.1 Virtuaalimaailman turvallisuus

S1.1 Virtuaalisten kameroiden liikkeen tulisi vastata käyttäjän pään ja vartalon liikkeitä.

S1.2 Käyttäjä kykenee milloin tahansa katsomaan ympärilleen

S1.3 Latenssin on oltava minimaalinen ja tasainen

Syitä pahoinvoinnin kokemiseen VR-järjestelmiä käytettäessä on useita. Aiemmin mainittu liike tai liikkeen esittäminen on yksi niistä. Yhtenä merkittävimmistä VR-pahoinvointia aiheuttavista tekijöistä pidetään latenssia. Latenssi tarkoittaa aikaa, joka kuluu käyttäjän antamasta syötteestä siihen, kun VR-sovellus reagoi, ja vastaa käyttäjän syötteeseen. Käytännössä tämä tarkoittaa että, kun käyttäjä kääntää virtuaalimaailmassa päätään, niin järjestelmän on näytettävä uutta päänasentoa vastaava kuva käyttäjän lasien kautta.

Latenssi on olemassa oikeastaan jo silloin, kun käyttäjä oikeassa maailmassa katsoo esimerkiksi ohi lentävää lintua, ja aivot tulkitsevat silmän reseptorien kautta tulevan tiedon. Jerald (2016) toteaaakin, että käyttäjä tottuu latenssiin ajan kanssa. Pahoinvointia ilmaantuu, kun latenssi kasvaa liian suureksi, tai vaihtelee paljon. VR-järjestelmien valmistajilla on erilaisia suosituksia latenssin vähentämiseen sekä latenssin maksimimäärään (Oculus VR, 2017).

Pahoinvointia voi aiheuttaa, jos se mitä käyttäjä näkee ei vastaa hänen liikkeitään todellisessa maailmassa. Immersiivisessä, ensimmäisessä persoonassa kuvatuissa pelissä käytetään usein käyttäjän näkökulman heilutusta tai tärinää realismin lisäämiseksi esimerkiksi räjähdysten yhteydessä. VR-lasien kanssa vastaavia erikoisefektejä ei kannata käyttää, sillä ne aiheuttavat hyvin herkästi pahoinvointia käyttäjälle (Jerald, 2016, s. 210). Tämä johtuu siitä, että kameran liike virtuaalimaailmassa ja käyttäjän liikkumattomuus todellisessa maailmassa aiheuttavat aiemmin mainitun aistien ristiriidan, joka puolestaan johtaa pahoinvoinnin kokemukseen. Tämän välttämiseksi käyttäjän liikkeiden ja käyttäjän näkymän virtuaalimaailmasta tulisi vastata toisiaan mahdollisimman tarkasti.

Jotta käyttäjällä olisi turvallinen olo virtuaalimaailmassa, käyttäjän tulisi tuntea olevansa hallinnassa. Virtuaalilasit mahdollistavat sen, että käyttäjä ei ole lukittu yhteen näkökulmaan, kuten normaalien näyttöjen kanssa, vaan hän pystyy milloin tahansa katsomaan ympärilleen. Ympäri katsomisen tulisikin olla käyttäjälle mahdollista aina, niin valikkoja käyttäessä kuin muidenkin taukojen aikana (Leap Motion [c], 2016). Käyttäjän katsetta ei voida lukita samalla tavalla tiettyyn näkymään, kuin perinteisissä sovelluksissa, vaan huomion kiinnittäminen on toteutettava muulla tapaa. Jos käyttäjä ei yllättäen pystykään katsomaan ympärilleen, se saattaa aiheuttaa käyttäjälle ahdistusta tai muita epämiellyttäviä tuntemuksia.

Virtuaalimaailmassa on tärkeää, että käyttäjä voi kulkea siellä itsevarmana ja uteliaana, ilman pelkoa pahoinvoinnista tai muista epämiellyttävistä tuntemuksista. Siksi vaikka VR-sovellusta ei olisikaan muuten toteutettu realistisesti, on latenssin ja käyttäjän näkymän toimittava kuten oikeassakin maailmassa käyttäjän turvallisuuden takaamiseksi.

4.4.2 Ergonomia

S2.1 Virtuaalimaailman esineet on sijoitettu sopivalle etäisyydelle ja korkeudelle

S2.2 Käyttäjä ei joudu pitämään käsiään tai muuta kehoaan jännittyneenä pitkiä aikoja

S2.3 Ohjainten käyttö tai liikkuminen eivät rasita käyttäjää

Turvallisuuteen liittyy VR-pahoinvoinnin lisäksi ergonomia sovelluksessa. Kuten Bowman et al. toteavat artikkelissaan virtuaaliympäristön sovellusten käytettävyyden arvioinnista (2002), fyysinen ympäristö vaikuttaa siihen, millaiseksi virtuaalimaailma kannattaa suunnitella. Sovelluksesta riippuen sitä voidaan käyttää joko istualtaan tai seisaaltaan, ja käyttöliittymän kanssa voidaan olla vuorovaikutuksessa käyttäen koko vartaloa hyödyntäviä liikkeitä. Käyttäjä ei näe ympäröivää fyysistä tilaa virtuaalilasiensa takaa, ja sovellus on suunniteltava tämä huomioon ottaen (Bowman et al., 2002).

Lisäksi vuorovaikutus virtuaalimaailmassa sekä VR-laitteet itsessään altistavat käyttäjän rasitukselle. Virtuaalitodellisuuslaseja käytettäessä on olennaista, että käyttäjä pystyy ja usein pyrkiikin katsomaan ympärilleen päätään kääntämällä, niin horisontaalisesti kuin vertikaalisesti. Pään pitäminen raskaassa asennossa aiheuttaa räsitystä käyttäjälle. Pelkästään virtuaalilasien paino aiheuttaa käyttäjän niskalle räsitystä. Siksi käyttöliittymän elementit tulisi sijoittaa käyttäjän ympäristöön niin, että ne rohkaisevat käyttäjää katselemaan ympärilleen (Leap Motion [c], 2016). Tärkeiden esineiden tai

käyttöliittymän elementtien tulisi olla sellaisella korkeudella käyttäjään nähden, ettei hänen tarvitse kurkottaa tai pitää päätään epämukavassa asennossa pitkiä aikoja.

VR-sovelluksesta riippuen käyttäjä on vuorovaikutuksessa virtuaalimaailmaan joko liikkeenseurantaa hyödyntävällä järjestelmällä, VR-ohjainten tai esimerkiksi perinteisen peliohjaimen välityksellä. Jos käytetään VR-ohjaimia tai liikkeenseurantaa, tulisi käytettävien eleiden olla käyttäjää vähän rasittavia, varsinkin jos puhutaan toistuvista eleistä ja liikkeistä. VR-suunnitteluohjeissa kehoitetaan usein välttämään niin kutsuttua gorilla arm-efektiä. Gorilla arm tarkoittaa käsien rasittumista johtuen niiden jännittämisestä pitkään, esimerkiksi pidettäessä käsiä jatkuvasti ylhäällä (Jerald, 2016, s. 177). Käyttäjän tulisi kyetä käyttämään sovellusta tavalla, jossa hän voi tarvittaessa lepuuttaa käsiään. Sovellus voikin tarvittaessa muistuttaa käyttäjää lepäämään. Sovellukseen voi lisäksi luonnollisia suvantohetkiä, jolloin käyttäjä kykenee rentoutumaan.

Käyttäjä on usein vuorovaikutuksessa käyttöliittymän kanssa ohjainten kautta. Riippuen siitä, onko VR-ohjaimessa kolme vai kuusi vapauden astetta (degrees of freedom), suunnittelussa joudutaan soveltamaan erilaisia ratkaisuja. Yksinkertaisempien ohjainten (kolme vapauden astetta) kanssa vuorovaikutus tulisi pitää mahdollisimman yksinkertaisena. Kuusi vapauden astetta tarkoittaa, että VR-järjestelmä kykenee päättämään käsien sijainnin tarkemmin, joka puolestaan mahdollistaa paremman ergonomian. Suunnittelussa kannattaa lisäksi huomioida käyttäjien oikea- tai vasenkätisyys, sekä mahdolliset liikuntarajoitteet. (Oculus VR, 2018)

4.4.3 Käyttäjien huomioiminen

S3.1 Käyttäjäkokemuksen voi räätälöidä

S3.2 Käyttäjä voi pitää tauon VR-kokemuksen aikana

S3.3 Sovelluksesta löytyy selkeä poistumiskeino

Esimerkiksi Kennedyn simulaatiopahoinvointikyselyn avulla voidaan selvittää, aiheuttaako sovellus pahoinvointia käyttäjille. Pahoinvointia ehkäistäessä on lisäksi hyvä ottaa huomioon sovelluksen kohderyhmän käyttäjät. Käyttäjien aiemmat VR-kokemukset, ikä ja sukupuoli (boyd, 2014) voivat vaikuttaa siihen, miten herkästi käyttäjät voivat kokea VR-pahoinvointia. Esimerkiksi Munafu et al. (2017) tutkimuksessa osoitettiin Oculus Rift- järjestelmän aiheuttavan naisille enemmän

pahoinvoinnin oireita kuin miehille. Tämän pääteltiin johtuvan naisten erilaisesta tasapainoainnasta. Brooks et al. (2010) niin ikään havaitsi ajosimulaatioita koskevassa tutkimuksessaan vanhempien ihmisten saavan herkästi pahoinvointioireita.

Uusille käyttäjille VR-pahoinvointioireet ovat kaikkein yleisimpiä (Jerald, 2016, s. 201). Tämän vuoksi kokemuksen suunnittelu ensikertalaisia varten on tärkeää. Jos VR-sovellusten käyttäminen on ollut ensimmäisillä kerroilla epämukavaa, käyttäjä todennäköisesti välttelee niitä jatkossa. Ensikertalaisten oireita voidaan ehkäistä esimerkiksi käyttämällä kapeampaa näkökenttää, field of view eli FOV (Jerald, 2016, s. 201). Luonnollisesti ihmisen näkökenttä on hyvin laaja, mutta virtuaalimaailmassa se on rajoitettu. Mitä laajempi näkökenttä lasella on mahdollista saada, sitä todellisemmalta kokemus tuntuu. Toisaalta ensikertalaisille laaja FOV voi aiheuttaa epämukavuuden tunnetta. Siksi olisikin hyvä, että FOVin laajuuden voisi valita käyttäjän VR-kokemuksen mukaan.

Riittävä taukojen pitäminen on tärkeää, sillä pahoinvointi korostuu pitkissä VR-sessioissa. Tästä syystä sovelluksen pysäyttäminen ja taukojen pitäminen pitäisi tehdä käyttäjälle mahdollisimman helpoksi. Sovellus voidaan suunnitella niin, että se jaetaan lyhyisiin kokemuksiin, jolloin tauot tulevat luonnollisesti (Jerald, 2016, s. 204). Selkeä poistumistie on tärkeä silloin, kun sovellus voi aiheuttaa käyttäjälle ahdistusta. Tällöin poistumiskeinon olisi hyvä olla jokin muu kuin vain VR-lasien riisuminen, joka yleensä rikkoo immersion.

5 TUTKIMUSASETELMA

Quiñones ja Rusu toteavat kirjallisuuskatsauksessaan (2017), että käytettävyysheuristiikkojen muodostamiseen ei ole syntynyt erityistä vakiintunutta menetelmää. Kirjallisuuskatsauksessa he esittelevät useita erilaisia malleja, joiden avulla käytettävyysheuristiikat voidaan muodostaa. Heuristiikkojen pohjalla voidaan käyttää aiempia heuristiikkoja, standardeja tai esimerkiksi kirjallisuuskatsausta. Quiñonesin ja Rusun katsauksen perusteella voidaan arvioida, että suuri osa uusista heuristiikoista perustuu jollain tapaa aiempiin heuristiikkoihin tai on muodostettu käyttäen jotakin heuristiikkojen muodostamiseen tarkoitettua metodologiaa.

Taulukko 2. Käytettävyysheuristiikkojen muodostamisen menetelmien jakautuminen. (Quiñones & Rusu, 2017)

Table 5
How usability heuristics are created.

Heuristics are created based on	Amount of studies	%
1. Existing heuristics	17 studies	25.00%
2. Methodologies	17 studies	25.00%
3. Literature reviews	9 studies	13.24%
4. Usability problems	9 studies	13.24%
5. Mixing processes	6 studies	8.82%
6. Guidelines, principles or design recommendations	5 studies	7.35%
7. Interviews	3 studies	4.41%
8. Theories	2 studies	2.94%
Total	68 studies	100%

Tässä tutkimuksessa on käytetty Rusun ja Quiñonesin (2017) mukaan erilaisten prosessien sekoitusta. Heuristiikat pohjautuvat niin aiempiin heuristiikkoihin, suunnittelusuositukseen kuin myös kirjallisuuskatsaukseen aiheesta. Tämän lisäksi heuristiikat on testattu iteratiivisessa prosessissa käyttäen asiantuntija-arvioinnin tuntevia testajia heuristiikkojen kehittämisessä.

Seuraavissa luvuissa kerrotaan tutkimuksessa heuristiikkojen testaukseen käytetyistä menetelmistä (luvut 5.1, 5.2 ja 5.3). Tämän jälkeen heuristiikkojen testaajien valinnasta (luku 5.4), testauksia varten tehdyistä esivalmisteluista (5.5) sekä testauksessa käytetyistä laitteistoista ja tiloista (5.6).

5.1 Heuristiset evaluointisessiot

Heuristiikkojen kehittämistä varten tutkimuksessa järjestettiin kaksi heuristisen evaluoinnin kierrosta. Kumpikin kierros koostui neljästä osasta, jossa jokaisessa arvioitiin yksi heuristiikkojen osa-alueista: käyttöliittymä, vuorovaikutus, immersio ja turvallisuus. Ensimmäinen testauskierros järjestettiin tammikuussa 2018, toinen testauskierros saman vuoden helmi-maaliskuun vaihteessa. Kumpikin testauskierros oli noin viikon mittainen. Sinä aikana jokaiselle testaajalle oli varattuna oma testaussessio, jonka kestoksi ilmoitettiin noin kaksi tuntia. Testauksen aikana testaajat arvioivat muodostettujen heuristiikkojen avulla VR-sovellusta. Tarkoituksena on selvittää, sopivatko uudet käytettävyyshauristiikat heuristiseen evaluointiin. Testauksen aikana testaajat suorittivat heuristisen evaluoinnin etukäteen valitulle sovellukselle, ja arvioivat sen jälkeen, kuinka hyvin heuristiikat sopivat asiantuntija-arviointiin.

Asiantuntija-arviointi valittiin tutkimuksen päämenetelmäksi. Asiantuntija-arvioinnin tarkoituksena oli selvittää, toimisivatko heuristiikat heuristisessa evaluoinnissa, sekä korjaamaan heuristiikkojen epäselviä osuuksia tarvittaessa. Tutkimuksessa tehtiin tavallaan kaksi evaluointia samanaikaisesti: VR-sovelluksen evaluointi sekä varsinainen VR-heuristiikkojen arviointi. Koska testaajat eivät voineet tehdä helposti muistiinpanoja testauksen aikana, testaussessiot dokumentoitiin videolle. Lisäksi testauksen aikana käyttäjät käyttivät Think aloud-menetelmää, jotta testauksen moderoinnissa sain tehtyä muistiinpanoja testaajien kohtaamista ongelmista.

Kummallakin testauskierroksella heuristiikat arvioitiin neljässä vaiheessa kyselyn avulla heti testaukseen valitun sovelluksen testauksen jälkeen. Testaajilla oli tuoreessa muistissa heuristiikoista löydetty hyvät ja huonot puolet. Samalla kyselyssä kysyttiin itse testauksen järjestelyistä, jotta voitaisiin selvittää, miten itse evaluointisessio kannattaa käytännössä toteuttaa muodostettuja heuristiikkoja käyttäen. Näiden vaiheiden lisäksi toisella testauskierroksella testaussessionsa lopussa käyttäjät muodostivat yksinkertaisen raportin VR-sovelluksessa kohdatuista ongelmista VR-heuristiikkoja apuna käyttäen.

Heuristista evaluointia varten valittiin 5 heuristisen evaluoinnin menetelmän tuntevaa evaluoitsijaa. Tämä koettiin riittäväksi määräksi testaajia, sillä se noudattaa heuristisen evaluoinnin kehittäjän Nielsenin suositusta koehenkilöiden lukumäärästä käyttäjätestauksessa. Nielsenin mukaan jokaisen uuden koehenkilön myötä uusia

havaintoja tulee aina vähemmän kuin edellisellä kerralla. Viidennen koehenkilön jälkeen uusia havaintoja tulee hyvin vähän. Jos testaukseen valitaan vaikkapa 15 henkilöä, on kannattavampaa jakaa nämä 15 henkeä kolmeen ryhmään, joita käytetään testauksen eri vaiheissa, kuin testata tuotetta kerran näillä kaikilla viidellätoista koehenkilöllä, sillä viimeisten koehenkilöiden kohdalla uusia havaintoja ei tulisi enää juuri ollenkaan. (Nielsen, 2000)

5.2 Think aloud-menetelmä

Nielsen pitää (Nielsen, 2012) Think aloud -menetelmää yhtenä parhaista käytettävyyden metodeista. Desurviren ja El-Nasrin (2013) mukaan Think aloud -menetelmän esitteli ensimmäisenä käyttäjäkokemus-asiantuntijoille Clayton Lewis vuonna 1982 raportissaan *Using the "Thinking Aloud" Method In Cognitive Interface Design*. Myöhemmin Peter Wright ja Andrew Monk ottivat sen käyttöön käytettävyydestauksen menetelmänä. Menetelmää on käytetty paljon erilaisten digitaalisten tuotteiden, kuten pelien testauksessa. (Desurvire & El-Nasr, 2013)

Lewis (1993) kuvailee kirjassaan *Task-Centered User Interface Design* Think aloud -menetelmän alkuperäistä raporttiaan mukailleen. Samalla, kun käyttäjä suorittaa testaustehtävän, tarkkailija pyytää häntä verbalisoimaan ajatuksiaan testauksen aikana. Tämä on hyödyllistä verrattuna pelkkään käyttäjän tarkkailuun, kuten selviää Tom Knollin artikkelista (2018), jossa käsitellään Think aloud -menetelmän käyttöä pelitutkimuksessa. Käyttäjää tarkkailtaessa saadaan selville ainoastaan, että käyttäjä on törmännyt ongelmaan, mutta varsinainen syy saattaa jäädä hämäräksi tai arvailujen varaan. Think aloud -menetelmän avulla saadaan tarkemmin tietoa siitä, mitä käyttäjä oli todella ajatellut ongelman kohdatessaan (Knoll, 2018).

Virtuaalitodellisuussovelluksen käytettävyyden arvioinnissa Think aloud -menetelmää voidaan hyödyntää monella tavalla. Sitä voidaan käyttää esimerkiksi käyttäjiä tarkkailtaessa lisätietojen saamiseksi. Menetelmää käytetään muutenkin yleensä muiden menetelmien, kuten käyttäjätestauksen yhteydessä. Tässä tutkimuksessa Think aloud -menetelmää on käytetty tukemaan heuristista evaluointia. Heuristista evaluointia tehdessä käytettävyydsiantuntija tekee usein muistiinpanoja samalla, kun tutkii evaluoitavaa sovellusta tai verkkosivua. Myös pelejä arvioitaessa peli voidaan pysäyttää, jotta evaluoija voi tehdä muistiinpanoja tai ottaa ruutukaappauksen kohtaamastaan

ongelmasta. Tosin esimerkiksi Korhosen (2016) mukaan keskeyttäminen on usein hankalaa, tai saattaa rikkoa pelin immersion.

VR-järjestelmien kanssa molemmat edellä mainituista menetelmistä saattavat olla hankalia. Tämä johtuu siitä, että käytettävyydsasiantuntija joutuu muistiinpanoja varten ottamaan VR-lasit pois päästään. Jatkuva lasien kanssa operoiminen voi vaikeuttaa esimerkiksi immersion arviointia, ja on hankalaa ja aikaa vievää verrattuna esimerkiksi verkkosivujen käytettävyyden arvioinnissa. Verkkosovellusta arvioitaessa asiantuntijalla saattaa olla edessään käytettävät heuristiikat, jolloin hänen ei tarvitse muistaa niitä ulkoa sovelluksen läpikäynnin aikana. VR-lasien kanssa heuristiikkoja ei voi tutkia arvioinnin aikana samalla tavalla.

Think aloud -menetelmän käyttö yhdistettynä videonauhoitukseen on ratkaisu tähän ongelmaan. Kun asiantuntija nauhoittaa session, hän voi tehdä itselleen muistiinpanoja suullisen pohdinnan muodossa. Jälkikäteen hän voi tehdä kirjata ylös löytämänsä heuristiikkarikkeet videomuistiinpanojen pohjalta.

Heuristiseen evaluointiin voi kulua normaalia enemmän aikaa, kun se yhdistetään Think aloud -menetelmään. Evaluoitsija joutuu tavallaan kahteen kertaan käymään aineiston läpi kuunnellessaan ääneen puhumansa muistiinpanot. Se saattaa jonkin verran rikkoa heuristisen evaluoinnin ideaa: menetelmän on tarkoitus olla kevyt ja nopea tapa arvioida erilaisia ohjelmia ja käyttöliittymiä. Jatkossa olisikin hyvä pohtia, miten evaluoitsija voisi yksinkertaisella tavalla tehdä muistiinpanoja samalla kun tutkii VR-sovelluksen käytettävyyttä.

Tämän tutkimuksen tarpeisiin menetelmä sopi kuitenkin hyvin. Testaajan puhuessa ääneen VR-sovelluksen testauksen aikana testauksen moderoi tekni muistiinpanoja testaajan kommenttien ja omien havaintojensa pohjalta. Muistiinpanojen avulla testaaja saattoi verrata omia kokemuksiaan testattaviin heuristiikkoihin. Tämä noudattaa esimerkiksi Korhosen (2016) ehdotusta sihteerin käyttämisestä asiantuntija-arvioinnissa apuna. Korhosen mukaan pelaamisen muistiinpanojen kirjoittaminen itse voi olla hankalaa, jolloin omien ajatusten verbalisointi sihteerille säästää aikaa ja helpottaa evaluointia.

5.3 Kyselyt

Kyselyt ovat tapa kerätä tietoja yhtenäisesti tavalla, jolla epäoleelliset tiedot jäävät tutkimuksen ulkopuolelle. Kyselyt toteutetaan kyselylomakkeiden avulla, joihin tutkimukseen osallistuvat vastaavat. Kyselylomakkeilla voidaan kerätä joko laadullista tai määrällistä dataa. Niitä voidaan käyttää osana erilaisia tutkimuksia joko ainoana tutkimusmenetelmänä tai yhtenä useista tiedonkeruumenetelmistä. (Vanhala, 2005)

Vanhala toteaa, että toimivan lomakkeen muodostamiseen on vaativaa, ja edellyttää perehtymistä. Kyselyä voidaan kehittää iteratiivisesti niin, että kyselyä arvioidaan ja muokataan useita kertoja. (Vanhala, 2005)

Käytettävyystudkimuksessa on olemassa useita valmiita lomakkeita verkossa vapaassa käytössä (esimerkiksi www.usability.gov). Suuri osa näistä lomakkeista on englanninkielisiä. Vanhala (2005) huomauttaa, että vaikka valmiin, testatun lomakkeen käyttäminen voi nopeuttaa tutkimusprosessia, on kysely kuitenkin mahdollisesti käännettävä omalle kielelle. Lomaketta on myös usein muokattava omaan käyttötarkoitukseen sopivaksi (Vanhala, 2005).

Tässä tutkimuksessa kyselyä käytettiin kirjallisuuskatsauksen pohjalta muodostettujen heuristiikkojen kehittämiseen. Ensimmäisellä testauskierroksella tarkoituksena oli selvittää, kuinka toimivina testaajat pitivät heuristiikkoja, sekä kerätä kehitysehdotuksia heuristiikkoihin. Toisella testauskierroksella tarkoitus oli selvittää, olivatko heuristiikat kehittyneet paremmiksi ja miten niitä voitaisiin kehittää edelleen. Kyselyn avulla selvitettiin lisäksi, olivatko testatut sovellukset testaajien mielestä sopivia heuristiikkojen testausta varten. Lisäksi ennen testausta testaajat täyttivät ennakkokyselyn, jossa selvitettiin heidän käytettävyystudkimus ja tietotekniikkaosaamistaan.

Kyselyn pohjana käytettiin Jaferian et al. (2011) kehittämää kyselyä IT-heuristiikkojen evaluointiin. Kysely käännettiin suomeksi, jonka jälkeen siihen lisättiin tarkentavia ja avoimia kysymyksiä. Kyselyn avulla selvitettiin osa-alueittain ja jokaisen yksittäisen heuristiikan kohdalta:

- a. Onko heuristiikan avulla helppo löytää käytettävyysoongelmia testattavasta sovelluksesta?
- b. Onko heuristiikka helppo ymmärtää ja oppia?
- c. Onko heuristiikkaa helppo soveltaa testattavaan sovellukseen?

Kyselyssä käytettiin Likertin asteikkoa 1-5: täysin eri mieltä, eri mieltä, neutraali, samaa mieltä ja täysin samaa mieltä. Testaussessiot oli jaettu neljään osaan: käyttöliittymä, vuorovaikutus, immersio ja turvallisuus. Jokaisen osan jälkeen testaajat vastasivat osioon liittyvään kyselyyn. Lopuksi käyttäjät vastasivat koko testaussessiota koskevaan jälkikyselyyn.

5.4 Heuristiikkojen testaajat

Testaajat olivat suurimmalta osalta informaatiotutkimuksen ja interaktiivisen median opiskelijoita Tampereen yliopistosta. Mukana oli myös yksi Tampereen ammattikorkeakoulun interaktiivisen median opiskelija. Testaajia valittaessa otettiin huomioon heidän aiempi kokemuksensa käytettävyydestä ja heuristisesta arvioinnista. Useimmilla testaajilla oli ennestään jonkin verran kokemusta VR-sovelluksista, mutta se ei ollut välttämätöntä. Tärkeintä oli, että testaajat tuntevat heuristisen arvioinnin menetelmän. Testaajat myös käyttivät aktiivisesti älylaitteita, ja heidän tekniset taitonsa olivat hyvällä tasolla.

Taulukko 3. Heuristiikkojen testaajat

Testaaja	Testaaja 1	Testaaja 2	Testaaja 3	Testaaja 4	Testaaja 5
Ikä	20	28	26	22	29
Sukupuoli	Muu	Nainen	Mies	Nainen	Nainen
Älylaitteiden käyttö (tuntia päivässä keskimäärin)	5-10	2-5	2-5	2-5	5-10
Tietotekniset taidot					
Tietokoneen oletusohjelmat	Erinomainen	Erinomainen	Erinomainen	Erinomainen	Erinomainen
Yleiset toimisto-ohjelmat	Hyvä	Hyvä	Hyvä	Hyvä	Erinomainen
Erikoisohjelmistot	Hyvä	Perusteet	Tyydyttävä	Perusteet	Hyvä
Aikaisempi kokemus					
Kokemusta heuristisesta arvioinnista	On	On	On	On	On
Kokemusta virtuaalidollisuussovellusten käytöstä	Useammin kuin kerran	Useammin kuin kerran	Kerran	Useammin kuin kerran	Kerran

Ne, joilla oli kokemusta VR-laitteiden käytöstä useammin kuin kerran, olivat käyttäneet hyvin monipuolisesti erityyppisiä VR-järjestelmiä, kuten Oculus Riftiä, Google Cardboardia ja Samsung Gear VR-järjestelmää. Kyseiset testaajat olivatkin tässä tapauksessa tutkimuksen kaksoisasantuntijoita. He tunsivat niin heuristisen arvioinnin menetelmän, että testattavan sovellusalan. Kaksoisasantuntijoita voidaan pitää heuristisen arvioinnin kannalta parhaana mahdollisena vaihtoehtona, sillä he löytävät yleensä parhaiten heuristiikkarikkeita (Nielsen, 1992). Toisaalta oli myös hyvä saada

mukaan vähän VR-sovelluksia käyttäneitä käytettävyyssiantuntijoita, sillä he kiinnittivät huomiota enemmän ensikäyttäjille tyypillisiin ongelmiin. Näin saatiin monipuolinen kuva heuristiikkojen kattavuudesta.

Koska yksi testaajista ei puhunut suomea, heuristiikat ja kyselyt tehtiin suomeksi ja englanniksi. Koko testauksen olisi voinut toteuttaa pelkästään englanninkielisillä materiaaleilla, sillä kaikki testaajat olivat englanninkielentaitoisia. Tutkielman pääkieli oli kuitenkin suomi, jonka vuoksi pidin tärkeänä, että myös heuristiikoista olisi suomenkielinen versio. Tämä toi tietysti itse testaukseen omat haasteensa, sillä materiaalien oli oltava yhdenmukaiset kummallakin kielellä.

5.5 Testaussessioiden esivalmistelut

Ennen ensimmäistä testauskierrosta testaajille lähetettiin informaatiopaketti testauksesta. Pakettiin kuului esitietokysely, tietoa testauksesta, sen rakenteesta sekä itse heuristiikat. Heuristiikat lähetettiin etukäteen, jotta testaajilla olisi aikaa tutustua niihin sekä mahdollisesti jo kommentoida niitä esitietokyselyssä.

Heuristiikoista on kaksi versiota: lyhyt ja pitkä. Lyhyessä versiossa heuristiikat oli jaettu ylä- ja alakategorioihin helpottamaan heuristiikkojen muistamista. Kategorioiden avulla yksittäisille heuristiikoille muodostuu oma koodi. Käyttöliittymään liittyvät heuristiikat alkavat kirjaimilla UI (User Interface), Immersioon liittyvät kirjainkoodi on P (Precense), Vuorovaikutuksessa IA (InterAction) ja turvallisuudessa ja ergonomiassa S (Safety). Yksittäiset heuristiikat on koodattu yhdistämällä heuristiikkojen ylä-kategoria, alakategorian numero sekä yksittäisen heuristiikan numero. Esimerkiksi heuristiikassa

IA2.1 Pienten esineiden valinta on tehty käyttäjälle helpoksi

IA tarkoittaa heuristiikkojen yläkategoriaa *Vuorovaikutus*, *2* tarkoittaa alakategoriaa *Valinta ja objektit ja .1* on yksittäinen heuristiikka tässä alakategoriassa.

Näiden koodien tarkoitus on helpottaa heuristisen evaluointiraportin tekemistä. Ensimmäisessä testausvaiheessa oli tarkoitus saada tietoa siitä, pitävätkö testaajat ylä- ja alakategorioita selkeinä ja tuntuvatko yksittäiset heuristiikat kuuluvan oikeaan kategoriaan. Palautteen perusteella heuristiikkoja kehitettäisiin seuraavaa testausvaihetta varten.

Pitkät heuristiikat lähetettiin testaajille ensimmäisellä testauskierroksella. Pitkissä heuristiikoissa ylä- ja alakategorioiden sisältö oli selitetty yksittäisistä periaatteista kokonaisuksi lauseiksi ja kappaleiksi, jotta lyhyiden heuristiikkojen yksittäisiä heuristiikkoja olisi helpompi tulkita. Pitkissä heuristiikoissa ei selitetä auki jokaista yksittäistä heuristiikkaa, vaan pikemminkin avataan kyseisen heuristiikkaluokan ideaa ja tarpeellisuutta. Lopullisissa heuristiikoissa hyödynnetään Rusu et al. (2011) mallipohjaa heuristiikoille, jonka avulla heuristiikat voi dokumentoida tarkasti niin, että niiden hyödyntäminen heuristisessa evaluoinnissa ja sen raportoinnissa olisi helppoa ja tehokasta. Ensimmäisessä testauksessa pitkät heuristiikat oli selitetty vielä hyvin vapaamuotoisesti, jotta ne olisi helppo sisäistää.

Taulukko 4. Standardipohja heuristiikoille Rusu et al. (2011) mukaillen

Selite	Kuvaus
ID, nimi	Heuristiikkaa identifioiva koodi ja nimi
Selitys	Heuristiikan kuvaus, viittaukset muihin (omiin tai jonkun muun) heuristiikkoihin
Esimerkit	Esimerkit rikkeistä ja heuristiikan noudattamisesta
Hyödyt	Heuristiikan noudattamisen hyödyt käyttäjälle ja sovellukseen liittyen yleensä
Huomioitavaa	Miten heuristiikan voi ymmärtää väärin heuristisessa evaluoinnissa, muita huomioita

Ennen kumpaakin testaussessiota testauksessa käytetyt sovellukset testattiin pilottitesteissä. Pilottitestien avulla selvitettiin testauksessa käytettäviä sovelluksia alustavasti, sekä testaussession rakennetta. Pilottitestien perusteella muodostettiin lopullisten testaussessioiden rakenne ja sisältö.



Kuva 19. Testauksessa käytettiin HTC Vive laitteistoa.

5.6 Käytetyt laitteistot ja tilat

Heuristiikkojen testaus järjestettiin Tampereen yliopistolla Gamelab-tilassa. Testauksessa käytetty virtuaalitodellisuusjärjestelmä oli HTC Vive. Äänentoistoon käytettiin kuulokkeita, jotka oli kytketty Viven VR-laseihin. Valitsin järjestelmän, koska se löytyi tilasta valmiiksi, ja koska useat hankitut VR-kokemukset hyödyntävät kyseistä järjestelmää. Sovellukset hankittiin Steam-verkkopalvelun kautta.

Koetilanteen dokumentointiin käytettiin GoPro-videokameraa sekä kännykkäsovellusta, jolla kameraa pystyi etänä ohjaamaan. Sovelluksen avulla videoihin on mahdollista laittaa kirjanmerkkejä, sekä pysäyttämään kuvauksen ja sammuttamaan kameran. Videokuvauksen tarkoituksena oli myös nauhoittaa testaajien Think aloud-menetelmän käyttöä, jotta heuristiikkarikkeitä olisi helppo tarkistaa jälkikäteen.



Kuva 20. Ruutukaappaus pilottitestauksen videokuvasta. Kuvassa näkyy testaaja, sekä televisio, jonka kautta näkyy hänen lasiensä näkymä.

Testausta valvottaessa käytössäni olivat muistiinpanovälineet sekä ylimääräinen näyttö, jonka kautta näin käyttäjän näkymän. Videokuvaus toteutettiin niin, että kuvassa näkyivät sekä testaaja, että näytön näkymä yhtä aikaa. Näin pystyttiin tarkkailemaan testaajan toimintaa niin virtuaalisessa kuin fyysisessäkin tilassa.

6 HEURISTIIKKOJEN TESTAUS

Heuristiikkojen toimivuuden sekä laadun varmistamiseksi sekä heuristiikkojen kehittämiseksi järjestettiin kaksi heuristiikkojen testaussessiota. Ensimmäisellä testauskierroksella selvitettiin, olivatko heuristiikat helposti ymmärrettävät, sovellettavat ja oliko niiden avulla helppo löytää käytettävyyserikkeitä (luku 6.1). Tämän jälkeen testauksen tulosten perusteella heuristiikkoja kehitettiin (luku 6.2). Toisella testauskierroksella selvitettiin, olivatko heuristiikat kehittyneet eteenpäin aiempien kriteerien perusteella, sekä kuinka niitä käytännössä käytettäisiin heuristisessa evaluoinnissa (luvut 6.4 ja 6.5).

6.1 Ensimmäinen testauskierros

Testaajat olivat saaneet etukäteen materiaalipaketin liittyen ensimmäiseen testauskierrokseen. Aloitin jokaisen osallistujan kanssa lyhyellä johdannolla testauksen tarkoitukseen, sisältöön ja aikatauluun. Tämän jälkeen testaajat täyttivät

Aikataulu 1. testaukselle

Karkea aikataulu heuristisen testauksen sessiota varten.

- Tutkimuksen esittely ja lupalomakkeen tyttö 5 min**
- VR-laitteiden testaus, johdanto 5 min**
- Heuristinen evaluointi**
 - Käyttöliittymä, testaus 15 min + 5 min kyselyyn**
 - Vuorovaikutus, testaus 15 min + 5 min kyselyyn**
 - Immersio, testaus 15 min + 5 min kyselyyn**
 - Turvallisuus ja ergonomia, testaus 15 min + 5 min kyselyyn**
- Virheiden vakavuuden arviointi 5 min**
- Loppukysely 5 min**

Kuva 21. Testaajille lähetettiin etukäteen testauksen alustava aikataulu.

suostumuslomakkeen, jossa kerrottiin tutkimuksesta sekä videokuvauksen käytöstä tutkimuksen aikana.

Heuristiikkojen osa-alueet käytiin läpi yhteensä noin 15-20 minuutin jaksoissa. Jokaisen jakson aikana osa-alueeseen liittyvät heuristiikat käytiin yhdessä testaajan kanssa läpi, ja testaaja saattoi kysyä tarkentavia kysymyksiä heuristiikkoihin liittyen. Kun testaaja oli valmis, käynnistin sovelluksen ja autoin VR-lasit sekä ohjaimet käyttäjän ylle. Tässä vaiheessa kerroin testaajalle kuvauksen alkavan. Osallistujilla oli aikaa noin kymmenen minuuttia testata sovellusta heuristiikkojen osa-alueen osalta. Testin valvojana seurasin, että testaus sujuu turvallisesti. Testauksen aikana tein muistiinpanoja testaajien kommenttien ja toiminnan pohjalta.



Kuva 22. Testaajilla oli ääniä varten käytössään kuulokkeet.

Kun noin kymmenen minuuttia oli kulunut, ilmoitin testaajalle ajan päättyvän, ja autoin hänet irti VR-laitteista. Tämän jälkeen testaaja pääsi vastaamaan välikyselyyn sekä vapaamuotoiseen haastatteluun. Viimeisen osa-alueen jälkeen testaaja vastasi loppukyselyyn, jonka tarkoituksena oli selvittää, miten testausta voitaisiin parantaa toiseen vaiheeseen.

Jokaisen osa-alueen testauksen lopuksi testaajat täyttivät välikyselylomakkeen. Lomakkeen tarkoituksena on selvittää kuinka hyödyllisinä, helposti opittavina sekä

helposti sovellettavina testaajat yksittäisiä heuristiikkoja pitivät. Kyselyn alussa testaajat arvioivat heuristiikkojen osa-alueen näiden kriteerien mukaan Likertin skaalalla. Tämän jälkeen he arvioivat jokaisen yksittäisen heuristiikan samalla periaatteella.

Kun kaikki osa-alueet oli käyty läpi, käyttäjä sai lopuksi vastata kyselyyn itse testauksesta: mitä mieltä käyttäjä oli ollut käytetyistä sovelluksista, testauksen rakenteesta ja kyselylomakkeesta. Näin varmistettiin, että seuraavalle testauskierrokselle voitaisiin parantaa testauksen aikana ongelmalliseksi havaittuja kohtia.

Kokonaisuudessaan testaukseen meni aikaa vajaasta kahdesta tunnista kolmeen tuntiin, riippuen testaajan pitämien taukojen pituudesta. Myös haastatteluosuus saattoi joskus pidentää testauksen kestoja, sillä jotkut testaajista vastasivat kysymyksiin perusteellisemmin ja yksityiskohtaisemmin. Keskimäärin testaukseen kului aikaa noin kaksi tuntia.

Testattavia sovelluksia oli kolme. Lisäksi ennen varsinaista testausta käytettiin yhtä sovellusta johdatuksena VR-järjestelmän käyttöön. Kaikki olivat ilmaisia, Steam-pelijakelukanavan kautta julkaistuja VR-pelejä tai -kokemuksia, jotka toimivat HTC Vive-järjestelmässä. Sovelluksia oli testattu ensin kahdessa pilottitestissä, joiden aikana kerättiin tietoa siitä, miten varsinainen testaus toteutettaisiin. Sovellus pyrittiin valitsemaan testattavaan heuristiikkojen osa-alueeseen niin, että mahdollisimman monta heuristiikkaa tulisi esiin testauksen aikana. Kyseessä ei tarvinnut olla heuristiikkarike, vaan riitti, että jokin asia sovelluksessa ilmentäisi heuristiikan osa-alueita.

Jotkin sovelluksista olisivat sopineet myös muiden osa-alueiden testaukseen, ja usein testaaja jälkikäteen saattoi huomata jonkin muun heuristiikkojen osa-alueen rikkeen. Tällä ei sinänsä ollut merkitystä. Tärkeintä oli, että testaajat oppivat tunnistamaan ja muistamaan heuristiikkoja osa-alueesta riippumatta.

The Lab



Kuva 23. Kuvankaappaus Valven The Lab virtuaalikokeilutilasta.

Testauksen alussa varattiin aikaa virtuaalimaailmaan totutteluun ja VR-järjestelmän tutustumiseen. Tässä käytettiin Valven The Lab -nimistä VR-kokemusta, jonka avulla testaajat opettelivat HTC Vive -järjestelmän käyttöä. Samalla varmistettiin, että kaikki testaajat osaisivat Think aloud -menetelmän mukaisesti puhua ääneen kohtaamistaan ongelmista ja muista huomioistaan. The Lab valikoitui helppokäyttöisyytensä ja turvallisuutensa takia lämmittelytehtäväksi testaukseen.

Waltz of Wizard



Kuva 24. Kuvankaappaus Waltz of Wizardin velhon työpöydästä.

Käyttöliittymä-heuristiikkojen testaukseen valittiin Waltz of Wizard -sovellus. Kyseessä on virtuaalitodellisuuskokemus, jossa on pelillisiä elementtejä. Sovelluksessa käyttäjä pystyy itse tekemään loitsuja ja taikoja, sekä seikkailemaan erilaisissa maagisissa ympäristöissä vapaasti. Monipuolisten käyttöliittymäratkaisujensa vuoksi se sopi hyvin käyttöliittymä-heuristiikkojen testaukseen. Esimerkiksi pelissä on työpöytä, joka ilmensi kuinka tekstielementit kannattaa sitoa muihin 3D-objekteihin. Sovelluksessa käytetty asetusvalikko puolestaan toimi esimerkkinä virtuaalimaailmaan suunnitellusta käyttöliittymäratkaisusta.

The Accountant



Kuva 25. Kuvankaappaus The Accountant -pelin metsänäkymästä.

Toinen testattava sovellus oli The Accountant. Tämän sovelluksen aikana käytiin läpi kaksi heuristiikkojen osa-aluetta, Vuorovaikutus ja Immersio. Sovellus on tarinallinen ongelmanratkaisupeli. Koska vuorovaikutus ja immersio on toteutettu pelissä erinomaisesti, se valikoitui näiden osa-alueiden VR-kokemukseksi. Esimerkiksi sopivasti sarjakuvamainen toteutus tukevat sovelluksen ”virtuaalimaailmaan sopivaa realismia”. Myös kolmiulotteinen äänimaailma lisää sovelluksen immersiiivisyyttä. Vuorovaikutus on suunniteltu sovelluksessa hyvin selkeäksi ja yksinkertaiseksi, jonka vuoksi se sopi ilmentämään näitä heuristiikkoja. Pelin tarinan läpipelaaminen kokonaan kesti noin 20-25 minuuttia. Testaaminen aloitettiin vuorovaikutus-heuristiikkojen testauksella. Puolesta välissä peliä pidettiin tauko, jonka jälkeen jatkettiin immersio-heuristiikkojen osa-alueen parissa.

Blade Runner 9732



Kuva 26. Kuvankaappaus Blade Runner 9732 VR-kokemuksen tunnelmasta.

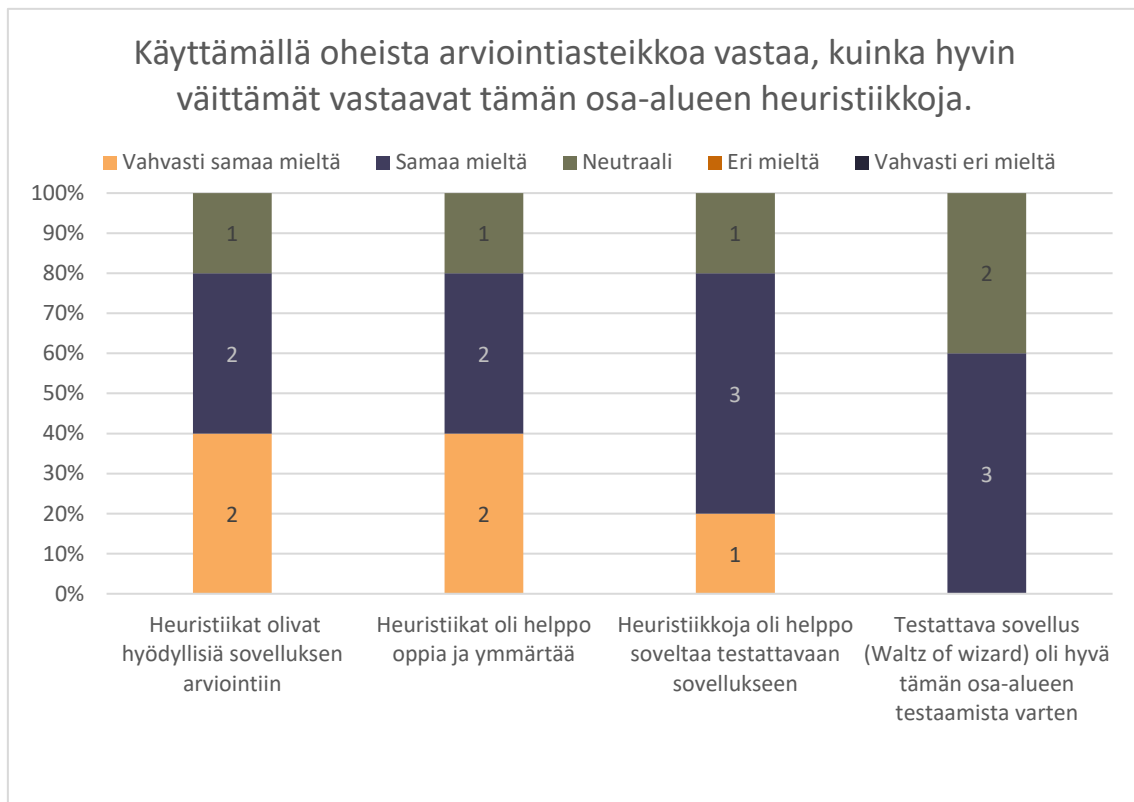
Neljäs käytetty sovellus oli Blade Runner 9732, joka pohjautuu Blade Runner -elokuvaan. Kyseessä on pikemminkin VR-kokemus kuin peli. Kokemuksessa käyttäjä pääsee tutustumaan elokuvan päähenkilön kotihuoneistoon ja eläytymään elokuvan tunnelmaan. Sen tarkoituksena on ollut mitä luultavimmin markkinoida silloista tuotetta Blade Runner -elokuvan jatko-osaa.

Tämän VR-kokemuksen aikana käytiin läpi turvallisuuteen liittyviä heuristiikkoja. Se valikoitui tähän osa-alueeseen siksi, että vaikka sovellus näyttää visuaalisesti hyvältä, siinä on muutamia ongelmia käyttäjän turvallisuuden kannalta. Sovellus jätettiin tämän vuoksi viimeiseksi, jotta mahdollisen ilmenevän pahoinvoinnin vuoksi testausta ei jouduttaisi keskeyttämään.

6.2 Ensimmäisen testauksen kyselyn tulokset

Seuraavaksi käydään läpi heuristiikkojen ensimmäisen version ([Liite 1](#)) kuhunkin osa-alueen testaukseen liittyviä tuloksia. Tulokset pohjautuvat testaajien täyttämään kyselyyn, sekä välikyselyiden jälkeen suoritettuun vapaamuotoiseen haastatteluun.

Niiden perusteella arvioitiin, miten heuristiikkoja tulisi kehittää seuraavaa testausvaihetta varten.



Kuva 27. Käyttöliittymä- heuristiikkojen hyödyllisyys, ymmärrettävyys sekä ja sovellettavuus, sekä sovelluksen sopivuus osa-alueen testauksessa.

6.2.1 Käyttöliittymä

Arvioitaessa Käyttöliittymä-heuristiikkojen hyödyllisyyttä, opittavuutta ja sovellettavuutta kokonaisuudessaan, neljä viidestä testaajasta olivat joko samaa mieltä tai vahvasti samaa mieltä väitteen todenmukaisuudesta. Yksi viidestä vastauksesta väittämään oli neutraali.

Käyttöliittymää testatessa kolme viidestä testaajasta piti Waltz of Wizard -sovellusta sopivana testaukseen. Kaksi muuta antoivat vastaukseksi neutraalin. Tähän syynä oli avointen vastausten mukaan se, ettei heuristiikkarikkeitä löytynyt sovelluksesta ainakaan käyttöliittymään liittyen. Testaaja 3 kommentoi kyselyn avoimissa vastauksissa, että esimerkiksi heuristiikkaa *UII.2 Heijastusnäyttö (HUD) on tehty virtuaalimaailmaan sopivaksi* oli vaikea arvioida, koska sovelluksessa ei varsinaisesti ollut sellaista. Tähän kuitenkin eräs testaajista oli vielä kommentoinut, että koska testattava sovellus oli valmis

eikä esimerkiksi prototyypivaiheessa, heuristiikkarikkeiden löytäminen olisi varmaan joka tapauksessa vaikeaa.

Taulukko 5. Testaajien Think aloud -kommentit sekä kyselyn avoimet vastaukset Käyttöliittymä-heuristiikkojen testauksesta.

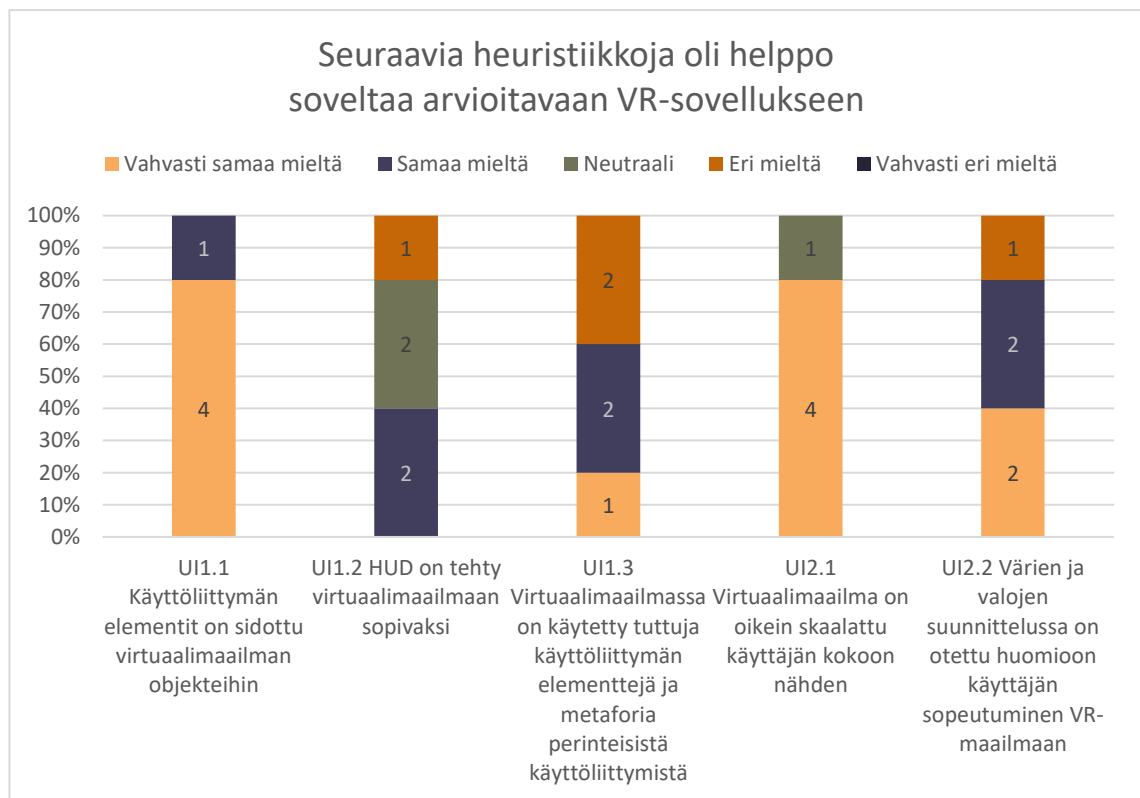
Testaaja 1	Testaaja 2	Testaaja 3	Testaaja 4	Testaaja 5
There is no indication when you can pick something up	Ylimääräisiä askeleita tulee otettua helposti	Käyttöliittymän elementit on hyvin sidottu VR-elementteihin	(Virtuaali)kädet tuntui mukavalta pelkkien ohjainten sijasta	Sopimustekstistä on vaikea saada selvää
Hands appearance should change somehow near objects that could be selected	Esine ei irtoa kädestä, jos liipasimesta päästää irti	”Mihin mun käsi meni”	Hassua kun käsi häviää näkyvistä, kun tarttuu johonkin esineeseen	Tarvittaisiin enemmän ohjeistusta loitsujen tekoon
Two buttons are required for shooting with crossbow	Värien takia oli hankala erottaa eri esineitä toisistaan	Head-up displaytä ei juuri sovelluksessa ollut (vaikea arvioida heuristiikkaa)	Ihan kiva sovellus, mutta tuntuu ettei ole mitään tavoitetta	On vaikea hallita, minkä esineen valitsee
It is easy to lose magic potion ingredients	Välillä oli tosi pimeää, ja värit eivät auttaneet etäisyyden hahmotusta	Heuristiikkojen laiminlyöntejä ei juuri ollut havaittavissa - olisi voinut olla hauska löytää myös heuristiikkarikkeitä.	Valitsemistapa pelissä oli vähän välillä huono (kättä on pidettävä paikallaan)	HUD jäi vähän epäselväksi.

Think aloud	Kyselyvastaus
-------------	---------------

Avointen vastausten perusteella tämä vaikutti jonkin verran yksittäisten heuristiikkojen arviointiin. Vastauksista löytyi paljon hajontaa etenkin arvioitaessa heuristiikkojen sovellettavuutta Waltz of Wizard -sovellukseen. Haastateltaessa testaajia selvisi, että testauksen osallistujien oli vaikea arvioida heuristiikan sovellettavuutta, jos kyseinen osa-alue ei millään lailla näy sovelluksessa. Tästä syystä osa vastaajista oli neutraaleja tai eri mieltä heuristiikkojen UI1.3 ja UI1.2 sovellettavuuden osalta.

Heuristiikka *UI1.3 On käytetty tuttuja käyttöliittymän elementtejä ja metaforia perinteisistä käyttöliittymistä* (kuva 28) aiheutti paljon hajontaa. Vaikka sovelluksesta löytyykin perinteinen menuvalikko, kaikki testaajat eivät välttämättä löytäneet sitä testauksen aikana, minkä vuoksi heuristiikkaa saattoi olla hankala soveltaa. Muita perinteisiä käyttöliittymäelementtejä testaajat eivät sovelluksesta löytäneet.

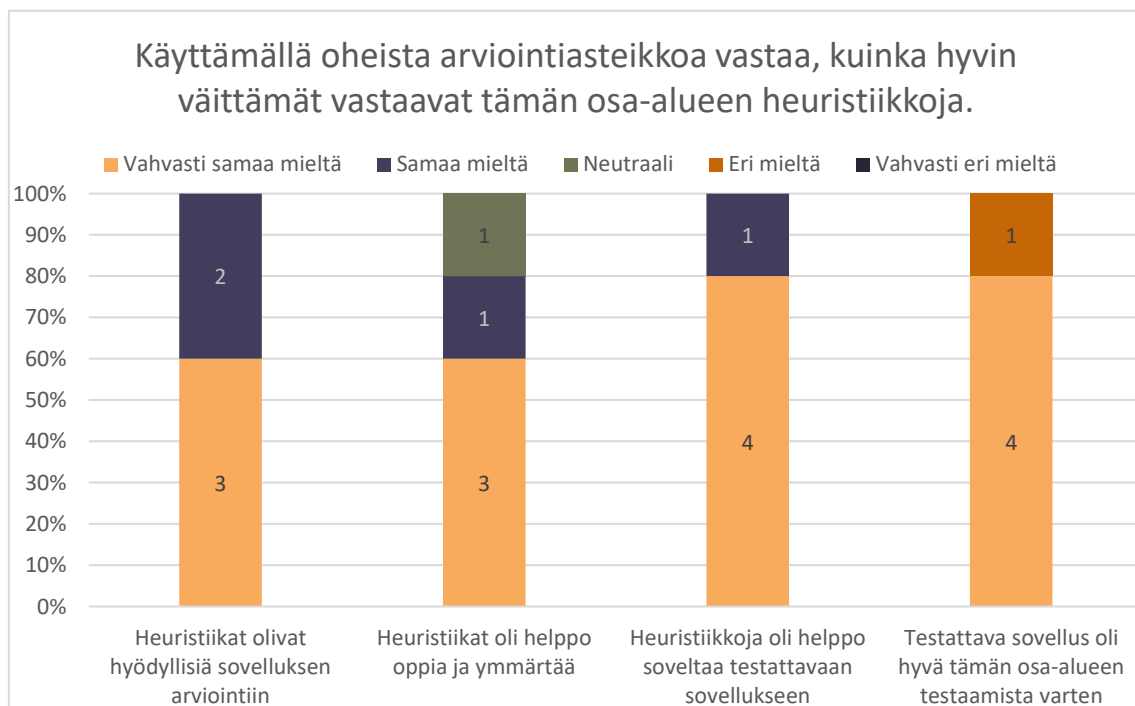
Kommenttien perusteella sovellus olisi voinut sopia vuorovaikutus-heuristiikkojen testaukseen, sillä testauksen aikana monet testaajista kommentoivat sovelluksen eri valinta- ja liikkumismenetelmiä.



Kuva 28. Käyttöliittymä-heuristiikkojen sovellettavuus, yksittäiset heuristiikat.

6.2.2 Vuorovaikutus

Vuorovaikutus-heuristiikkojen testaukseen käytettiin The Accountant -peliä. Muistiinpanojen tekeminen oli sovelluksen kohdalla vaikeaa, sillä testaajat eivät aina



Kuva 29. Vuorovaikutus-heuristiikkojen hyödyllisyys, ymmärrettävyys sekä ja sovellettavuus, sekä sovelluksen sopivuus osa-alueen testauksessa.

muistaneet sovelluksen kohdalla käyttää Think aloud -menetelmää. Tämä saattaa johtua siitä, että sovellus on hyvin immerssiivinen, ja käyttäjä saa jatkuvasti ohjeita äänimuodossa. Yksi testaajista kommentoikin, pelin hahmojen jatkuva dialogi teki

Taulukko 6. Testaajien Think aloud -komentit sekä kyselyn avoimet vastaukset Vuorovaikutus-heuristiikkojen testauksesta.

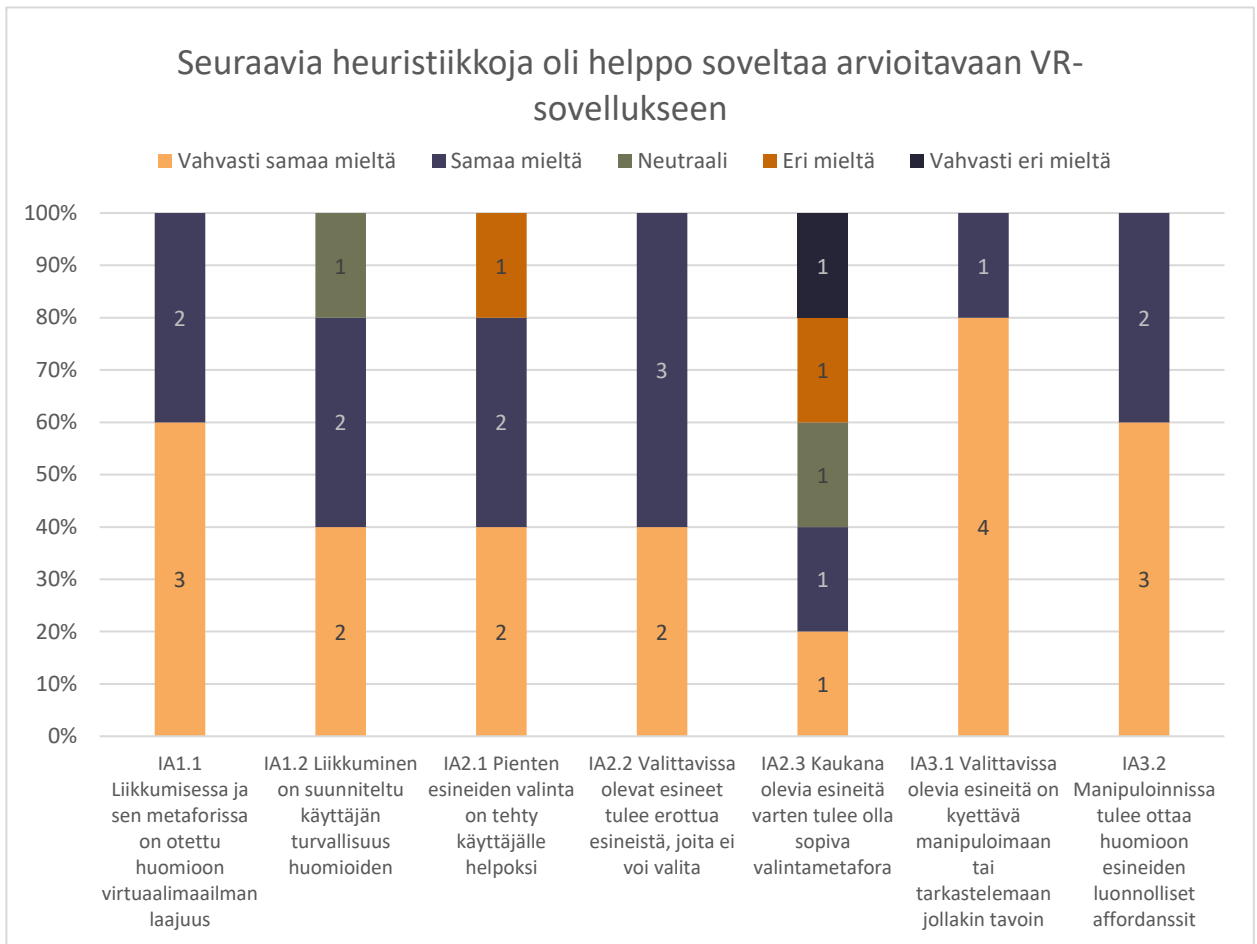
Testaaja 1	Testaaja 2	Testaaja 3	Testaaja 4	Testaaja 5
I took an accidental screenshot	Kysely toimisi paremmin, jos kysyttävät asiat käsiteltäisiin yksi heuristiikka kerrallaan.	Puhelimen soiminen houkuttelee painamaan vastausnappia	Mukavaa päästä hiljaiseen paikkaan (metsään) tuon passiivisagressiivisen kälätyksen järkeen (toimistosta)	Tässä näkee selkeästi (kursorin tilasta), mitä voi painaa
Teleporting could help position oneself in the virtual world better		Joitain esineitä ei pystynyt poimimaan vaikka ne näyttivät siltä (post-it laput)		Ärsyttävää, kun kansiota ei saa auki
It is not obvious what items you can interact with		Tila oli (virtuaalimaailmassa) pieni, joten liikkumisesta ei tullut juuri moitteita.		
Small play-area in the virtual world helps to focus on the objective		Kaukana olevia objekteja ei sovelluksessa ollut, joten IA2.3 jäi testaamatta --.		

Think aloud	Kyselyvastaus
-------------	---------------

testaukseen keskittymisestä välillä hankalaa.

Tässäkin sovelluksessa tietyt heuristiikkojen osa-alueet olivat sovelluksessa näkyvämpiä ja helpommin sovellettavampia kuin toiset. Kuitenkin suurin osa testaajista oli sitä mieltä, että sovellus sopi hyvin vuorovaikutuksen testausta varten. Tämä näkyi kyselyn tuloksissa siten, että heuristiikan soveltaminen kyseiseen sovellukseen saattoi jakaa mielipiteitä, vaikka yksittäisiä heuristiikkoja saatettiin pitää helposti ymmärrettävinä ja hyödyllisinä.

Erityisesti heuristiikka *IA2.3 Kaukana olevia esineitä varten tulee olla sopiva valintametafora* (kuva 31) jakoi paljon mielipiteitä. Waltz of Wizard oli sovelluksista ainoa, johon kaukana olevien esineiden valintaan löytyy jonkinlainen metafora: yksi pelissä tehtävistä taioista liikuttaa huoneessa olevia esineitä ”telepaattisesti”.

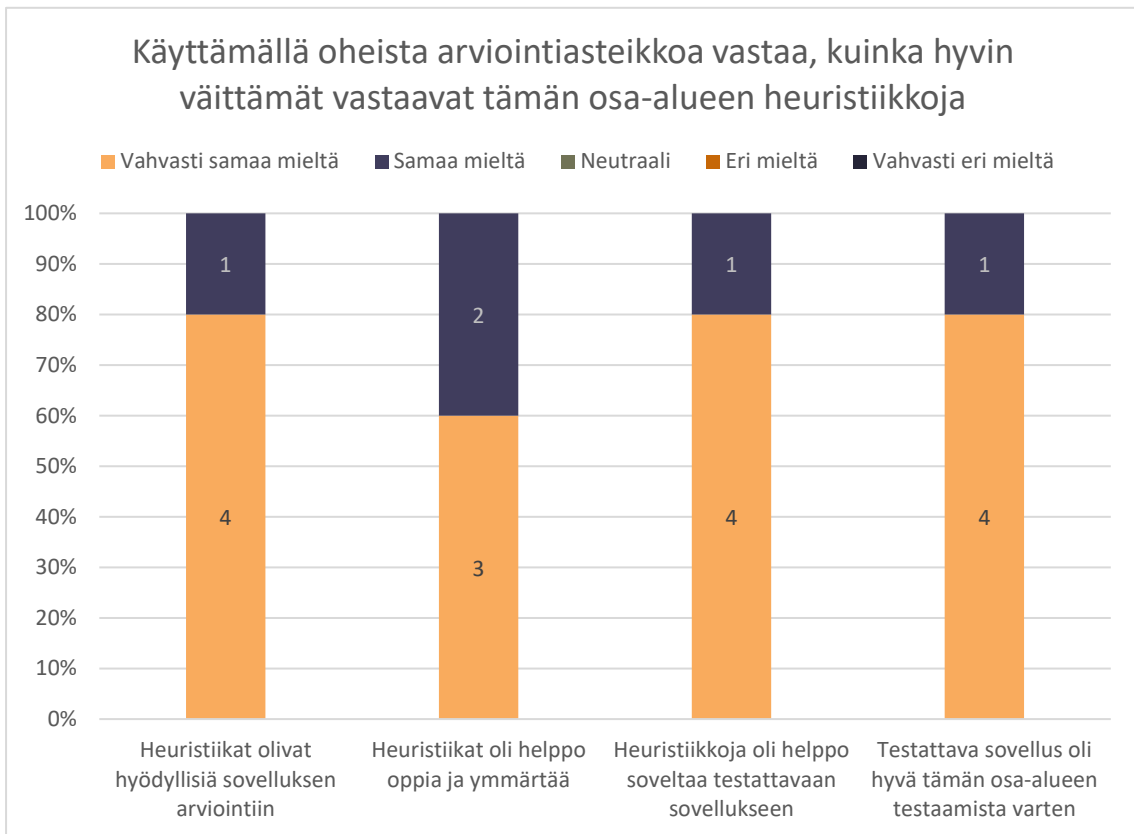


Kuva 30. Vuorovaikutus-heuristiikkojen sovellettavuus, yksittäiset heuristiikat.

The Accountant sovelluksessa esineisiin pystyy kuitenkin vaikuttamaan vain suoran kosketuksen kautta. Tämän vuoksi useat testaajista kokivat sen hankalaksi soveltaa. Heuristiikka *IA2.1 Pienten esineiden valinta on tehty käyttäjälle helpoksi* oli yhden testaajan mielestä hankala soveltaa, sillä pieniä esineitä varten ei ole suunniteltu sovelluksessa mitään erillistä valintamenetelmää, vaikka esineiden valinta on muuten kyllä tehty helpoksi. Tämän vuoksi heuristiikkaa päätettiin kehittää jatkossa niin, että sitä olisi helpompi soveltaa.

6.2.3 Immersio

The Accountant -sovelluksen valintaa Immersion osa-alueeseen voi pitää hyvin onnistuneena. Kaikki testaajat olivat sitä mieltä, että The Accountant oli sopiva sovellus ilmentämään immersion eri osa-alueita niin hyvässä kuin pahassa. Sovellus oli usein niin immerssiivinen, että testaaja saattoi välillä unohtaa käyttää Think aloud -menetelmää.



Kuva 31. Immersio-heuristiikkojen hyödyllisyys, ymmärrettävyys sekä ja sovellettavuus, sekä sovelluksen sopivuus osa-alueen testauksessa.

Tämä näkyy taulukoissa 6 ja 7 Think aloud-kommenttien pienessä määrässä. Testaajat saattoivat myös välillä unohtaa, etteivät virtuaalimaailman pöydät ole oikeita, vaan yrittivät laskea ohjaimensa niiden päälle.

Esimerkiksi äänimaailmaa ja ”sopivaa realismia” pidettiin sovelluksessa erittäin onnistuneina. Pelin aikana pelaajan tulee vastata puhelimeen eri tilanteissa. Puhelimesta



Kuva 32. The Accountant -pelin äänimaailmaa pidettiin realistisena ja immersivisenä.

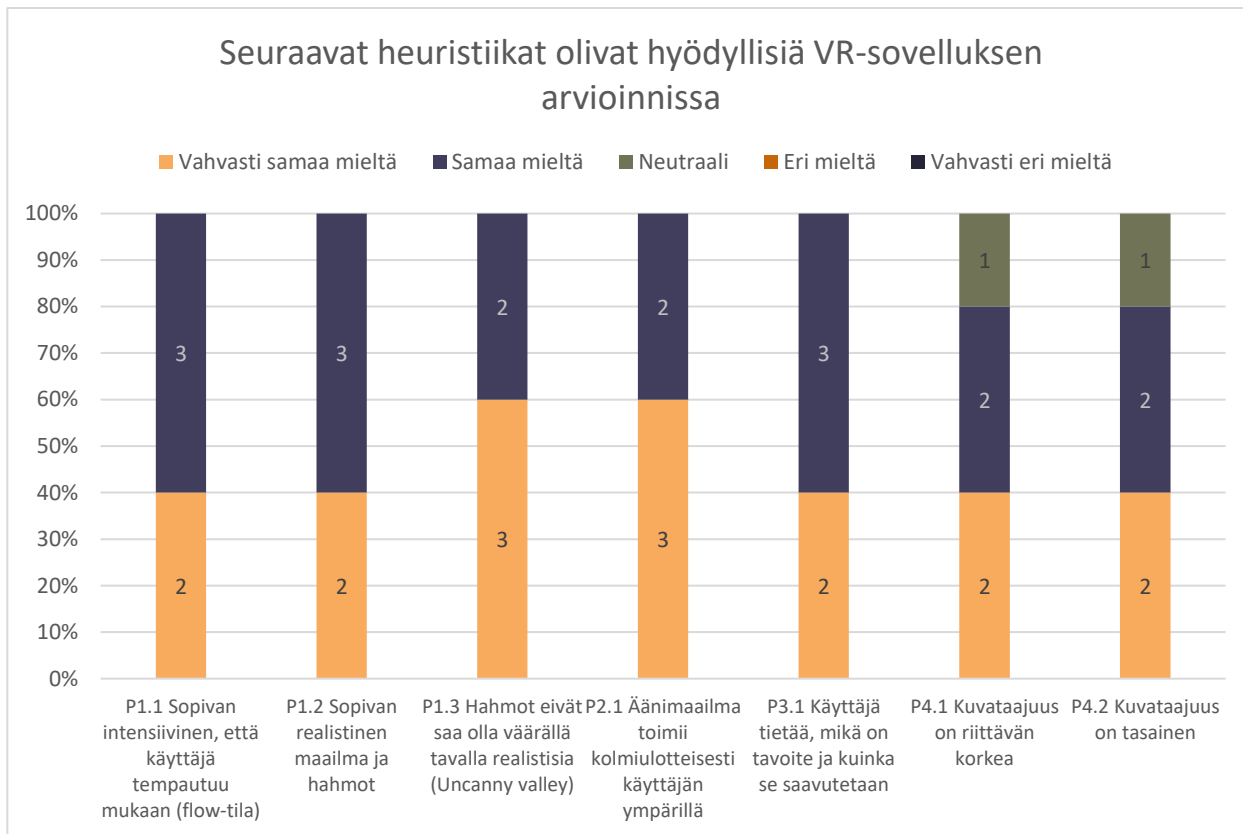
kuuluvat äänet kuuluvat hiljempaa tai kovempaa sen mukaan, miten kaukana pelaaja pitää puhelinta itsestään. Äänimaailma oli muutenkin kolmiulotteinen, ja antoi kaikujen ja äänenvoimakkuuden avulla tilan vaikutelman. Hahmojen sopiva realistisuus taas auttoi pelin tavoitteiden suorittamisessa, sillä joitain hahmoja piti vahingoittaa. Kuten Testaaja 3 kommentoi: ”Hahmot eivät olleet lainkaan realistisia, joka oli hyvä, koska realistista hahmoa olisi ikävämpi puukottaa”.

Taulukko 7. Testaajien Think aloud -kommentit sekä avoimet kyselyvastaukset Immersio-heuristiikkojen testauksesta.

Testaaja 1	Testaaja 2	Testaaja 3	Testaaja 4	Testaaja 5
There is glitching in the soundscape	Turhauttaa, kun ei tiedä mitä pitäisi tehdä seuraavaksi	Vaikea tietää pitääkö hahmojen neuvoja kuunnella vai pitääkö vaan kokeilla kaikkea	"Mitä pitää tehdä seuraavaksi"	Sopivan realistinen on ehkä vähän vaikea, koska mikä on "sopiva" (heuristiikasta)
I can't interact with water bottle (inconsistency)	Kaikkia esineitä ei voinut koskea oikeussalissa	Maailma oli sopivan realistinen - objektit näyttivät siltä kuin oikeassa maailmassa mutta animaatiotyylillä	"Pitääkö tää (myrkky) juoda vai ei"	VR-sovelluksia käyttämättömälle henkilölle väärällä tavalla realistiset hahmot tuntuvat vaikealta ymmärtää, ehkä sanamuotoa tässä voisi vielä miettiä
There is no haptic feedback with little lawyer guys	Toistuvuus pelissä häiritsee ja rikkoo immersiota	Hahmot eivät olleet lainkaan realistisia, joka oli hyvä koska realistista hahmoa olisi ikävämpi puukottaa.	Oikeussalissa, vaikea tietää mitä pitää tehdä seuraavaksi	Kuvataajuuden riittävä korkeus ja tasaisuus on myös vähän hankala, kesti pitkään, koska riittävä, ehkä muotoon käyttäjää ei häiritse kuvataajuus tai kuvataajuuden epätasaisuus?
Soundscape is awesome	Ei tuntunut luonnolliselta kumartua giljotiiniin, voi olla hankalaa esim. liikuntarajoitteiselle	Omat vr-kokemukset ovat sen verta vähäisiä, että puheen määrä häiritsi keskittymistä		
			Think aloud	Kyselyvastaus

Toisaalta taas immersiota rikkoi pelin loppuvaiheessa epäselvät tavoitteet. Monet pelaajat jäivät jumiin viimeiseen kohtaukseen. Pelissä on tähän asti pitänyt usein toimia päinvastaisella tavalla, kuin ihmiset normaalisti toimivat: rikkoa muiden ihmisten omaisuutta tai vahingoittaa itseään ja pelin hahmoja. Toiseksi viimeisessä kohtauksessa testaajilla ei ollut kovinkaan paljon vaihtoehtoja, miten toimia. Ainoat esineet, joiden kanssa käyttäjä saattoi olla vuorovaikutuksessa, olivat miniasianajat. Asianajajiin pystyi tarttumaan, ja heitä pystyi heittämään. Testaajille oli kuitenkin epäselvää, mihin asianajajat piti heittää. Useimmat tarvitsivat tässä kohtaa vihjeitä etenemiseen, jotta testaus pysyisi aikataulussa.

Tähän asti peli oli ollut hyvin immerssiivinen. Osa testaajista kertoi, että epäselvät tavoitteet oikeussalissa aiheuttivat turhautumista, joka puolestaan vähensi pelin immerssiivisyyttä. Kun testaaja on ulkopuolisten ohjeiden varassa, hän tulee tavallaan tietoisemmaksi VR-lasien ulkopuolisesta maailmasta, ja virtuaalimaailman uskottavuus vähenee. Heuristiikkaa *P3.1 Käyttäjä tietää mikä on tavoite ja kuinka se saavutetaan* pidettiin yleisesti tärkeänä nimenomaan immersion kannalta.



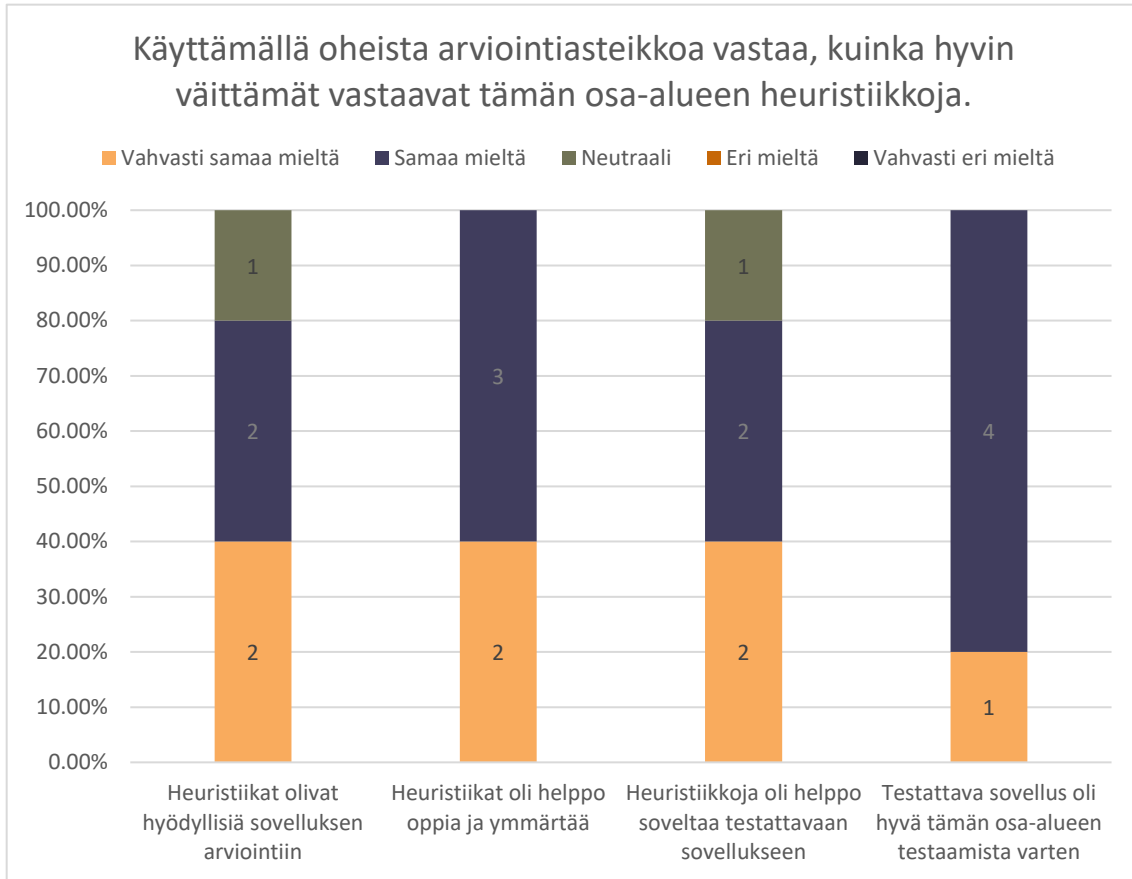
Kuva 33. Immersio-heuristiikkojen hyödyllisyys, yksittäiset heuristiikat.

Ainoat heuristiikat, joille testaajat antoivat neutraaleja arvioita, olivat kuvataajuuteen liittyvät heuristiikat. Tämä on sinänsä loogista, sillä kyseiseen heuristiikkaan ei luultavasti kiinnitä kovinkaan helposti huomiota, ellei sitä rikota vakavasti. Tästä voidaan päätellä, että kuvataajuus oli sovelluksessa hyvällä tasolla.

Testaaja 5 kommentoi kyselyn avoimissa vastauksissa, että ”riittävän tasainen kuvataajuus” on arvioijan kannalta hankala arvioida. Sen ehdotti, että heuristiikka muutettaisiin sen sijaan muotoon ”käyttäjää eri häiritse kuvataajuus tai kuvataajuuden epätasaisuus”. Tämä otettiin huomioon heuristiikkojen seuraavan testattavan version kehityksessä.

6.2.4 Turvallisuus

Viimeinen testattava sovellus oli Blade Runner 9732. Turvallisuutta koskevien heuristiikkojen osalta heuristiikkoja pidettiin suurimmaksi osaksi hyödyllisinä, helppoina oppia sekä helposti sovellettavina.



Kuva 34. Turvallisuus-heuristiikkojen hyödyllisyys, ymmärrettävyys sekä ja sovellettavuus, sekä sovelluksen sopivuus osa-alueen testauksessa.

Tälläkin osa-alueella osa heuristiikoista, erityisesti tutoriaaliin ja kokemuksen räätälöintiin liittyviä, koettiin hankalaksi soveltaa valittuun sovellukseen. Lyhyestä, demon kaltaisesta sovelluksesta ei löydy tutoriaalia tai räätälöintimahdollisuutta. Sovelluksen käyttöliittymä on pidetty mahdollisimman yksinkertaisina, jolloin räätälöintiä ei juurikaan tarvita. Tutoriaali on korvattu lyhyillä ohjeilla eri painikkeiden toiminnoista. Toisaalta esimerkiksi turvallisuuteen liittyvien heuristiikkojen soveltamisen hankaluus, kuten yksi testaajista kommentoi, voi kertoa myös sovelluksen onnistuneisuudesta näillä alueilla.

Sovellus aiheutti monille testaajista epämukavuuden tunnetta, jopa pahoinvointia. Yksi syy tähän oli vaihtelevasti käyttäytyvä liikkumismenetelmä. Testaajat kommentoivat, että teleporttimenetelmällä liikkuminen saattoi heittää käyttäjän keskelle pöytää tai muuta

virtuaalimaailman esinettä. Liikkumismenetelmän käyttäytyminen ei muutenkaan usein vastannut käyttäjän odotuksia.

Yksi ongelman syistä oli, että liikkumismetodeja olikin todellisuudessa kaksi. Ensimmäinen menetelmä oli useimpien testaajien käyttämä perinteinen teleporttimenetelmä. Toinen menetelmä oli hidas liukuminen käyttäjän valitsemaan kohteeseen. Jälkimmäinen menetelmä aiheutti usein käyttäjille pahoinvointia. Lisäksi se

Taulukko 8. Testaajien Think aloud -kommentit sekä avoimet kyselyvastaukset Turvallisuus-heuristiikkojen testauksesta.

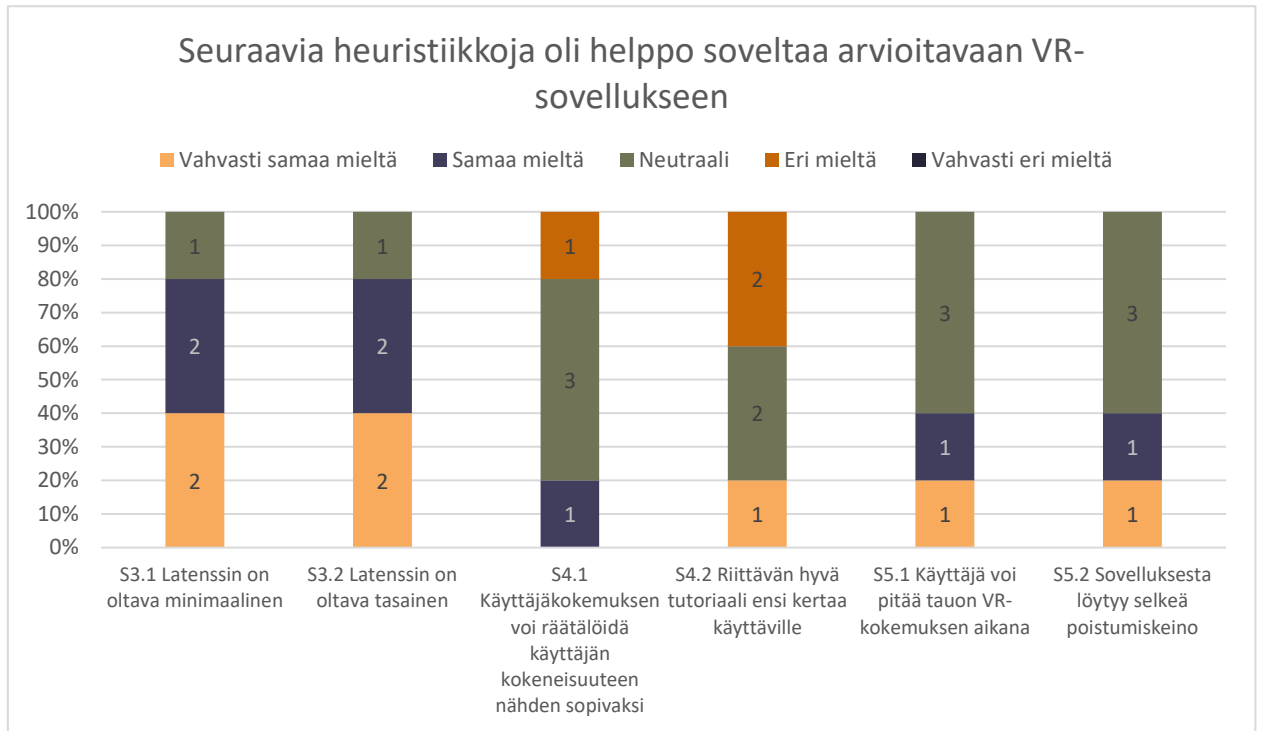
Testaaja 1	Testaaja 2	Testaaja 3	Testaaja 4	Testaaja 5
Teleporting sometimes slides and sometimes goes fast (inconsistency)	Pelissä on pitkä alkuodotus	Flicker kaukana olevissa objekteissa häiritsee	Liikkuessa saattaa teleportata liian lähelle esineitä, jopa niiden sisälle	Teleporttaus ei toimi niin kuin odotan
Help should be more easily found for first time user	Valokuvasta ei pääse eroon, kun sen on kerran ottanut käteensä	”Kävely” (liikkuminen) tuntui pahalta		Tunnen itseni lapseksi (maailma ympärillä tuntuu isolta)
Teleporting in to objects is not good design	Peilin heijastuksesta ei nää omaa kuvaansa (realismi)	Lasia ei voi heittää parvekkeelta (realismi)	”Tosi lyhyt olo tulee täällä”	S1.2 Käyttäjän kuvakulma ei tärähtelee tai pompi itsestään --> (olisiko parempi), että verbit ei olis niin tarkkoja, esim. että kuvakulma ei liiku hallitsemattomasti?
Make the questionnaire more clear. I'm still unsure whether I understood (the questions) clearly.	Pimeyden takia on vaikea hahmottaa etäisyyksiä	Olisi hyvä, jos mukana testauksessa olisi sovelluksia, joissa on selkeitä käytettävyyserikkeitä	Hyvä tunnelma, kuin suoraan elokuvasta	S3.2 Latenssin on oltava tasainen --> Latenssi ei häiritse käyttäjää?

Think aloud	Kyselyvastaus
-------------	---------------

toimi samalla painikkeella kuin toinenkin liikkumismenetelmä. Erona oli ainoastaan, että teleportilla liikkuessaan käyttäjä klikkasi painiketta nopeasti, kun taas liukumismenetelmällä liikkumisen aktivoi pidempi painallus. Kaikki käyttäjät eivät huomanneet tätä eroa, vaan liukuminen tuntui tapahtuvan yllättäen. Tässä mielessä sovellus oli toimiva esimerkki siitä, miten huonosti suunniteltu vuorovaikutusmenetelmä voi on yhteydessä turvallisuuden heuristiikkoihin. Ylipäätään testauksen aikana testaajat huomasivat monesti, että eri alueiden heuristiikat olivat linkittyneitä toisiinsa, ja tämä mainittiin usein haastatteluissa.

Kolmas ongelma sovelluksessa oli häiritsevä välkkyminen. Kaikki testaajat eivät kohdanneet ongelmaa. Ne, jotka sen huomasivat, kertoivat sen olevan hyvin häiritsevää.

Ilmeisesti jos VR-järjestelmä kuormittui sovelluksen vuoksi liikaa, virtuaalimaailman esineiden reunat alkoivat välkkymään.



Kuva 35. Turvallisuus-heuristiikojen sovellettavuus, yksittäiset heuristiikat.

Useat testaajista pitivät taukojen pitämistä ja poistumistietä koskevia heuristiikkoja tärkeinä. Kaikki kolme testattavaa sovellusta rikkoivat näitä heuristiikkoja. Testaajat pitivät tämän heuristiikan täyttymistä kuitenkin erittäin kriittisenä ominaisuutena sovelluksessa käyttäjän turvallisuuden kannalta. Koska valmiissa, julkaistuissa sovelluksissa

6.3 Uudet heuristiikat

Ennen toista kierrosta heuristiikkoja paranneltiin testaajien antamaan suullisen ja kirjallisen palautteen perusteella. Tässä luvussa kerrotaan tehdyistä muutoksista. Tutkimuksen liitteenä löytyvät heuristiikkojen eri versiot oheisista taulukoista. Taulukoihin on merkitty punaisilla sävyillä vanhat heuristiikat ja sinisillä uudet heuristiikat. Heuristiikkojen alaluokat on eroteltu toisistaan värien eri sävyillä. Heuristiikkojen ensimmäinen ja toinen versio löytyvät myös tämän tutkimuksen liitteistä ([ensimmäinen versio](#) ja [toinen versio](#)).

Kokonaisuudessaan uudet heuristiikat olivat tiivistyneet ja täsmentyneet ensimmäisestä versiosta. Testaajien palautteen mukaisesti joitakin heuristiikkoja ja heuristiikkaluokkia yhdisteltiin. Alkuperäisten heuristiikkojen lukumäärä oli 31, uudessa versiossa heuristiikkoja oli 28. Heuristiikkaluokkien määrä väheni 14:sta 11:sta.

Taulukko 9. Käyttöliittymä-heuristiikkojen ensimmäinen ja toinen versio rinnakkain.

Käyttöliittymä			
Tunnus	Vanhat heuristiikat	Tunnus	Uudet heuristiikat
UI 1.1	Käyttöliittymän elementit on sidottu virtuaalimaailman objekteihin	UI 1.1	Käyttöliittymän elementit on sidottu virtuaalimaailman objekteihin
UI 1.2	Heijastusnäyttö (HUD) on tehty virtuaalimaailmaan sopivaksi	UI 1.2	Heijastusnäyttö (HUD) ja muu graafinen käyttöliittymä on suunniteltu virtuaaliympäristöön sopivaksi
UI 1.3	On käytetty tuttuja käyttöliittymän elementtejä ja metaforia perinteisistä käyttöliittymistä	UI 1.3	Käyttöliittymästä löytyy perinteisistä käyttöliittymistä tuttuja elementtejä ja metaforia, jotka auttavat käyttäjää sopeutumaan VR-käyttöliittymään
UI 2.1	Virtuaalimaailma on oikein skaalattu käyttäjän kokoon nähden	UI 2.1	Virtuaalimaailma on skaalattu oikein käyttäjän kokoon nähden
UI 2.2	Värien ja valojen suunnittelussa on otettu huomioon käyttäjän sopeutuminen VR-maailmaan	UI 2.2	Värit ja valot auttavat käyttäjää sopeutumaan VR-maailmaan

Käyttöliittymä-heuristiikkoihin ei tehty isoja muutoksia. UI2-luokan otsikko **Virtuaalimaailma** muutettiin kuvaavampaan otsikkoon **Visuaalinen ilme**. UI1.2 ja UI1.3 heuristiikkojen ilmaisuja täsmennettiin sekä UI2.2 heuristiikkaa tiivistettiin.

Taulukko 10. Immersio-heuristiikkojen ensimmäinen ja toinen versio rinnakkain.

Immersio			
Tunnus	Vanhat heuristiikat	Tunnus	Uudet heuristiikat
P 1.1	Sopivan intensiivinen, että käyttäjä tempautuu mukaan (flow-tila)	P 1.1	VR kokemuksen intensiteetti skaalautuu käyttäjän taitojen ja sovelluksen tarkoituksen mukaisesti
P 1.2	Sopivan realistinen maailma ja hahmot	P 1.2	Käyttäjä tietää, mikä on tavoite ja kuinka se saavutetaan
P 1.3	Hahmot eivät saa olla väärällä tavalla realistisia (Uncanny valley)	P 2.1	Äänimaailma toimii kolmiulotteisesti käyttäjän ympärillä
P 2.1	Äänimaailma toimii kolmiulotteisesti käyttäjän ympärillä	P 2.2	Kuvataajuus on riittävän korkea ja tasainen
P 3.1	Käyttäjä tietää, mikä on tavoite ja kuinka se saavutetaan	P 2.3	Ohjainten haptinen palaute helpottaa vuorovaikutusta virtuaalimaailmassa
P 4.1	Kuvataajuus on riittävän korkea	P 3.1	Virtuaalimaailman realismisuuden taso tukee sovelluksen tarkoitusta
P 4.2	Kuvataajuus on tasainen	P 3.2	Hahmojen ja avatarin realismisuus tukee vuorovaikutusta ja tuntuu luonnolliselta

Immersio-heuristiikkojen rakenteeseen tuli muutoksia, sekä yksi kokonaan uusi heuristiikka. Uudet heuristiikkaluokat olivat **P1 Intensiivisyys**, **P2 Eri aistien huomioiminen** ja **P3 Realistisuus**. Käytännössä vanhoista heuristiikoista P1 Intensiivisyys ja realismisuus -luokka jaettiin kahtia niin, että Realistisuuteen ja Intensiivisyyteen vaikuttavista heuristiikoista tehtiin omat luokkansa P1 ja P3. P2 Eri

aistien huomioiminen luokkaan yhdistettiin loput P-luokat vanhoista heuristiikoista. P2 Eri aistien huomioiminen -luokkaan lisättiin myös uusi heuristiikka: *P2.3 Ohjainten haptinen palaute helpottaa vuorovaikutusta virtuaalimaailmassa.*

Taulukko 11. Vuorovaikutus-heuristiikkojen ensimmäinen ja toinen versio rinnakkain.

Vuorovaikutus			
Tunnus	Vanhat heuristiikat	Tunnus	Uudet heuristiikat
IA 1.1	Liikkumisessa ja sen metaforissa on otettu huomioon virtuaalimaailman laajuus	IA 1.1	Liikkumisessa ja sen metaforissa on otettu huomioon virtuaalimaailman laajuus
IA 1.2	Liikkuminen on suunniteltu käyttäjän turvallisuus huomioiden	IA 1.2	Liikkuminen on suunniteltu tukemaan käyttäjän sopeutumista virtuaalimaailmaan
IA 2.1	Pienten esineiden valinta on tehty käyttäjälle helpoksi	IA 1.3	Kiihtyvää liikkumista on käytetty harkiten
IA 2.2	Valittavissa olevat esineet tulee erottua esineistä, joita ei voi valita	IA 2.1	Valittavissa olevat esineet tulee erottua esineistä, joita ei voi valita
IA 2.3	Kaukana olevia esineitä varten tulee olla sopiva valintametafora	IA 2.2	Esineiden koko ja etäisyys käyttäjästä on huomioitu valintametaforan suunnittelussa
IA 3.1	Valittavissa olevia esineitä on kyettävä manipuloimaan tai tarkastelemaan jollakin tavoin	IA 3.1	Valittavissa olevia esineitä on kyettävä manipuloimaan tai tarkastelemaan jollakin tavoin
IA 3.2	Manipuloinnissa tulee ottaa huomioon esineiden luonnolliset affordanssit	IA 3.2	Manipuloinnissa hyödynnetään esineiden luonnollisia affordansseja

Vuorovaikutus-heuristiikat pysyivät myös pitkälti ennallaan. IA1 Liikkuminen-luokkaan lisättiin uusi heuristiikka *IA1.3 Kiihtyvää liikkumista on käytetty harkiten.* IA2 Valinta-luokasta IA2.1 ja IA2.3 yhdistettiin samaan heuristiikkaan *IA2.2 Esineiden koko ja etäisyys käyttäjästä on huomioitu valintametaforan suunnittelussa.*

Taulukko 12. Turvallisuus-heuristiikkojen ensimmäinen ja toinen versio rinnakkain.

Turvallisuus			
Tunnus	Vanhat heuristiikat	Tunnus	Uudet heuristiikat
S 1.1	Käyttäjän kuvakulma muuttuu ainoastaan käyttäjän niin halutessa	S 1.1	Virtuaalisten kameroiden liikkeen tulisi vastata käyttäjän pään ja vartalon liikkeitä.
S 1.2	Käyttäjän kuvakulma ei tärähtele tai pompi itsestään	S 1.2	Käyttäjä kykenee milloin tahansa katsomaan ympärilleen
S 1.3	Käyttäjä pystyy milloin tahansa katsomaan ympärilleen	S 1.3	Latenssin on oltava minimaalinen ja tasainen
S 2.1	Virtuaalimaailman esineet on sijoitettu sopivalle korkeudelle	S 2.1	Virtuaalimaailman käytettävät esineet on sijoitettu sopivalle etäisyydelle ja korkeudelle
S 2.2	Käyttäjä ei joudu pitämään käsiään liian korkealla pitkiä aikoja	S 2.2	Käyttäjä ei joudu pitämään käsiään jännittyneenä pitkiä aikoja
S 2.3	Liikkeet on suunniteltu ergonomisesti	S 2.3	Ohjainten käyttö tai liikkuminen eivät rasita käyttäjää
S 3.1	Latenssin on oltava minimaalinen	S 3.1	Käyttäjäkokemuksen voi räätälöidä käyttäjän kokeneisuuden ja erityistarpeiden mukaan
S 3.2	Latenssin on oltava tasainen		
S 4.1	Käyttäjäkokemuksen voi räätälöidä käyttäjän kokeneisuuteen nähden sopivaksi	S 3.2	Käyttäjä voi pitää tauon VR-kokemuksen aikana
S 4.2	Riittävän hyvä tutoriaali ensi kertaa käyttäville		
S 5.1	Käyttäjä voi pitää tauon VR-kokemuksen aikana	S 3.3	Sovelluksesta löytyy selkeä poistumiskeino
S 5.2	Sovelluksesta löytyy selkeä poistumiskeino		

Turvallisuus-heuristiikat tiivistyivät ja täsmentyivät huomattavasti. Viiden heuristiikkaluokan sijasta jäljelle jäi kolme luokkaa: **S1 Virtuaalimaailman turvallisuus**, **S2 Ergonomia** ja **S3 Käyttäjien huomioiminen**. Vanhoista heuristiikoista luokat S1 Käyttäjän kuvakulma ja S3 Latenssi yhdistyivät S1-luokkaan, sekä luokat S4 Kokemuksen räätälöinti ja S5 Selkeät poistumistiet yhdistyivät uudeksi S3-luokaksi. S2-luokka pysyi pitkälti ennallaan. Turvallisuus-heuristiikkojen kokonaismäärä luokassa väheni 12 heuristiikasta yhdeksään.

6.4 Toinen testauskierros

Toinen testauskierros oli ensimmäiseen verrattuna eri tavoitteet sekä erilainen rakenne. Tässä luvussa kerrotaan toisen testauskierroksen tavoitteista, rakenteesta ja selostetaan

testauksen tulokset. Lisäksi kerrotaan, mikä sovellus valittiin toisen kierroksen testausta varten ja miksi.

Toisella testauskierroksella oli seuraavat tavoitteet:

1. Selvittää, miten heuristiikat toimivat testaustilanteessa evaluointiraportin muodostamisen tukena
2. Selvittää, ovatko heuristiikat kehittyneet eteenpäin
3. Saada palautetta heuristiikoista, jotta niitä voitaisiin kehittää tämän tutkimuksen kannalta lopulliseen muotoonsa

Heuristiikkojen uusi versio lähetettiin testaajille ennen toista testausta. Näin testaajat pystyivät tutustumaan heuristiikoissa tapahtuneisiin muutoksiin. Heuristiikkojen osaluokat pysyivät ennallaan uudessa versiossa, joten heuristiikoista lähetettiin tällä kertaa vain lyhyt versio.



Kuva 36. Kuvankaappaus H3VR-pelistä. Hot Dogs, Horseshoes & Hand Grenades on Steam. (2016)

Pilottitestien perusteella tutkimuksen toiseen osaan valittiin asesimulaatiopeli Hot Dogs, Horseshoes and Hand Grenades VR (H3VR). Ennen varsinaista testausta pilottitestissä kokeiltiin uuden testusrakenteen toimivuutta. Pilottitestien perusteella H3VR havaitsin sovelluksen sopivan tutkimuksen toiseen osaan.

H3VR on asesimulaatiopeli, jossa käyttäjä pystyy kokeilemaan erityyppisiä aseita erilaisilla ampumaradoilla tai pelaamaan erilaisia aseisiin liittyviä minipelejä. Kyseessä on simulaatiopeli, jossa aseiden toiminta on pyritty mallintamaan mahdollisimman realistisesti. Sovelluksesta löytyy erilaisia liikkumismetodeja, joista käyttäjä voi valita

haluamansa. Käyttäjällä on käytössään myös laaja valikko, jonka avulla hän pystyy muokkaamaan simulaatiokokemuksen haluamukseen virtuaalimaailman ja aseiden fysiikkojen osalta.

H3VR-simulaatiosta löytyy useita ampumaratoja sekä minipelejä. Joissakin minipeleissä käyttäjä pystyy vaikuttamaan pelin vaikeusasteeseen ja asetuksiin. Se soveltui hyvin toisen vaiheen testaukseen, koska siinä oli riittävästi tutkittavaa koko testausajalle. Pelin monipuolisuus takasi, että kaikki heuristiikkojen eri osa-alueet tulivat monipuolisesti esille.

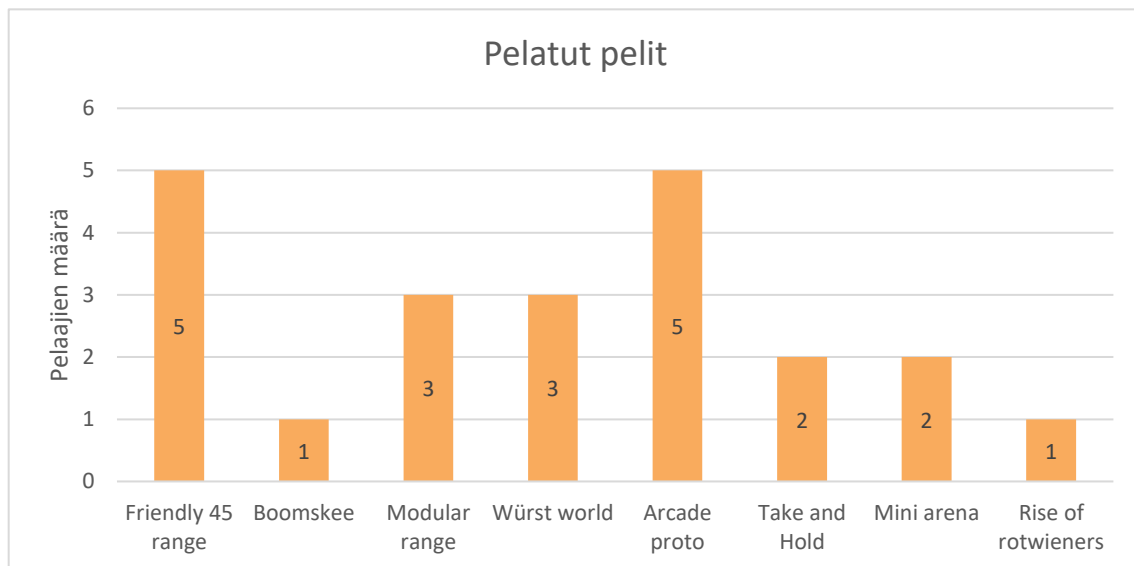
Testauksessa ei toisella testauskierroksella kuulunut enää erillistä alkuesittelyä testaukseen ja heuristiikkoihin. H3VR:n lyhyen esittelyn jälkeen testaaja aloitti heti heuristiikkojen eri osa-alueiden testaamisen. Niin kuin edelliselläkin kierroksella, testauksessa edettiin yksi heuristiikkojen osa-alue kerrallaan. Yhteen osa-alueeseen käytettiin noin 15 minuuttia testausaikaa. Heuristiikkojen osa-alueiden testausjärjestys oli kaikilla sama: käyttöliittymä, immersio, vuorovaikutus ja turvallisuus. Osa-alueen testauksen jälkeen testaaja vastasi kyselyyn liittyen heuristiikkojen sovellettavuuteen, ymmärrettävyyteen ja opittavuuteen.

Kyselyn rakennetta muutettiin edelliseltä kierrokselta saadun palautteen perusteella. Testaajat vastasivat samoihin väittämiin, jotka oli uudessa kyselyssä esitelty johdonmukaisemmassa järjestyksessä. Osallistujat vastasivat yksittäinen heuristiikka kerrallaan väittämiin liittyen heuristiikan ymmärrettävyyteen, opittavuuteen ja sovellettavuuteen. Testaajille annettiin myös enemmän mahdollisuuksia antaa avointa palautetta heuristiikoista. Testaajalta kysyttiin myös jokaisen osa-alueen kohdalla, olivatko muutokset heuristiikoissa kehittäneet niitä paremmiksi.

Taulukko 13. Pelaajien pelaamat pelit kunkin osa-alueen kohdalla

	Käyttöliittymä		Immersio	
Testaaja 1	Alkuvalikko	Friendly 45 range	Boomskee	Modular range
Testaaja 2	Alkuvalikko	Friendly 45 range	Friendly 45 range	
Testaaja 3	Alkuvalikko	Friendly 45 range	Arcade proto	
Testaaja 4	Alkuvalikko	Friendly 45 range	Arcade proto	
Testaaja 5	Alkuvalikko	Friendly 45 range	Mini arena	Arcade proto
	Vuorovaikutus		Turvallisuus	
Testaaja 1	Würst world		Arcade proto	
Testaaja 2	Modular range	Take and hold	Arcade proto	
Testaaja 3	Würst world		Mini arena	
Testaaja 4	Rise of rotwieners		Take and hold	Mini arena
Testaaja 5	Arcade proto	Würst world	Modular range	

Testaajat testasivat eri alueita pelistä. Taulukossa 13 näkyvät minipelit, joita testaaja on pelannut eri heuristiikkaluokkia testatessaan. Ensimmäisessä testausvaiheessa, jossa testattiin Käyttöliittymä-heuristiikkoja, kaikki testaajat aloittivat pelin Päävalikon tutkimisella, jonka jälkeen jatkettiin Friendly 45 range- ampumaradalla. Kyseinen ampumarata oli helppo ja selkeä, ja sen vuoksi se sopi hyvin testauksen alkuun. Jokaiselle testaajalle valikoitui tämän jälkeen eri osa-alueita H3VR:stä, niin että pelattu kokonaisuus vaihteli testaajan mukaan.



Kuva 37. Pelaajien pelaamat pelit, sekä pelaajamäärät.

Kuvasta näkyy, kuinka moni testaaja testasi tiettyä minipeliä. Pelaajien ei ollut pakko jatkaa tietyn radan tai minipelin testaamista, jos se aiheutti heille epämiellyttäviä tuntemuksia tai ahdistusta. Testauksessa moderaattorina valitsin testattaville aina

seuraavan minipelin, jota he pääsivät testaamaan. Testaajat saivat käyttää melko vapaasti aikaa minipelin kanssa niin. Maksimissaan yhteen minipeliin kulutettiin aikaa noin 15 minuuttia.

Boomskee-minipeliä ei testannut kuin ensimmäinen testaaja, jonka jälkeen se jätettiin pois. Boomskee- pelissä ei ollut käytettävyyteen liittyviä seikkoja, joita ei olisi tullut ilmi muista peleistä. Pilottitestien perusteella tämä ei ollut kuitenkaan vielä selvinnyt, mistä johtui sen pois jääminen vasta myöhemmässä vaiheessa.

Take and Hold ja Mini Arena ovat keskenään hyvin samankaltaisia minipelejä. Ensimmäistä testaajaa lukuun ottamatta kaikki testasivat ainakin joko Take and Hold tai Mini Arena -minipeliä. Kummassakin pelissä pelaaja saa pelin aluksi valita itselleen aseet, jonka jälkeen hän pääsee taistelemaan makkaran näköisiä hot dog -hahmoja vastaan.

Simulaatiota olisi voinut myös testata vain yhteen tai kahteen minipeliin keskittymällä, mutta tällä tavoin saatiin monipuolisempi kokonaiskuva pelin sisällöstä. Monipuolisen kuvan avulla oli helpompi nähdä, miten testaajat hyödynsivät heuristiikkoja erilaisten pelien yhteydessä. Pelin eri osa-alueita testaamalla eri heuristiikat tulivat mahdollisimman laajasti käyttöön. Moderaattorina pyrin siihen, että testaajat eivät testaisi kovin paljon samantyyppisiä pelejä yhden testaussession aikana. Jokainen testaaja pääsi testaamaan minipelejä seuraavasti:

- yhtä tavallista ampumarataa
- minipeliä, jossa testaaja pääsee kulkemaan ja kokeilemaan vapaasti virtuaalimaailmassa
- minipeliä, jossa testaajalla on vastustajia tai pelissä on muita hahmoja
- minipeliä, jossa pelattiin aikaa vastaan.

Eri pelityyppejä kokeilemalla testaajat saivat kattavan otoksen eri minipelityypeistä simulaatiossa.

Testauksen aikana testaajien oli tarkoitus käyttää Think aloud -menetelmää kuvaamaan omia ajatuksiaan. Testaajien pohdinnan perusteella testaajille kirjasin muistiinpanoja heuristiikkarikkeiden raportoinnin tueksi. Testaajilla oli välillä vaikeuksia muistaa puhua ääneen, varsinkin jos kyseessä oli hyvin immerstiivinen osuus pelissä. Esimerkiksi Arcade-proto pelin tempo oli hyvin intensiivinen, ja käyttäjät muistivat yleensä puhua ääneen ainoastaan pelin suvantokohdissa. Tähän auttoi usein muistuttaminen silloin, kun puhuminen unohtui testaajalta.

Testauksen lopuksi testaajat täyttivät evaluointiraportin käyttäen apunaan heuristiikkoja sekä Think aloud -menetelmän pohjalta tehtyjä muistiinpanoja testaussessioista. Raporttiin kirjattiin ylös heuristiikkarikkeitä, niiden vakavuusaste sekä korjausehdotuksia rikkeisiin. Raporttiin oli jätetty tilaa kahdeksalle heuristiikkarikkeelle, mutta testaajilla oli mahdollisuus halutessaan lisätä niitä enemmänkin. Testauksen aikana käyttäjät saattoivat pyytää muistutuksena eri heuristiikkojen nimiä, jotta voivat keskittyä paremmin niiden arviointiin. Moderaattorina toistin aina tarvittaessa kunkin osa-alueen heuristiikat testaajalle.

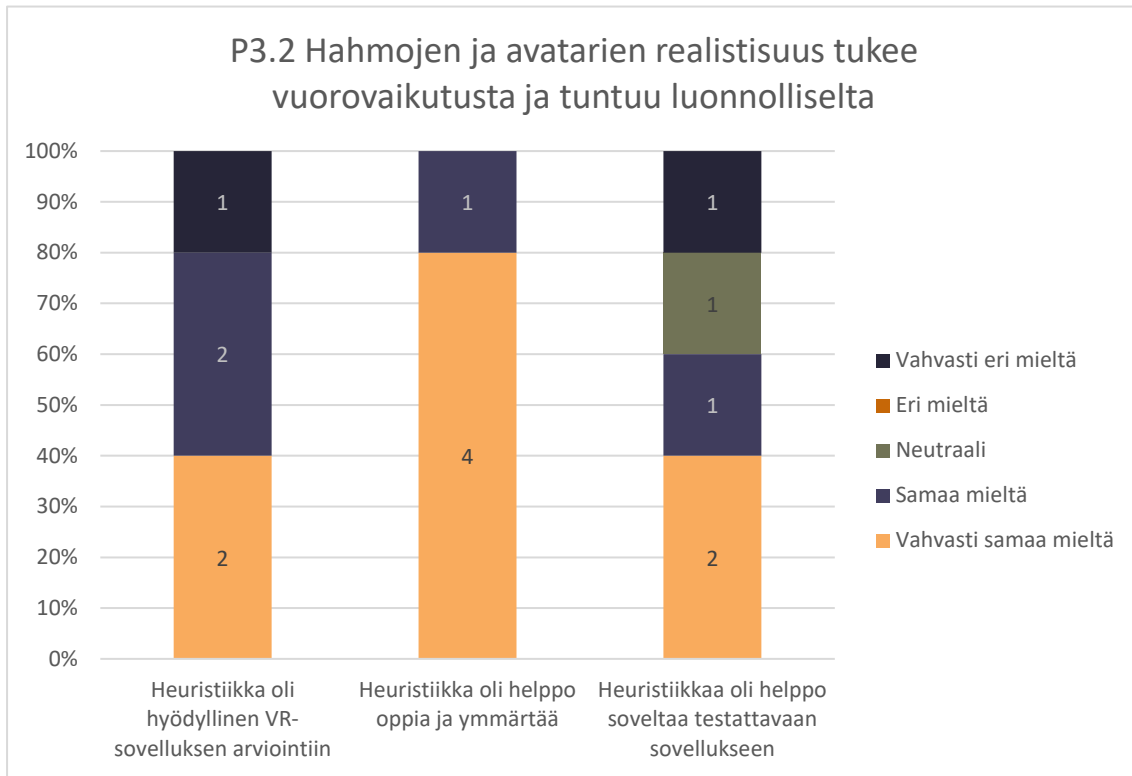
Jokaisella testaajalla oli oma tapansa käydä läpi heuristiikkoja testauksen aikana. Toiset etenivät kohta kohdalta, ja pohtivat kuinka ne toteutuvat sovelluksessa. Toiset taas keskittyivät virheiden etsimiseen lähinnä osa-alueen otsikon mukaan, ja nimeämään vasta jälkikäteen tarkemmin eri heuristiikkarikkeet. Erilaisilla tyyleillä heuristiikkarikkeitä löytyi eri tavalla. Jos kaikki heuristiikat käytiin läpi kohta kohdalta, varmistuttiin siitä, että jokainen niistä oli sovelluksessa toimiva. Toisaalta jos testaaja keskittyi rikkeisiin aikaa ei kulunut heuristiikkoihin, joita ei voinut soveltaa sovellukseen tai joihin liittyen ei löytynyt heuristiikkarikkeitä.

Testaajat pystyivät soveltamaan heuristiikkoja H3VR:n eri osa-alueisiin. He kiinnostivat heuristiikkojen avulla huomiota myös onnistuneisiin ja hyvin suunniteltuihin ominaisuuksiin simulaatiossa. Tämä on tärkeää heuristisessa evaluoinnissa, jotta saadaan palautettu myös sovelluksen parhaista puolista.

6.5 Toisen testauksen kyselyn tulokset

Toisella testauskierroksella jokaisen osion jälkeen testaajilta kysyttiin jälleen arvioita eri heuristiikkojen hyödyllisyydestä, opittavuudesta ja sovellettavuudesta. Yleisesti ottaen heuristiikkoihin oltiin tyytyväisiä. Niin kuin edelliselläkin kierroksella, joitakin heuristiikkoja oli hankala soveltaa VR-sovellukseen, mistä johtuen niihin liittyvissä vastauksissa oli usein paljon hajontaa.

Uuden kyselyrakenteen avulla yksittäisiä heuristiikkoja pystyi arvioimaan paremmin. Tuloksista näkyi nyt selvästi, jos yksittäinen heuristiikka oli esimerkiksi helposti opittava ja ymmärrettävä, mutta jota oli vaikea soveltaa käytännössä. Käytännössä useimmissa heuristiikoissa kaikki kolme osa-aluetta oli testaajien mukaan kunnossa, eikä poikkeavia



Kuva 38. P3.2 Heuristiikan hyödyllisyys, opittavuus ja sovellettavuus.

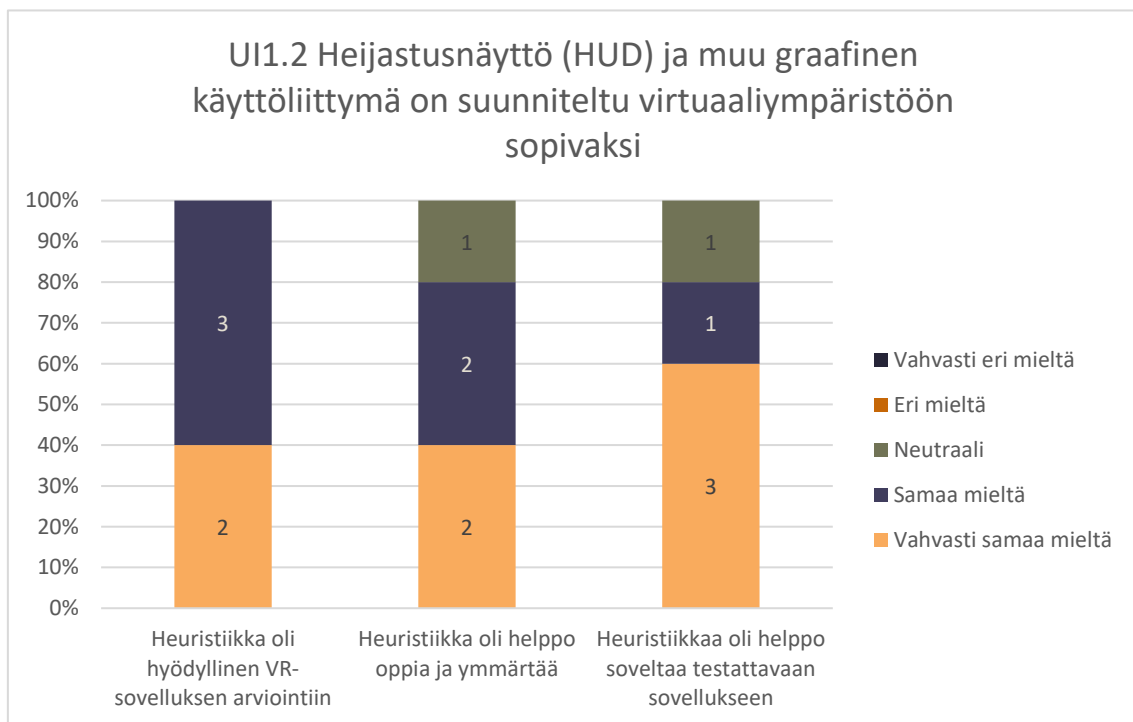
vastauksia löytynyt montaa- Tästä syystä tuloksiin on raportoitu hyvin lyhyesti kyselyvastauksia yksittäisiä heuristiikkoja koskien.

P3.2 Hahmojen ja avatarien realistisuus oli joidenkin testaajien mielestä hankala soveltaa, sillä pelissä ei ollut juurikaan pelihahmoja tai avatareja. Ainoat hahmot olivat isoja makkaroita, joita minipeleissä esiintyi pelaajan vastustajana tai maalitauluna. Hahmot olivat niin neutraaleja olemukseltaan ja käytökseltään, etteivät kaikki testaajat mieltäneet niitä varsinaisiksi hahmoiksi. P3.2 heuristiikan uudesta määritelmästä oltiin myös montaa mieltä. Yleisesti ottaen sitä pidettiin selkeämpänä kuin aiemmin, mutta muutamat testaajat jäivät kaipaamaan Uncanny valley -mainintaa.

Muiden heuristiikkojen osalta vastaukset kyselyn väittämiin liittyen olivat välillä *Vahvasti samaa mieltä*, *Samaa mieltä* ja *Neutraali*. Neutraalit vastaukset liittyivät heuristiikkoihin, joita oli vaikea arvioida kyseisen sovelluksen kohdalla, vaikka heuristiikkaa muuten saatettiin pitää tarpeellisena esimerkiksi kommenttien perusteella. Esimerkki tällaisesta heuristiikasta on *UII.2 Heijastusnäyttö (HUD) ja muu graafinen käyttöliittymä on suunniteltu virtuaaliympäristöön sopivaksi*. Kaikissa minipeleissä ei ollut näkyvissä HUD-elementtejä, jolloin sitä oli joidenkin testaajien mielestä hankala arvioida. Tästä syystä heuristiikkaa päätettiin kehittää VR-heuristiikkojen lopulliseen

versioon. Muita heuristiikkoja, joissa oli kaksi tai enemmän neutraalia vastausta kyselyssä olivat:

- UI1.3 Käyttöliittymästä löytyy perinteisistä käyttöliittymistä tuttuja elementtejä ja metaforia, jotka auttavat käyttäjää sopeutumaan VR käyttöliittymään
- P1.1 VR-kokemuksen intensiteetti skaalautuu käyttäjän taitojen ja sovelluksen tarkoituksen mukaisesti
- P2.3 Ohjainten haptinen palaute helpottaa vuorovaikutusta virtuaalimaailmassa
- S2.2 Käyttäjä ei joudu pitämään käsiään jännittyneenä pitkiä aikoja



Kuva 39. UI1.2 sai kyselyssä muutamia neutraaleja vastauksia heuristiikan ymmärrettävyyteen ja sovellettavuuteen liittyen

Heuristiikkoja pidettiin muilta osin yleisesti hyödyllisinä, helposti opittavina ja sovellettavina. Lopullisia heuristiikkoja muodostaessa pyrittiin ottamaan huomioon vaikeasti sovellettavien heuristiikkojen ongelmat, sekä kehittämään jo hyvinä pidettyjen heuristiikkojen kieliasua.

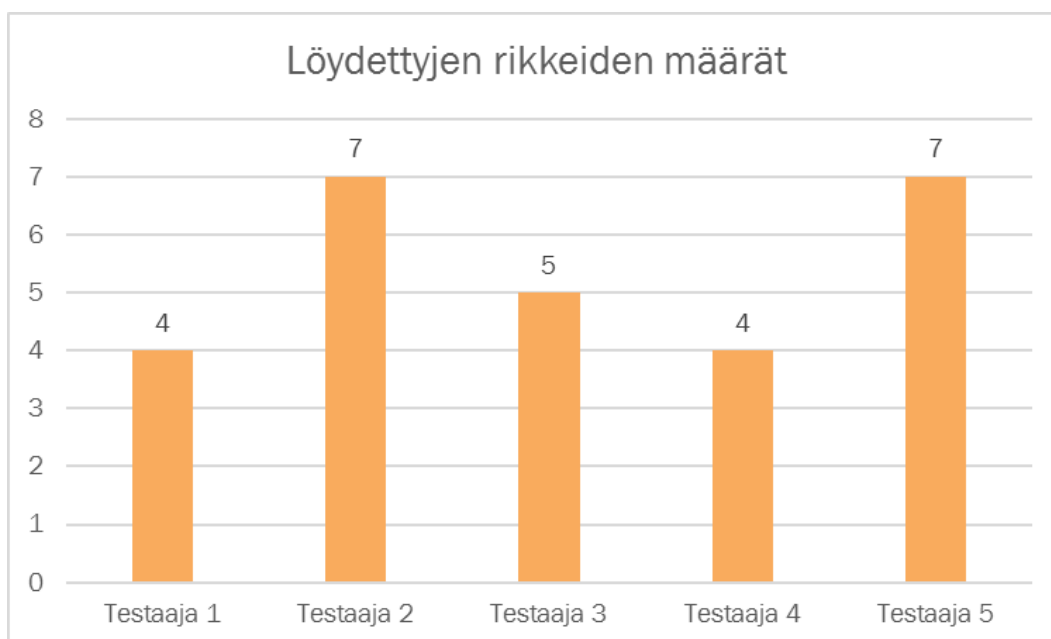
6.5.1 Evaluointiraportit

Kyselyn lopuksi arvioitiin itse evaluointiprosessia ja evaluointiraportteja. Kyselyn tuloksien perusteella testaajat pitivät evaluointiraportti-pohjaa selkeänä ja ymmärrettävänä.

Taulukko 14. Ote testajaajan evaluointiraportista.

#	Heuristiikka	Ongelman / palautteen aihe	Ongelma-alue	Vakavuus (High / Medium/ Low)	Ratkaisuehdotuksia
1	UI1.2. UI2 UI2.1.	Tekstit ovat hankalalukuisia, teksti ei näy tarpeeksi terävästi, värien käyttö häiritsee. Myös flicker häiritsee.	Läpi pelin	High	Löytää parempi tapa esittää tekstiä. Kehittää värien käyttöä paremmaksi ja tekstien esittämistä selkeämmäksi ja terävämmäksi. Flicker pois kohdista, joissa pelaajan tulee keskittyä lukemiseen (valikot ym.)
2	P1 P1.1. P1.2.	Aseiden ja holvin käyttöön ja ylipäättään simulaattorin käyttöön ei löydy pelin sisäisiä ohjeita. Holvista voi valita luoteja, mutta ei tiedä mihin aseeseen sopivat. Aseiden lataaminen voi vaihdella mallin mukaan, tästä ei kuitenkaan löydy ohjeistusta.	Läpi pelin	High	Help-nappula tai jonkinlainen hub-ikkuna jos pelaaja jähmettyy käsitellessään jotain esinettä. Holviin ohjeet. Aseiden ja luotien mallit paremmin näkyviin. Nakkimiesten pelissä aseiden ja lipasten tilaaminen holvista oli helpompaa verrattuna metsäskenaarioon.
3	IA3.2 S2.3.	Ohjaimella on hankala ladata ja käsitellä asetta tai nostaa asioita lattialta, kun ohjaimet kopsahtavat helposti yhteen tai maahan. Tämä rikkoo immersiota.	Läpi pelin	Medium	Ohjainten pelin sisäinen kantama voisi olla laajempi ja reagointi herkempi. Esineen toiminnot ja käsittely voisi olla responsiivisempi.

Raportteja varten testajat saivat käyttää tekemiäni muistiinpanoja testajien kommenttien pohjalta testauksen aikana. Esimerkki evaluointiraportista löytyy liitteistä ([Liite 3](#)). Testaussessio myös videokuvattiin, joten testajat olisivat voineet käyttää videomateriaalia heuristiikkaraporttinsa pohjana. Käytännössä kuitenkin kaikki testajat täyttivät raportin muistiinpanojen ja omien muistikuvien pohjalta.

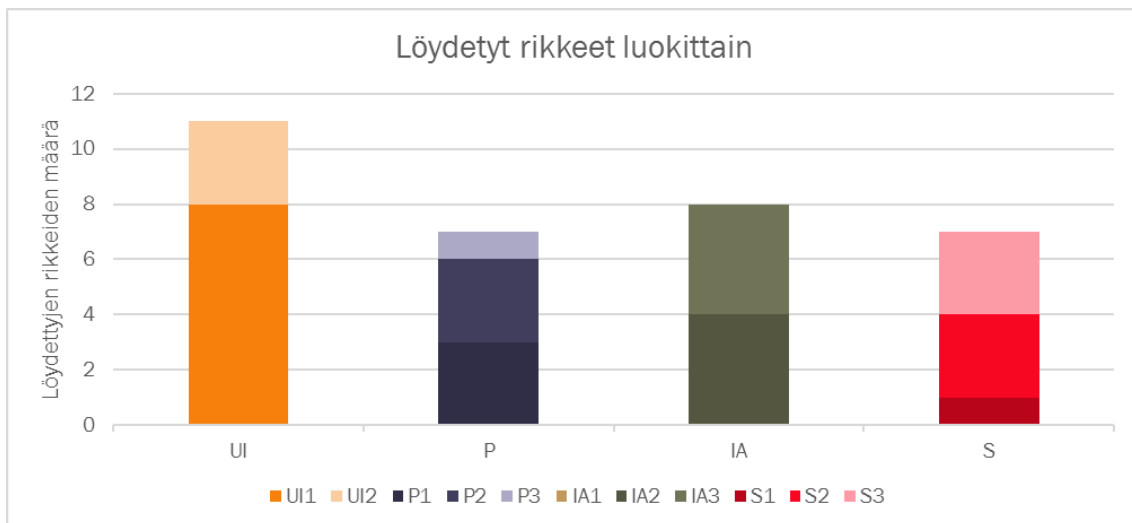


Kuva 40. Testajien löytämien käytettävyyserikkeiden määrät.

Testaajat käyttivät heuristiikkoja raportissa vaihdellen. Muutama testaaja käytti vain yhtä heuristiikkaa kerrallaan kuvaamaan yhtä rikettä. Toiset saattoivat käyttää kahta tai kolmea heuristiikkaa kuvaamaan yhtä rikettä. Muutama testaajista käytti myös heuristiikkojen yläkategoriaa (esimerkiksi P3) raportissa, jos tarkempi heuristiikka oli hankala sijoittaa rikkeeseen, tai se ei yksin riittänyt kuvaamaan koko rikettä. Testaajien löytämien rikkeiden määrä vaihteli neljän ja seitsemän välillä.

Raporttiin kirjattiin myös kuvaus rikkeestä, sekä ehdotus rikkeen korjaamiseen. Rikkeiden kuvausten taso vaihteli. Yleensä rikkeet kuvattiin yhdellä virkkeellä, mutta myös pidempiä kuvauksia esiintyi testaajasta tai esimerkiksi rikkeen vakavuudesta riippuen.

Raportissa arvioitiin aina kunkin heuristiikkarikkeen vakavuusaste. Vakavuusasteikon kategoriat olivat low, medium ja high (lievä, keskivakava ja vakava). Suurin osa rikkeistä oli vakavuusasteeltaan joko medium tai high -tason rikkeitä. High-tason rikkeitä oli yhdeksän, medium-tason 13 ja low-tason rikkeitä 5. Heuristiikkojen avulla pystyttiin siis nimeämään suurimmaksi osaksi vakavia ongelmia.



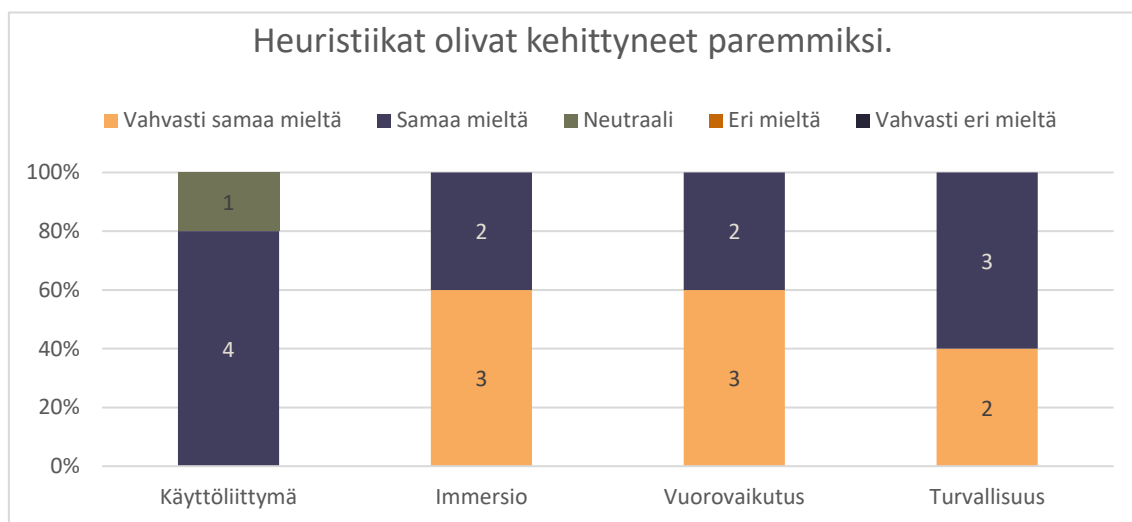
Kuva 41. Löydetyt käytettävyysrikkeet heuristiikkaluokkien mukaan jaoteltuna

Testaajat käyttivät rikkeiden kuvailussa heuristiikkoja kaikilta neljältä osa-alueelta. Jotkin heuristiikkaluokat jäivät raporteissa kokonaan käyttämättä. Oheisesta graafista näkyy, kuinka usein eri osa-alueita ja luokkia käytettiin kuvaamaan löydettyjä rikkeitä evaluointi-raporteissa (kuva 42). Jos käytettävyysrikkeen kuvaamiseen on käytetty useampaa kuin yhtä heuristiikkaa, saman luokan heuristiikat on laskettu kyseisen rikkeen kohdalta vain yhdeksi. Jos rikkeeseen on viitattu usean eri luokan kautta, jokainen viittaus on laskettu omakseen. Tämä johtuu siitä, että joskus on käytetty kokonaista luokkaa

kuvaamaan heuristiikkarikettä, joskus taas vain yksittäistä heuristiikkaa. Vaikka rikkeitä löytyi 27, viitteitä eri heuristiikkaluokkiin oli yhteensä 33.

Graafista näkyy, että eniten rikkeisiin viitattiin Käyttöliittymä-heuristiikkojen osalta. Seuraavaksi eniten viitattiin Vuorovaikutus-heuristiikkoihin, ja lopulta Immersio ja Turvallisuus-heuristiikkoihin. Ylivoimaisesti eniten viitattiin UI1-luokan heuristiikkoihin. Toisaalta IA1-luokkaa ei käytetty kertaakaan.

6.5.2 Heuristiikkojen kehittyminen kyselyn perusteella

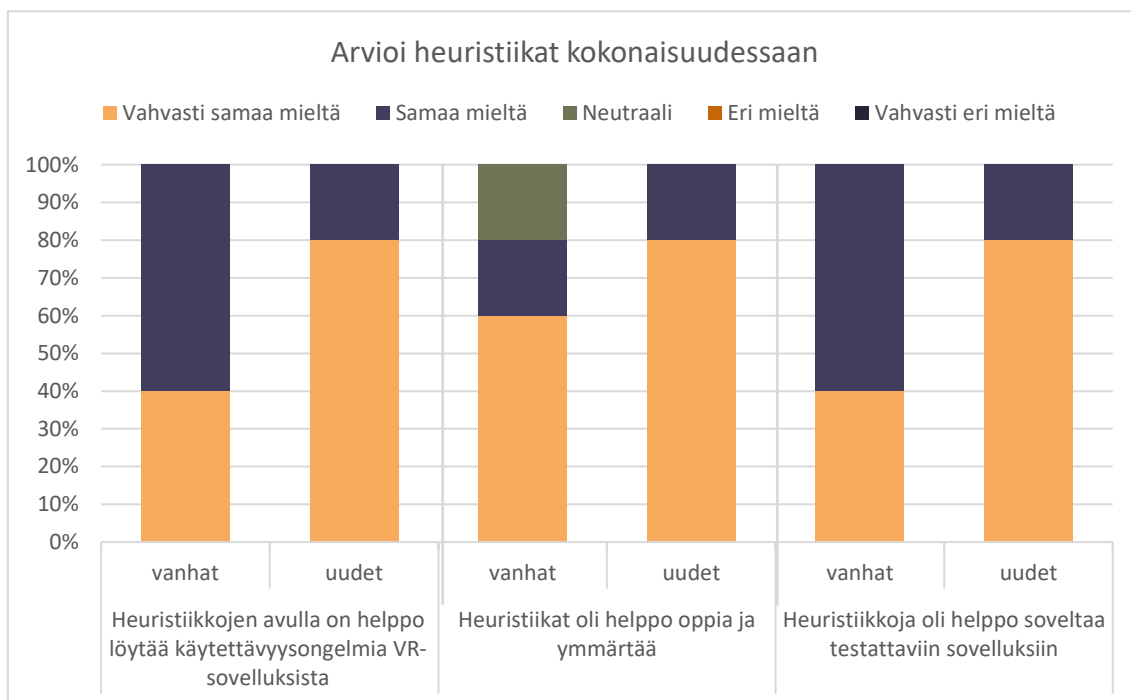


Kuva 42. Heuristiikkojen kehittyminen paremmaksi heuristiikkaluokittain.

Kyselyn perusteella heuristiikkojen arvioitiin enimmäkseen parantuneen edellisestä versiosta. Kysyttäessä testaajien mielipidettä heuristiikkojen kehittymisestä osa-alueittain, Immersio ja Vuorovaikutus-heuristiikoissa kolme viidestä oli *vahvasti samaa mieltä* heuristiikkojen parantumisesta ja kaksi muuta *samaa mieltä*. Turvallisuus-heuristiikoissa kaksi viidestä oli *vahvasti samaa mieltä* ja kolme *samaa mieltä* siitä, että heuristiikat olivat parantuneet. Käyttöliittymä-heuristiikat olivat ainoat, jotka saivat neljä *samaa mieltä* ja yhden *neutraali* -vastauksen. Kommenteissa erityisesti Turvallisuus-heuristiikkojen tiivistyminen ja Immersio-heuristiikkojen uusi jäsenitys saivat positiivista palautetta.

Uudessa kyselyssä heuristiikat arvioitiin myös kokonaisuudessaan positiivisemmin kuin edellisellä kierroksella. Kyselyn lopuksi käyttäjiä pyydettiin antamaan arvosanan heuristiikoille asteikolla 1-10. Edellisellä kierroksella heuristiikkojen arvosanan keskiarvo oli 8,2. Uudet heuristiikat saivat keskiarvoksi 9,2. Edellisen kierroksen kyselyyn verrattaessa useampi testaaaja oli samaa mieltä siitä, että heuristiikkojen avulla

oli helppo löytää ongelmia sovelluksesta, ne olivat helposti ymmärrettävät ja opittavat sekä niitä oli helppo soveltaa testattavaan sovellukseen.



Kuva 43. Heuristiikkojen kokonaisarvio uusissa ja vanhoissa heuristiikoissa vertailtuna.

Testaajat kommentoivat heuristiikkojen kehittymistä lisäksi kirjallisella palautteella. Jokaisen testausosion jälkeen testaajat antoivat halutessaan vapaata palautetta testattujen heuristiikkojen osa-alueeseen liittyen.

”(Immersio-)heuristiikkojen otsikot olivat paljon paremmat, selkeämmät ja yksinkertaisemmat. Heuristiikat oli jaoteltu paremmiksi osakokonaisuuksiksi. Erityisen hyvä oli P2 (Eri aistien huomioiminen).” (Testaaja 4)

Immersio-heuristiikkojen otsikoita oli pyritty kehittämään ensimmäiseltä kierrokselta. Tämä sai hyvää palautetta. Arviointitulosten ja palautteen perusteella immersio-heuristiikat olivat muutenkin kehittyneet paljon ensimmäiseltä kierrokselta.

”UI2.2 oli -- tiivistynyt ja se sisälsi vain olennaisen osan. UI1.3 oli ehkä sinällään mennyt paremmaksi koska asia tulee paremmin esiin, mutta heuristiikka tuntuu hieman liian pitkältä -- .” (Testaaja 4)

UI2.2 heuristiikka oli suomenkieliseen versioon muotoutunut ilmaisultaan ytimekkäämmäksi. On kuitenkin huomattava, että englanninkielisessä versiossa heuristiikka pysyi lähes ennallaan, kirjoitusvirheen korjausta lukuun ottamatta. Jotkin heuristiikat saattoivatkin muodostua ytimekkäämmäksi kieliversiosta riippuen. Tämä

tuottikin heuristiikkojen muodostamiseen oma haasteensa, sillä heuristiikkojen tuli olla samalla tavalla tulkittavissa kieliversiosta riippumatta. Ohessa (taulukko 15) näkyy vertailtuna uusi ja vanha versio heuristiikoista molemmilla kielillä.

Taulukko 15. Heuristiikan UI2.2 eli kieliversioiden kehityksen vertailu.

Kieli	Vanhat heuristiikat	Uudet heuristiikat
Suomi	UI2.2 Värien ja valojen suunnittelussa on otettu huomioon käyttäjän sopeutuminen VR-maailmaan	UI2.2 Värit ja valot auttavat käyttäjää sopeutumaan VR-maailmaan
Englanti	UI2.2 The design of colours and lights helps user to accustomed to the virtual world	UI2.2 The design of colours and lights helps user to become accustomed to the virtual world

Myös ilmaisujen täsmentyminen ja selkeytyminen sai vastaajilta positiivista palautetta. Moni ehdotus aikaisemman kierroksen palautteista oli otettu uusiin heuristiikkoihin. Muutenkin heuristiikkojen kieliasua oli pyritty parantamaan.

”Käsien jännittyneisyys (turvallisuuden osa-alueella) on selkeästi parempi ilmaisu kuin aiempi!” (Testaaja 3)

Heuristiikassa S2.2 sekä suomen- että englanninkielistä versiota oli kehitetty eteenpäin. Uusi suomenkielinen versio sai hyvää palautetta, mutta englanninkielisestä versioista palautetta ei tullut suuntaan tai toiseen. Kumpikin versio saattaa olla tässä tapauksessa yhtä hyvä.

Taulukko 16. Heuristiikan S2.2 uuden ja vanhan version vertailu.

Kieli	Vanhat heuristiikat	Uudet heuristiikat
Suomi	S2.2 Käyttäjä ei joudu pitämään käsiään liian korkealla pitkiä aikoja	S2.2 Käyttäjä ei joudu pitämään käsiään jännittyneenä pitkiä aikoja
Englanti	S2.2 User is not forced be forced to hold hands too high for long periods	S2.2 User does not need to hold his or her hands up for long periods of time

Tässä luvussa kerrottiin, miten heuristiikkoja testattiin kahdella kierroksella, millaista palautetta heuristiikat saivat, sekä miten niitä kehitettiin. Kaiken kaikkiaan niin heuristiikkojen kehittäminen kuin niiden testaaminen sujui pitkälti ongelmitta. Testausten lopputuloksena syntyivät lopulliset heuristiikat ([Liite 4](#)).

7 POHDINTAA TESTAUKSISTA

Tässä luvussa analysoidaan testaamisen aikana ilmenneitä huomioita, sekä arvioidaan kriittisesti tutkimuksessa käytettyjä menetelmiä ja tuloksia. Koska tutkimus on tyypiltään eksploratiivinen, sen aikana paljastui monia seikkoja, joita tulisi ottaa huomioon jatkotutkimuksissa. Luvussa pohditaan, miten heuristiikkojen avulla heuristinen evaluointi voidaan toteuttaa parhaiten (Luku 7.1), millaiseksi tämän tutkimuksen heuristiikat lopulta muodostuivat (Luku 7.2), sekä mitkä seikat jäivät tässä tutkimuksessa vähemmälle huomiolle (Luku 7.3).

7.1 Heuristinen evaluointi VR-heuristiikoilla

Heuristista evaluointia on pidetty ongelmallisena käytettävyyssmenetelmänä VR-sovellusten arvioinnissa. Tämä johtuu siitä, ettei yhdenmukaisia heuristiikkoja ole vakinaistettu VR-sovellusten arviointiin (LaViola et al. 2017). Virtuaalitodellisuussovellusten käytettävyyden arviointiin on myös muita metodeja, esimerkiksi käyttäjätestauksella tai haastattelulla voidaan löytää käytettävyyssongelmia (LaViola et al. 2017). Myös tämän tyyppiset arviointimenetelmät voivat hyötyä yhtenäisistä VR-heuristiikoista. Heuristiikkojen avulla rikkeiden löytäminen, nimeäminen ja raportointi olisi yhdenmukaisempaa. Lisäksi VR-sovelluksia voidaan testata automaattisin keinoin, esimerkiksi suorituskyvyn, latenssin ja kuvataajuuden osalta (Bowman et al., 2002). Näihin on jo olemassa jonkinlaisia standardeja, mutta standardien soveltuvuus vaihtelee riippuen laitteesta ja sovelluksesta. Heuristiikkoja voisi käyttää hyödyksi myös näiden standardien ohella.

Virtuaalitodellisuussovelluksia testattaessa testaajat käyttivät hyödyksi tekemiäni muistiinpanoja testauksen aikana. Jokainen testaustilanne nauhoitettiin siltä varalta, että testaajat haluaisivat tehdä itse muistiinpanoja sen pohjalta. Kuitenkaan kukaan testaajista ei käyttänyt tätä hyödykseen. Tekemäni muistiinpanot tuntuivat riittävän, ja osa-alueittain etenemisen sanottiin helpottavan muistamista. Osa-alueittain etenemisen tarkoituksena oli, että testaajat keskittyisivät vain tiettyyn osa-alueeseen kerrallaan, eikä heidän tarvitsisi muistella kaikkia heuristiikkoja testauksen aikana.

Jatkossa tulisi pohtia, miten heuristinen evaluointi käytännössä toteutettaisiin. Vaikka kukaan testaajista ei käyttänyt videomateriaalia hyödykseen evaluointiraportteja tehtäessä, testaajat arvelivat niiden olevan hyödyllisiä silloin, kun joku muu ei ole tekemässä muistiinpanoja testauksen aikana. Jatkotutkimuksissa voitaisiin tarkastella, kykenevätkö evaluoitsijat pelkän oman muistinsa sekä videomateriaalin avulla itsenäisesti suorittamaan heuristisen evaluoinnin. Tällöin voisi olla tarpeen, että evaluoitsija voi testauksen aikana tehdä jollakin tapaa muistiinpanoja myös muilla tavoin. Tätä varten voitaisiin kehittää VR-sovellusten evaluointityökalu, sovellus, jonka avulla evaluoitsija voi virtuaalitodellisuuden sisälläkin tehdä muistiinpanoja löydettyistä heuristiikkarikkeistä.

Evaluoinnin voi myös toteuttaa pareittain, samaan tapaan kuin tämän tutkimuksen testauksissa. Tällöin evaluoinnista päävastuussa oleva tutkija tekisi muistiinpanoja asiantuntija-arvioijan tehdessä havaintoja evaluointisession aikana. Tämä voi rikkoa heuristisen evaluointi -menetelmän ideaa, sillä siinä evaluoitsijoiden on tarkoitus arvioida sovellus aluksi itsenäisesti, ja vasta loppuvaiheessa muodostetaan synteesi kaikista evaluointiraporteista (Nielsen, 1992). Toisaalta, niin kauan kuin ”tarkkaileva evaluoitsija” pysyy mahdollisimman objektiivisena, evaluointi toimii myös tällä tapaa. Menetelmä alkaisi tässä vaiheessa muistuttaa jonkin verran käyttäjätestausta. Menetelmän etuna olisi kuitenkin käytettävyydasiantuntijan ja mahdollisesti myös VR-asiantuntijan tietojen ja taitojen yhdistyminen käytettävyydsongelmien löytämiseen verrattuna tavalliseen käyttäjään. Molempien menetelmien, käyttäjätestauksen ja heuristisen asiantuntija-arvioinnin käyttäminen yhdessä auttaa välttämään suurimmat käytettävyyden sudenkuopat (Tan et al., 2009).

7.2 Lopulliset heuristiikat

Heuristiikkojen on Muñoz et al. (2011) mukaan oltava yleisyyden ja yksityiskohtaisuuden kannalta samalla tasolla keskenään. Tähän pyrittiin myös VR-sovellusten heuristiikkojen kehittämisessä. Ensimmäisen testauskierroksen jälkeen heuristiikat saivat palautetta, jonka mukaan heuristiikkojen yksityiskohtaisuuden ja yleisyyden tulisi olla yhdenmukaisempia. Seuraavalle testauskierrokselle heuristiikkoja korjattaessa tähän kiinnitettiin erityistä huomiota. Tämän johdosta osa hyvin yksityiskohtaisista heuristiikoista yhdistettiin isomman otsikon alle, ja toisaalta monimutkaiset heuristiikat

jaettiin omikseen. Näin heuristiikoista tuli testaaajien palautteen perusteella yhdenmukaisemmat.

Lopullisten heuristiikkojen ([Liite 4](#)) rakenteeseen ei tehty enää muutoksia, sillä testaaajien palautteen perusteella sille ei ollut tarvetta. Heuristiikkojen viimeinen versio rakennettiin Rusu et al. (2011) heuristiikkapohjaan, jossa varsinaisen heuristiikan lisäksi kuvataan myös esimerkiksi rike tai virheellinen tulkinta heuristiikasta. Rusu et al. (2011) pohjan avulla evaluoitsijoiden on helpompi tulkita heuristiikkoja, jolloin erilaisten evaluoitsijoiden tekemät havainnot ja evaluointiraportit ovat yhdenmukaisempia.

Heuristiikat saivat testaaajilta hyvin positiivista palautetta. Erityisen lupaavilta vaikuttivat arviot niiltä testaaajilta, joille VR-järjestelmät olivat ennestään tuttuja työn puolesta. Heidän mukaansa heuristiikoista olisi todella hyötyä VR-sovellusten kehittämisen työkaluna. Erityisesti niiden opittavuutta, rakennetta ja yhdenmukaisuutta kiiteltiin:

“I would absolutely use these heuristics at work, since I have to do a lot of user experience design and evaluation on a daily basis. They are concise, well-structured and easy to learn and understand.” (Testaaja 1)

Heuristiikoista tehtiin tämän tutkimuksen tarkoitusta varten lopullinen versio. Tästä huolimatta heuristiikoissa on vielä kehitettävää, ja niitä tulisi testata monipuolisesti erilaisilla VR-sovelluksilla. Tähän mennessä testatut sovellukset ovat olleet melko viihteellisiä tai pelillistettyjä kokemuksia. Olisi hyvä saada heuristiikkoja testatuksi myös hyötysovelluksilla. Näin saataisiin selville, vaativatko kyseiset sovellukset muutoksia heuristiikkoihin, vai riittävätkö heuristiikat nykyisessä muodossaan kaikenlaisten sovellusten testaamiseen. Heuristiikkoja tulisi myös testata kehitysvaiheessa olevilla sovelluksilla, sillä tässä tutkimuksessa testattiin ainoastaan valmiita sovelluksia. Näin saataisiin tietoa siitä, miten heuristiikat toimivat testauksessa kehitysvaiheessa.

7.3 Heuristiikkojen jatkokehitys

Heuristiikkojen kehittämisessä ei seurattu mitään valmista kaavaa. Quiñones et al. (2018) on kehittänyt heuristiikkojen muodostamista varten oman menetelmänsä. Vaikka heuristiikkojen muodostaminen noudattikin jossain määrin Quiñones et al. (2018) käytettävyyshauristiikkojen muodostamiseen kehitettyä menetelmää, siitä puuttui joitakin vaiheita, jotka voisivat olla hyödyllisiä jatkokehityksessä. Erityisesti heidän menetelmänsä seitsemäs vaihe voisi olla hyödyllinen:

“Check the new heuristics against traditional heuristics by experiments, through heuristic evaluations that are performed on selected case studies and complemented by user tests. The authors propose evaluating the set of heuristics in terms of the number of usability problems that are identified.” (Quiñones et al., 2018)

Toisin sanoen, heuristiikkojen toimivuutta tulisi testata käytännössä ja samalla verrata käyttäjätesteihin. Yksittäisen heuristiikan merkitystä tulisi myös arvioida sen mukaan, kuinka paljon ongelmia heuristiikkaan liittyen yleensä löytyy. Vaikka heuristiikka saattaakin sinänsä olla paikkaansa pitävä, jos sillä ei löydy käytettävyyso ongelmia, niin sen kuvausta ja tarpeellisuutta tulisi pohtia. Tässä tutkimuksessa testaajat eivät pitäneet yhtäkään heuristiikka tarpeettomana. Joitakin heuristiikkoja oli kuitenkin vaikea soveltaa tai eivät soveltuneet ollenkaan tiettyjen sovellusten kohdalla. Näiden heuristiikkojen kuvausta voisi jatkotutkimuksissa kehittää sellaiseksi, että niitä olisi helpompi käyttää erityyppisissä sovelluksissa. Toisaalta heuristiikkoja voi harvemmin soveltaa täydellisesti soveltaa testattavaan tuotteeseen, oli kyse sitten Nielsenin heuristiikoista tai peliheuristiikoista. Täydellisiä heuristiikkoja ei ole tässä mielessä koskaan olemassa.

Heuristista evaluointia käytetään monesti alkuvaiheessa sovelluksen tai tuotteen kehitystä. Tässä tutkimuksessa testattavat sovellukset olivat kuitenkin valmiita. Näin ollen ei vielä päästy näkemään, olisivatko heuristiikkojen avulla löydetty käytettävyyserikkeet sellaisia, joita sovellusta kehittäessä lähdetäisiin korjaamaan. Toisin sanoen, vaikka heuristiikkojen avulla löytyikin erilaisia rikkeitä, vielä ei ole tutkittu, ovat löydetty ongelmat käyttäjille todellisia ongelmia. Pitäisi siis selvittää ovatko ongelmat sellaisia, että niitä kannattaisi lähteä korjaamaan. Testaajien oman arvion mukaan suuri osa löydettyistä rikkeistä oli joko high- tai medium- tasoisia, josta voisi päätellä, että rikkeet olisivat olennaisia sovelluksen käytettävyyden kannalta. Jatkotutkimuksissa voisi mahdollisesti vertailla esimerkiksi sovellusten Steam-palvelussa näkyvien käyttäjien antamia arvioita tutkimuksen osallistujien arvioihin, josta voisi päätellä, ovatko löydetty ongelmat sellaisia, joihin myös käyttäjät törmäävät.

Heuristiikoissa erikoisryhmät on mainittu Turvallisuus-osa-alueen heuristiikoissa, mutta käyttäjien ikään tai sukupuoleen ei ole mitään suoria suosituksia. Jatkossa voisi pohtia, miten tietty käyttäjäryhmä voitaisiin huomioida VR-sovelluksen kehityksessä, silloin kun sovelluksen käyttäjät edustavat tiettyä kohderyhmää. Tämä tulisi ottaa myös heuristisessa evaluoinnissa huomioon käyttämällä eri kohderyhmien edustajia testauksessa. Erityisesti naisten käyttäminen heuristisessa evaluoinnissa voi olla järkevää. Munafo et al. (2017)

toteavat naisten olevan herkempiä VR-pahoinvoinnille kuin miesten. Näin ollen naisevaluoitsijoiden tekemät havainnot voisivat helpottaa pahoinvointia aiheuttavien käytettävyyserikkeiden paikantamista.

Heuristiikoissa jäi käsittelemättä joitakin osa-alueita, jotka ovat usein osana aiempia vastaavia heuristiikkoja. Käyttäjän saamalle palauteelle, ohjeistukselle sekä virhetilanteiden käsittelylle ei ole erikseen omia kriteerejä näissä heuristiikoissa. Tarkoituksena on, että käyttöliittymä-heuristiikat olisivat riittävät tähän. Jatkossa voidaan miettiä, tarvitaanko niille oma paikkansa heuristiikoissa, vai voidaanko ne sisällyttää osaksi joitain nykyisiä heuristiikkoja.

Heuristiikoissa ei myöskään tarkemmin käsitelty ohjaimia, ja niiden ottamista huomioon VR-sovelluksissa. Pitäisi ensinnäkin miettiä, mihin VR-käytettävyyden osa-alueeseen ohjaimet ja niiden käyttö liittyvät, vai pitäisikö niitä varten kehittää oma osa-alueensa. Jotkut testaajista arvelivat niiden sopivan parhaiten joko käyttöliittymä- tai vuorovaikutus- heuristiikkoihin. Toisaalta jotkin VR-järjestelmät, kuten Leap Motionilla, toimivat ilman ohjaimia. Tällöin käyttäjä ei välttämättä saa minkäänlaista haptista palautetta, ja immersion yksi osa-alueista jää uupumaan.

Käsittelemättä jäivät myös harvinaisempien, kuten tasapaino-, haju- ja makuaistin toteutus VR-sovelluksissa. Näitä ei nykyisissä VR-järjestelmissä yleensä huomioida, mutta järjestelmien kehittyessä ne kannattaisi ottaa huomioon heuristiikoissa. Eräs testaajista kommentoikin, että harvinaisemmat aistit tulisi huomioida heuristiikkojen jatkokehityksessä. Koska tällä hetkellä ei kuitenkaan kuluttajille tarkoitettuja VR-järjestelmiä, joissa näitä aisteja stimuloidaan, jätettiin ne tämän tutkimuksen ulkopuolelle.

8 YHTEENVETO

Virtuaalitodellisuuden käytettävyyden parantamiseksi on otettava huomioon VR-järjestelmien toimintamallit sekä yleiset käytettävyyden periaatteet. Tämä tutkimus pohjautuu kirjallisuuteen, jonka pohjalta muodostettiin VR-sovellusten käytettävyyshuristiikat. Huristiikkoja testattiin tämän jälkeen asiantuntija-arvioinneissa kahdella kierroksella. Molemmilta kierroksilta kerättiin palautetta niin haastattelemalla kuin kyselyillä. Palautteen perusteella huristiikkoja kehitettiin eteenpäin kummankin kierroksen jälkeen. Tutkimuksen lopputuloksena ovat käytettävyyshuristiikat VR-sovelluksille, joita voidaan hyödyntää minkä tahansa high-end VR-järjestelmän kanssa.

Huristiikkoihin muodostettiin neljä osa-aluetta, jotka kirjallisuuden perusteella olivat keskeisiä VR-sovellusten käytettävyyden kannalta. Osa-alueet ovat Käyttöliittymä, Vuorovaikutus, Immersio ja Turvallisuus. Osa-alueita pidettiin huristiikkojen testaajien palautteen perusteella hyvinä. Myös itse huristiikkoja pidettiin toimivina, ja kyselyistä saatujen kommenttien perusteella ne myös kehittyivät parempaan suuntaan jokaisella iteraatiolla.

VR-sovellusten testaaminen asiantuntija-arvioinnilla ei ole aivan yhtä yksinkertaista kuin perinteisten sovellusten testaaminen. Kun asiantuntijalla on VR-lasit päässään, hän ei pysty tekemään muistiinpanoja testauksen aikana ilmenneistä ongelmista, vaan joutuu kirjaamaan ne ylös jälkikäteen. Apuna voidaan käyttää esimerkiksi sihteeriä tai avustajaa, joka testauksen aikana ottaa ylös arvioijan tekemiä huomioita. Toinen vaihtoehto on jollakin tapaa tallentaa testaus esimerkiksi videokuvalla. Tällöin arvioijalla kuluu aikaa tallenteiden läpikäymiseen, joka saattaa sotia huristisen evaluoinnin menetelmän ideaa vastaan. Huristisen evaluoinnin on kuitenkin tarkoitus olla kevyt ja nopea menetelmä käyttöliittymän testauksen arviointiin.

Tässä tutkimuksessa kumpaakin menetelmää kokeiltiin testauksessa. Havaintojen perusteella arvioitsijat eivät hyödyntäneet videomateriaalia testauksista, vaan tukeutuivat mieluummin Think aloud -menetelmän pohjalta avustajan tekemiin muistiinpanoihin. Tulevaisuudessa voitaisiinkin pohtia sellaisen työkalun kehittämistä, jonka avulla arvioija voisi tallentaa löytämänsä käytettävyyshuristeet jo testauksen aikana. Siihen asti avustajan hyödyntäminen arvioinnissa on luultavasti helpoin ratkaisu.

Koska VR-järjestelmät, virtuaalimaailmat sekä vuorovaikutusmenetelmät kehittyvät jatkuvasti, on heuristiikkojen jatkossa pysyttävä ajan tasalla. Kuten useimmat asiat maailmassa, ne eivät luultavasti koskaan ole niin täydelliset, että kaikki VR-sovellusten erityispiirteet voitaisiin ennakoida niillä. Ahkeralla tutkimuksella ja toistuvalla testauksella niistä voidaan kuitenkin kehittää oiva työkalu VR-sovellusten käytön sujuvuuden takaamiseksi.

Virtuaalitodellisuuden mahdollisuudet ovat vasta nyt suuren yleisön ulottuvilla. Kuka tietää, miten todellinen ja virtuaalinen maailma tulevat toisiinsa kietoutumaan. Virtuaalitodellisuus voidaan saada ehkä tuntumaan jopa todellisuuttakin todellisemmaksi. Siihen asti on kuitenkin pidettävä huoli VR-sovellusten perusominaisuuksista. Sovelluksen käyttöliittymän on oltava käyttäjäystävällinen, vuorovaikutus käyttäjän ja järjestelmän välillä intuitiivista, ja virtuaalimaailman tulee olla niin immersiiivinen kuin käyttäjälle turvallinen. Kun nämä tekijät ovat kunnossa, voidaan luoda virtuaalimaailma, jossa käyttäjä voi olla kuin kotonaan.

9 LÄHTEET

Amin, A., Gromala, D., Tong, X., & Shaw, C. (2016). Immersion in cardboard VR compared to a traditional head-mounted display. In *Virtual, Augmented and Mixed Reality* (pp. 269–276). doi:10.1007/978-3-319-39907-2_25

Barrera, A. (2017). Virtual Reality isn't functional yet, here is why. Noudettu 31.3.2019 osoitteesta <https://thealeph.com/articles/2017/11/virtual-reality-vr-oculus-htc-why/>

Berger, C. C., Gonzalez-Franco, M., Ofek, E., & Hinckley, K. (2018). The uncanny valley of haptics. *Science Robotics*, 3(17). doi:10.1126/scirobotics.aar7010

Bhagat, K., Liou, W. and Chang, C. (2016). A cost-effective interactive 3D virtual reality system applied to military live firing training. *Virtual Reality*, 20(2), 127-140.

Bian, Y., Yang, C., Gao, F., Li, H., Zhou, S., Li, H., . . . Meng, X. (2016). A framework for physiological indicators of flow in VR games: Construction and preliminary evaluation. *Personal and Ubiquitous Computing*, 20(5), 821-832. doi:10.1007/s00779-016-0953-5

Bowman, D. (2013). 3D User Interfaces. Noudettu 16.10.2018 osoitteesta https://www.interaction-design.org/literature/book/the-encyclopedia-of-human-computer-interaction-2nd-ed/3d-user-interfaces#toc_4

Bowman, D. A., Gabbard, J. L., & Hix, D. (2002). A survey of usability evaluation in virtual environments: classification and comparison of methods. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 11(4), 404-424. doi:10.1162/105474602760204309

boyd, D. (2014). Is the Oculus Rift sexist? Noudettu 9.4.2019, osoitteesta <https://qz.com/192874/is-the-oculus-rift-designed-to-be-sexist/>

Brooks, J., Goodenough, R., Crisler, M., Klein, N., Alley, R., Koon, B., Logan Jr., W., Ogle, J., Tyrrell, R., Wills, R. F. (2010). Simulator sickness during driving simulation studies. *Accident Analysis & Prevention*, 42(3), 788-796. doi:10.1016/j.aap.2009.04.013

Craig, A. B.; Sherman, W. R.; Will, Jeffrey D. (2009). *Developing virtual reality applications: foundations of effective design*.

Cruz-Neira, C., Sandin, D. J., Defanti, T. A., Kenyon, R. V., & Hart, J. C. (1992). The CAVE: Audio visual experience automatic virtual environment. *Communications of the ACM*, 35(6), 64-72. doi:10.1145/129888.129892

Desurvire, H., & El-Nasr, M. S. (2013). Methods for Game User Research: Studying Player Behavior to Enhance Game Design. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 33(4), 82-87. doi:10.1109/mcg.2013.61

Desurvire, H., & Kreminski, M. (2018). Are game design and user research guidelines specific to virtual reality effective in creating a more optimal player experience? Yes, VR PLAY. *Design, user experience, and usability: theory and practice lecture notes in Computer Science*, 40-59. doi:10.1007/978-3-319-91797-9_4

Desurvire, H., Wixon D. (2013). "PLAY and GAP Heuristics for improving game user experience in game design" *CHI 2013, Proceedings of the ACM SIGCHI*. Noudettu 13.3.2019 osoitteesta <http://www.userbehavioristics.com/s/CHI-2013-CHI-2013-Desurvire-Wixon-Game-Principles-Making-Games-Better-copy-3.pdf>

Grubb, J. (2016). Sony will reject PlayStation VR games that aren't at least 60 frames per second. Noudettu 9.4. 2019, osoitteesta <https://venturebeat.com/2016/03/17/sony-will-reject-playstation-vr-games-that-arent-at-least-60-frames-per-second/>

Head-up display (video gaming). Noudettu 7.4.2019, osoitteesta [https://en.wikipedia.org/wiki/Head-up_display_\(video_gaming\)#/media/File:Supertuxkart-0.8.1-screenshot-6.png](https://en.wikipedia.org/wiki/Head-up_display_(video_gaming)#/media/File:Supertuxkart-0.8.1-screenshot-6.png)

Hot Dogs, Horseshoes & Hand Grenades on Steam. (2016). Noudettu 10.4.2019, osoitteesta https://store.steampowered.com/app/450540/Hot_Dogs_Horseshoes_Hand_Grenades/

Jaferian, P., Hawkey, K., Sotirakopoulos, A., Velez-Rojas, M., & Beznosov, K. (2011). Heuristics for evaluating IT security management tools. *Proceedings of the Seventh Symposium on Usable Privacy and Security - SOUPS 11*. doi:10.1145/2078827.2078837

Jerald, J. (2016). *The VR Book: Human-centered design for virtual reality*. New York: ACM Books.

Jørgensen, K. (2013). *Gameworld interfaces*. MIT Press.

Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., & Lilienthal, M. G. (1993). Simulator sickness questionnaire: an enhanced method for quantifying simulator sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3(3), 203-220. doi:10.1207/s15327108ijap0303_3

Kobbaka. (2016). View-Master. Noudettu 9.4.2019, osoitteesta https://commons.wikimedia.org/wiki/File:View-Master_model_L.jpg

Korhonen, H. (2016). Evaluating playability of mobile games with the expert review method. Doctoral thesis, University of Tampere. Noudettu 30.12.2018 osoitteesta <https://tampub.uta.fi/handle/10024/99584>

Korvenranta, H. (2005) Asiantuntija-arvioinnit. Ovaska, S., Aula, A. & Majaranta, P. (toim.) Käytettävyystutkimuksen menetelmät, 111-124. Tampereen yliopisto, Tietojenkäsittelytieteiden laitos B-2005-1.

Kotimaisten kielten keskus, (2017). Kielitoimiston sanakirja. Noudettu 5.3.2018 osoitteesta <https://www.kielitoimistonsanakirja.fi/virtuaalitodellisuus>

LaValle, S. M. (2016). Interaction. *Virtual Reality*. Noudettu 4.11.2018 osoitteesta <http://vr.cs.uiuc.edu/vrch10.pdf>

LaViola, J. J., Kruijff, E., McMahan, R. P., Bowman, D. A., & Poupyrev, I. (2017). 3D user interfaces: theory and practice. Boston: Addison-Wesley.

Leap Motion (2015). VR best practices guidelines, versio 1.2. Noudettu 23.8.2018 osoitteesta <https://developer.leapmotion.com/vr-best-practices>

Leap Motion [a]. (2016). Building blocks: a deep dive into leap motion interactive design. Noudettu 16.10.2018 osoitteesta <http://blog.leapmotion.com/building-blocks-deep-dive-leap-motion-interactive-design/>

Leap Motion [b]. (2016). World design: setting the stage. Noudettu 16.10.2018 osoitteesta <http://blog.leapmotion.com/world-design-setting-stage/>

Leap Motion [c]. (2016). Ergonomics in VR design. Noudettu 9.1.2019 osoitteesta <http://blog.leapmotion.com/ergonomics-vr-design/>

Leap Motion (2017). How sound design can add texture to a virtual world. Noudettu 7.4.2019 osoitteesta <http://blog.leapmotion.com/explorations-vr-sound-design/>

Lewis, C., & Rieman, J. (1993). The thinking aloud method. In *Task-Centered User Interface Design*. Noudettu 5.11.2018 osoitteesta <http://columbus.exp.sis.pitt.edu/socialreader/readings/books/lewis/5-5.html>

Lidwell, W., Holden, K., & Butler, J. (2010). *Universal principles of design: 125 ways to enhance usability, influence perception, increase appeal, make better design decisions, and teach through design*. Gloucester, Mass: Rockport.

Ling, C. & Salvendy, G., 2005. Extension of heuristic evaluation method: a review and reappraisal. *Ergonomia. An International Journal of Ergonomics and Human Factors*, 27 (3), 179–197.

Mann, S., Furness, T., Yuan, Y., Iorio, J., & Wang, Z. (2018). All reality: virtual, augmented, mixed (x), mediated (x,y), and multimediated reality. Noudettu 7.4.2019, osoitteesta <https://arxiv.org/abs/1804.08386>

Mazuryk, T. & Gervautz, M. (1999). Virtual reality - history, applications, technology and future. doi: 10.1007/s00221-016-4846-7

Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., & Kishino, F. (1995). Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *Telemanipulator and Telepresence Technologies*. doi:10.1117/12.197321

Moraes, R. M., & Machado, L. S. (2014). Psychomotor skills assessment in medical training based on virtual reality using a Weighted Possibilistic approach. *Knowledge-Based Systems*, 70, 97-102. doi:10.1016/j.knosys.2014.05.006

Munafo, J., Diedrick, M., Stoffregen, T. A. (2017). The virtual reality head-mounted display Oculus Rift induces motion sickness and is sexist in its effects. *Exp Brain Res*, 235:889–901. doi: 10.1007/s00221-016-4846-7

Muñoz, R., Barcelos, T., & Chalegre, V. (2011). Defining and Validating Virtual Worlds Usability Heuristics. 2011 30th *International Conference of the Chilean Computer Science Society*. doi:10.1109/sccc.2011.23

Nassiri, A. (2014). Brewster Stereoscope. Noudettu 9.4.2019 osoitteesta https://commons.wikimedia.org/wiki/File:IGB_006055_Visore_stereoscopico_portatile_Museo_scienza_e_tecnologia_Milano.jpg

National Research Council Staff. (1994). Virtual reality: scientific and technological challenges.

Nielsen J. (1995). [b] 10 Usability heuristics for user interface design. Noudettu 6.3.2016 osoitteesta <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>

Nielsen, J. (1992) Finding usability problems through heuristic evaluation. *Proceedings of Human Factors in Computing Systems (CHI'92)*, ACM Press, 373–380.

Nielsen, J. (1995). [a] How to conduct a heuristic evaluation. Noudettu 4.5.2016 osoitteesta <https://www.nngroup.com/articles/how-to-conduct-a-heuristic-evaluation/>

Nielsen, J. (1999). WWW suunnittelu. Jyväskylä: IT Press.

Nielsen, J. (2000). Why you only need to test with 5 users. Noudettu 9.4.2019 osoitteesta <https://www.nngroup.com/articles/why-you-only-need-to-test-with-5-users/>

Nielsen, J. (2012). Usability 101: introduction to usability. Noudettu 7.3.2016 osoitteesta <https://www.nngroup.com/articles/usability-101-introduction-to-usability/>

Oculus VR. (2017). Oculus Best Practices - Version 310-30000-02.

Noudettu 3.12.2018 osoitteesta https://scontent.oculuscdn.com/v/t64.5771-25/12482206_237917063479780_486464407014998016_n.pdf?_nc_cat=105&_nc_ht=scontent.oculuscdn.com&oh=a64df6d52f079d0eb89ce5a168f208b8&oe=5C1A73EE

Oculus VR. (2018). The VR Best Practices. Noudettu 3.12.2018 osoitteesta <https://developer.oculus.com/design/latest/concepts/book-bp/>

Ovaska S., Aula A., Majaranta P. (toim.) (2005). Käytettävyystutkimuksen menetelmät. Tietojenkäsittelytieteiden laitos, Tampereen yliopisto

Paavilainen, J., Korhonen, H., Alha, K., Stenros, J., Koskinen, E., & Mäyrä, F. (2017). The Pokémon GO Experience. *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI 17*. doi:10.1145/3025453.3025871

Pafcu, & MacDormand, K. (2007). Uncanny Valley. Noudettu 9.4.2019, osoitteesta https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mori_Uncanny_Valley-fi.svg

Portman, M., Natapov, A. and Fisher-Gewirtzman, D. (2015). To go where no man has gone before: Virtual reality in architecture, landscape architecture and environmental planning. *Computers, Environment and Urban Systems*, 54, 376-384.

Quiñones, D., & Rusu, C. (2017). How to develop usability heuristics: A systematic literature review. *Computer Standards & Interfaces*, 53, 89-122. doi:10.1016/j.csi.2017.03.009

Quiñones, D., Rusu, C., & Rusu, V. (2018). A methodology to develop usability/user experience heuristics. *Computer Standards & Interfaces*, 59, 109-129. doi:10.1016/j.csi.2018.03.002

Roblox. (2018). Virtual Reality – best practices. Noudettu 12.3.2019 osoitteesta <https://developer.roblox.com/articles/Virtual-Reality-Best-Practices>

Rogers, K., Ribeiro, G., Wehbe, R. R., Weber, M., & Nacke, L. E. (2018). Vanishing importance. *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI 18*. doi:10.1145/3173574.3173902

Rolnick, A., & Lubow, R. E. (1991). Why is the driver rarely motion sick? The role of controllability in motion sickness. *Ergonomics*, 34(7), 867-879. doi:10.1080/00140139108964831

Rothbaum, B. O., Hodges, L., Smith, S., Lee, J. H., & Price, L. (2000). A controlled study of virtual reality exposure therapy for the fear of flying. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 68(6), 1020-1026. <http://dx.doi.org/10.1037/0022-006X.68.6.1020>

Rusu, C., Roncagliolo, S., Rusu, V. & Collazos, C. (2011). A methodology to establish usability heuristics. *ACHI 2011: The Fourth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions*, February 23–28, Gosier, Guadeloupe, France.

Sawyer, W., & Hobbs, M. (2014). Designing for usability in 3D virtual environments. *2014 IEEE 2nd International Workshop on Usability and Accessibility Focused Requirements Engineering (UsARE)*. doi:10.1109/usare.2014.6890998

Sherman, W. R., & Craig, A. B. (2003). *Understanding virtual reality: Interface, application, and design*. Amsterdam: Morgan Kaufmann.

- Stanney, K. M., Mollaghasemi, M., Reeves, L., Breaux, R., & Graeber, D. A. (2003). Usability engineering of virtual environments (VEs): Identifying multiple criteria that drive effective VE system design. *International Journal of Human-Computer Studies*, 58(4), 447-481. doi:10.1016/s1071-5819(03)00015-6
- Statista. (2019). VR & AR headset shipments worldwide 2019-2023. Noudettu 31.3.2019 <https://www.statista.com/statistics/653390/worldwide-virtual-and-augmented-reality-headset-shipments/>
- Stein, J., & Ohler, P. (2017). Venturing into the uncanny valley of mind—The influence of mind attribution on the acceptance of human-like characters in a virtual reality setting. *Cognition*, 160, 43-50. doi:10.1016/j.cognition.2016.12.010
- Steuer, J. (1992). Defining virtual reality: dimensions determining telepresence. *Journal of Communication*, 42(4), 73-93. doi:10.1111/j.1460-2466.1992.tb00812.x
- Stone, R. J. (2001). Haptic feedback: a brief history from telepresence to virtual reality. *Haptic Human-Computer Interaction Lecture Notes in Computer Science*, 1-16. doi:10.1007/3-540-44589-7_1
- Sutcliffe, A. & Gault, B. (2004). Heuristic evaluation of virtual reality applications. *Interacting with Computers*. 16. 831-849. 10.1016/j.intcom.2004.05.001.
- Sweetser, P., Johnson, D., Ozdowska, A., & Wyeth, P. (2012). GameFlow heuristics for designing and evaluating real-time strategy games. *Proceedings of the 8th Australasian Conference on Interactive Entertainment Playing the System - IE 12*. doi:10.1145/2336727.2336728
- Sweetser, P., & Wyeth, P. (2005). GameFlow. *Computers in Entertainment*, 3(3), 3. doi:10.1145/1077246.1077253
- Tan, W., Liu, D., & Bishu, R. (2009). Web evaluation: heuristic evaluation vs. user testing. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39(4), 621-627. doi:10.1016/j.ergon.2008.02.012
- The Verge. (2018). The rise and fall and rise of Virtual Reality. Noudettu 31.3.2019 osoitteesta https://www.theverge.com/a/virtual-reality/oral_history

Timwell, A., Grimshaw, M., Nabi, D. A., & Williams, A. (2011). Facial expression of emotion and perception of the Uncanny Valley in virtual characters. *Computers in Human Behavior*, 27(2), 741-749. doi:10.1016/j.chb.2010.10.018

Vanhala, T. (2005) Kyselylomakkeet käytettävyyystutkimuksessa. Ovaska, S., Aula, A. & Majaranta, P. (toim.) *Käytettävyyystutkimuksen menetelmät*, 17-36. Tampereen yliopisto, Tietojenkäsittelytieteiden laitos B-2005-1.

Wikimedia Commons. (2014). Noudettu 9.4.2019, osoitteesta https://commons.wikimedia.org/wiki/Charles_Wheatstone

LIITE 1: VR-sovellusheuristiikat, ensimmäinen testiversio

Virtuaalitodellisuuden käytettävyyshauristiikat

Käyttöliittymä (UI)

UI1 Käyttöliittymän elementit

- UI1.1 Käyttöliittymän elementit on sidottu virtuaalimaailman objekteihin
- UI1.2 Heijastusnäyttö (HUD) on tehty virtuaalimaailmaan sopivaksi
- UI1.3 On käytetty tuttuja käyttöliittymän elementtejä ja metaforia perinteisistä käyttöliittymistä

UI2 Virtuaalimaailma

- UI2.1 Virtuaalimaailma on oikein skaalattu käyttäjän kokoon nähden
- UI2.2 Värien ja valojen suunnittelussa on otettu huomioon käyttäjän sopeutuminen VR-maailmaan

Immersion / presence (P)

P1 Intensiivisyys ja realismi

- P1.1 Sopivan intensiivinen, että käyttäjä tempautuu mukaan (flow-tila)
- P1.2 Sopivan realistinen maailma ja hahmot
- P1.3 Hahmot eivät saa olla väärällä tavalla realistisia (Uncanny valley)

P2 Kolmiulotteinen äänimaailma

- P2.1 Äänimaailma toimii kolmiulotteisesti käyttäjän ympärillä

P3 Selkeät tavoitteet

- P3.1 Käyttäjä tietää, mikä on tavoite ja kuinka se saavutetaan

P4 Tasalaatuinen kuvataajuus (frame rate)

- P4.1 Kuvataajuus on riittävän korkea
- P4.2 Kuvataajuus on tasainen

Vuorovaikutus (IA)

IA1 Liikkuminen ja metaforat

IA1.1 Liikkumisessa ja sen metaforissa on otettu huomioon virtuaalimaailman laajuus

IA1.2 Liikkuminen on suunniteltu käyttäjän turvallisuus huomioiden

IA2 Valinta ja objektit

IA2.1 Pienten esineiden valinta on tehty käyttäjälle helpoksi

IA2.2 Valittavissa olevat esineet tulee erottua esineistä, joita ei voi valita

IA2.3 Kaukana olevia esineitä varten tulee olla sopiva valintametafora

IA3 Manipulointi

IA3.1 Valittavissa olevia esineitä on kyettävä manipulimaan tai tarkastelemaan jollakin tavoin

IA3.2 Manipuloinnissa tulee ottaa huomioon esineiden luonnolliset affordanssit

Turvallisuus ja ergonomia (S)

S1 Käyttäjän kuvakulma

S1.1 Käyttäjän kuvakulma muuttuu ainoastaan käyttäjän niin halutessa

S1.2 Käyttäjän kuvakulma ei tärähtele tai pompi itsestään

S1.3 Käyttäjä pystyy milloin tahansa katsomaan ympärilleen

S2 Ergonomia

S2.1 Virtuaalimaailman esineet on sijoitettu sopivalle korkeudelle

S2.2 Käyttäjä ei joudu pitämään käsiään liian korkealla pitkiä aikoja

S2.3 Liikkeet on suunniteltu ergonomisesti

S3 Latenssi

S3.1 Latenssin on oltava minimaalinen

S3.2 Latenssin on oltava tasainen

S4 Kokemuksen räätälöinti käyttäjän mukaan

S4.1 Käyttäjäkokemuksen voi räätälöidä käyttäjän kokeneisuuteen nähden sopivaksi

S4.2 Riittävän hyvä tutoriaali ensi kertaa käyttäville

S5 Selkeät poistumistiet

S5.1 Käyttäjä voi pitää tauon VR-kokemuksen aikana

S5.2 Sovelluksesta löytyy selkeä poistumiskeino

LIITE 2 VR-sovellusheuristiikat, toinen testausversio

Virtuaalitodellisuuden käytettävyysheuristiikat

Käyttöliittymä (UI)

UI1 Käyttöliittymän elementit

UI1.1 Käyttöliittymän elementit on sidottu virtuaalimaailman objekteihin

UI1.2 Heijastusnäyttö (HUD) ja muu graafinen käyttöliittymä on suunniteltu virtuaaliympäristöön sopivaksi

UI1.3 Käyttöliittymästä löytyy perinteisistä käyttöliittymistä tuttuja elementtejä ja metaforia, jotka auttavat käyttäjää sopeutumaan VR-käyttöliittymään

UI2 Visuaalinen ilme

UI2.1 Virtuaalimaailma on skaalattu oikein käyttäjän kokoon nähden

UI2.2 Värit ja valot auttavat käyttäjää sopeutumaan VR-maailmaan

Immersio / precense (P)

P1 Intensiivisyys

P1.1 VR kokemuksen intensiteetti skaalautuu käyttäjän taitojen ja sovelluksen tarkoituksen mukaisesti

P1.2 Käyttäjä tietää, mikä on tavoite ja kuinka se saavutetaan

P2 Eri aistien huomioiminen

P2.1 Äänimaailma toimii kolmiulotteisesti käyttäjän ympärillä

P2.2 Kuvataajuus on riittävän korkea ja tasainen

P2.3 Ohjainten haptinen palaute helpottaa vuorovaikutusta virtuaalimaailmassa

P3 Realistisuus

P3.1 Virtuaalimaailman realistisuuden taso tukee sovelluksen tarkoitusta

P3.2 Hahmojen ja avatarien realistisuus tukee vuorovaikutusta ja tuntuu luonnolliselta

Vuorovaikutus (IA)

IA1 Liikkuminen ja metaforat

- IA1.1 Liikkumisessa ja sen metaforissa on otettu huomioon virtuaalimaailman laajuus
- IA1.2 Liikkuminen on suunniteltu tukemaan käyttäjän sopeutumista virtuaalimaailmaan
- IA1.3 Kiihtyvää liikkumista on käytetty harkiten

IA2 Valinta ja objektit

- IA2.1 Valittavissa olevat esineet tulee erottua esineistä, joita ei voi valita
- IA2.2 Esineiden koko ja etäisyys käyttäjästä on huomioitu valintametaforan suunnittelussa

IA3 Manipulointi

- IA3.1 Valittavissa olevia esineitä on kyettävä manipuloidaan tai tarkastelemaan jollakin tavoin
- IA3.2 Manipuloinnissa hyödynnetään esineiden luonnollisia affordansseja

Turvallisuus ja ergonomia (S)

S1 Virtuaalimaailman turvallisuus

- S1.1 Virtuaalisten kameroiden liikkeen tulisi vastata käyttäjän pään ja vartalon liikkeitä.
- S1.2 Käyttäjä kykenee milloin tahansa katsomaan ympärilleen
- S1.3 Latenssin on oltava minimaalinen ja tasainen

S2 Ergonomia

- S2.1 Virtuaalimaailman käytettävät esineet on sijoitettu sopivalle etäisyydelle ja korkeudelle
- S2.2 Käyttäjä ei joudu pitämään käsiään jännittyneenä pitkiä aikoja
- S2.3 Ohjainten käyttö tai liikkuminen eivät rasita käyttäjää

S3 Käyttäjien huomioiminen

- S3.1 Käyttäjäkokemuksen voi räätälöidä käyttäjän kokeneisuuden ja erityistarpeiden mukaan
- S3.2 Käyttäjä voi pitää tauon VR-kokemuksen aikana
- S3.3 Sovelluksesta löytyy selkeä poistumiskeino

LIITE 3 Esimerkki evaluointiraportista

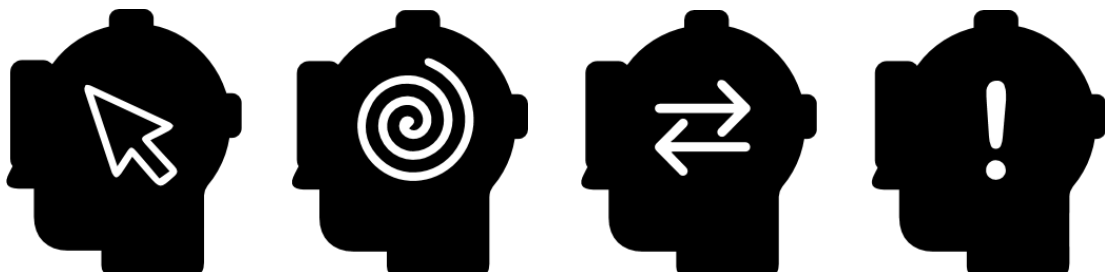
#	Name of Heuristic	Reason for feedback / breakdown	Phase	Severity (High / Medium/ Low)	Way(s) to rectify / Tradeoffs
1	UI1.2. UI2 UI2.1.	Tekstit ovat hankalalukuisia, teksti ei näy tarpeeksi terävästi, värien käyttö häiritsee lukua. Myös flicker häiritsee.	Läpi pelin	High	Löytää parempi tapa esittää tekstiä. Kehittää värien käyttöä paremmaksi ja tekstien esittämistä selkeämmäksi ja terävämmäksi. Flicker pois kohdista, joissa pelaajan tulee keskittyä lukemiseen (valikot ym.)
2	P1 P1.1. P1.2.	Aseiden ja holvin käyttöön ja ylipäätään simulaattorin käyttöön ei löydy pelin sisäisiä ohjeita. Holvista voi valita luoteja, mutta ei tiedä mihin aseeseen sopivat. Aseiden lataaminen voi vaihdella mallin mukaan, tästä ei kuitenkaan löydy ohjeistusta.	Läpi pelin	High	Help-nappula tai jonkinlainen hub-ikkuna jos pelaaja jähmettyy käsitellessään jotain esinettä. Holviin ohjeet. Aseiden ja luotien mallit paremmin näkyviin. Nakkimiesten pelissä aseiden ja lipasten tilaaminen holvista oli helpompaa verrattuna metsäskenaarioon.
3	IA3.2 S2.3.	Ohjaimella on hankala ladata ja käsitellä asetta tai nostaa asioita lattialta, kun ohjaimet kopsahtavat helposti yhteen tai maahan. Tämä rikkoo immersiota.	Läpi pelin	Medium	Ohjainten pelin sisäinen kantama voisi olla laajempi ja reagointi herkempi. Esineen toiminnot ja käsittely voisi olla responsiivisempi.
4	P2.3. P3	Kaukana olevat maalitaulut eivät mene rikki, mutta niistä kuuluu ääni, kun niihin osuu. Jotkut maalitaulut eivät päästä ääntä, mutta pelaaja näkee sen menevän rikki. Osumisesta ei saa haptista feedbackiä, vaan joutuu etsimään visuaalista tai audiomerkkiä osumisesta.	Läpi pelin	Medium	Ampumisesta saatava haptinen palaute imitoi ampumista todellisuudessa. Olisi kuitenkin hyvä, että osumisesta syntyvä reaktio olisi vastaava eri esineiden välillä, esim. Kaikista syntyisi äänireaktio. Näin pelaaja tottuu tunnistamaan helpommin pelin sisäistä palautetta.
5	IA3.2	Pelissä käytetään kahta erilaista tapaa käsitellä esineitä. Yksi tapa on se, että esine jää käteen, kun sen nostaa ja toinen on se, että esine irtautuu kädestä, ellei pidä triggeriä pohjassa. Tämä hämmentää pelaajaa.	Läpi pelin	Medium	Olisi parempi valita vain yksi käsittelytapa. Mielestäni esineiden käsittely olisi helpompaa, jos esineet jää käteen nostaessa ja irtaantuu painamalla jotain nappulaa.
6	IA2.1. IA2.2.	Pelaajan on vaikea nähdä asevyötä kokonaan, ellei kumarru syvästi, tämä häiritsee asevyön käyttöä pelin aikana. Vyöstä jää helposti osa näkemättä, harmaata taustaa vasten se ei erotu hyvin.	Läpi pelin	High	Asevyön valinta tehdään erikseen ja sen näkyvyys parannetaan. Asevyön käyttöä pitää kehittää helpommaksi, jotta pelaaja osaa käyttää sitä intuitiivisemmin.
7	S1.2.	Viimeisessä pelissä oli jossain välissä epäselvää, oliko pelaajan näkymä 180 vai 360 asteinen. Pelaajan kääntyessä nopeasti, siinä on riski, että pelaaja sotkeentuu välineistön johtoihin.	Läpi pelin	High	Kierroksen alussa ilmoitetaan pelialue ja putoavien esineiden näkymäkantavuus. Pelaaja osaa tällä tavalla varautua, esim. siirtämällä johtoja.

LIITE 4 Käytettävyysheuristiikat VR-sovelluksille

Käytettävyysheuristiikat VR-sovelluksille

Sisällys

<u>Käyttöliittymä (UI)</u>	vii
<u>UI1 Käyttöliittymän elementit</u>	vii
<u>UI2 Visuaalinen ilme</u>	viii
<u>Immersio (P)</u>	ix
<u>P1 Intensiivisyys</u>	xi
<u>P2 Eri aistien huomioiminen</u>	xii
<u>P3 Realistisuus</u>	xiii
<u>Vuorovaikutus (IA)</u>	ix
<u>IA1 Liikkuminen</u>	ix
<u>IA2 Valinta ja objektit</u>	x
<u>IA3 Manipulointi</u>	x
<u>Turvallisuus (S)</u>	xiv
<u>S1 Virtuaalimaailman turvallisuus</u>	xiv
<u>S2 Ergonomia</u>	xvi
<u>S3 Käyttäjien huomioiminen</u>	xvii





Käyttöliittymä (UI)

User interface, eli käyttöliittymä, on käyttäjälle näkyvä osa sovelluksesta. Sen toiminnan tulee vastata käyttäjän sisäisiä malleja käyttöliittymien toiminnasta. Virtuaalitodellisuuteen voidaan soveltaa yleisiä käyttöliittymäheuristiikkoja, kuten Nielsenin kymmentä heuristiikkaa (1992). Virtuaalitodellisuuden käyttöliittymät poikkeavat perinteisistä käyttöliittymistä käyttäjän vapauksien osalta, joka tulisi ottaa suunnittelussa huomioon.

UI1 Käyttöliittymän elementit

UI1.1 Käyttöliittymän elementit on sidottu virtuaalimaailman objekteihin	
Selitys	Kolmiulotteisessa ympäristössä esimerkiksi tekstielementit tulisi sitoa virtuaalimaailman objekteihin, eikä jättää irrallisiksi. Tämä auttaa käyttäjiä tulkitsemaan elementtejä ja niiden yhteyksiä toisiinsa. vrt. Roblox VR Best practices
Esimerkkirike	- Valikkoelementit on jätetty irrallisina ilman roikkumaan pelkkänä tekstinä, mikä tekee niistä vaikeasti havaittavat ja tulkittavat.
Hyödyt	Käyttäjä kykenee tulkitsemaan käyttöliittymäelementtien toimintaa ja suhteita paremmin.
Huomioitavaa	Virtuaalimaailmassa ohjeiden esittämiseen voidaan käyttää esimerkkinä pelihahmoa, joka näyttää miten käyttöliittymä toimii.
UI1.2 Graafinen käyttöliittymä on suunniteltu virtuaaliympäristöön sopivaksi	
Selitys	Ei oteta perinteisiä käyttöliittymäelementtejä sellaisenaan esimerkiksi videopeleistä, vaan räätälöidään ne virtuaalimaailmaan sopivaksi. Esimerkiksi ns. heijastusnäyttö (HUD) on suunniteltu niin, että se toimii myös virtuaalilasien kanssa käytettynä. vrt. Oculus Rift Best practices: UI ja HUD
Esimerkkirike	- HUD on "liimattu" käyttäjän virtuaalinäkymään, eikä hän kykene erottamaan elementtejä, jotka on sijoitettu virtuaalinäkymän reuna-alueille.
Hyödyt	Käyttäjä saa yhdellä silmäyksellä tarvitsemansa tiedon virtuaaliympäristöstä sekä omasta sen hetkisestä tilastaan siinä
Huomioitavaa	Heuristiikka ei tarkoita, etteikö perinteisiä graafisen käyttöliittymän elementtejä saisi käyttää, vaan että niitä on sovellettava virtuaaliympäristöön

UI1.3 Tunnistettavat käyttöliittymän elementit auttavat sopeutumaan VR-käyttöliittymään	
Selitys	Tuttuja elementtejä ja metodeja käyttämällä käyttäjä oppii käyttämään uutta sovellusta nopeammin. vrt. Nielsen Consistency and standards. Vaikka VR-sovelluksissa ei olekaan virallisia standardeja, jotka olisivat kaikissa järjestelmissä käytössä, monia suosituksia on julkaistu eri alustoille
Esimerkkirike	<ul style="list-style-type: none"> - Virtuaaliympäristö on täynnä uusia käyttöliittymäelementtejä, joissa ei ole mitään tuttua verrattuna käyttäjän aikaisemmin käyttämiin sovelluksiin. - Tuttuja ikoneita ei näy, josta käyttäjä voisi päätellä, mihin elementti liittyy.
Hyödyt	Käyttäjä oppii nopeasti käyttämään uutta sovellusta, ja tuntee itsensä itsevarmemmaksi uudessa ympäristössä
Huomioitavaa	Heuristiikan ideana on, ettei pyörää tarvitse keksiä uudestaan. Toisaalta virtuaalimaailma on täynnä uusia mahdollisuuksia kehittää uusia tapoja, joilla käyttäjä voi olla vuorovaikutuksessa sovelluksen kanssa.

UI2 Visuaalinen ilme

UI2.1 Virtuaalimaailman koko on skaalattu käyttäjän mittasuhteiden mukaan	
Selitys	VR-sovelluksia käytetään usein joko istualtaan tai seisaaltaan. Tämä tulisi ottaa huomioon elementtien etäisyyksien ja koon suunnittelussa. Käyttäjän tulisi tuntea olevansa oikean kokoinen virtuaalimaailmassa
Esimerkkirike	<ul style="list-style-type: none"> - Käyttöliittymäelementit on skaalattu todella suuriksi ja ne on sijoitettu käyttäjään nähden liian korkealle. Käyttäjä tuntee itsensä irralliseksi virtuaalimaailmasta väärän kokonsa vuoksi.
Hyödyt	Sovellusta on mukavampi käyttää, kun käyttäjä tuntee olonsa luonnollisen kokoiseksi virtuaalimaailmassa. Käyttöliittymäelementtejä on helppo käyttää, kun niiden etäisyydessä on otettu huomioon, käytetäänkö sovellusta seisaaltaan vai istualtaan.
Huomioitavaa	Heuristiikka voidaan joskus rikkoa myös tahallisesti, kun käyttäjä halutaan saada tuntemaan itsensä liian pieneksi tai suureksi. Silti tämän ei tulisi vaikeuttaa sovelluksen käyttöä.

UI2.2 Värit ja valot auttavat käyttäjää sopeutumaan VR-maailmaan	
Selitys	Vilkkuvia valoja ei tulisi käyttää. Värimaailma voidaan säätää sävyiltään punaiseksi, jos käyttäjä on menossa sovelluksessa valaistukseltaan hämärälle alueelle. Tämä auttaa käyttäjää tottumaan pimeään. Käyttöliittymäelementit erottuvat selkeästi. vrt. Unreal Engine VR Best practices
Esimerkkirike	<ul style="list-style-type: none"> - Käyttäjä joutuu yhtäkkiä valaistukseltaan hämärälle käytävälle virtuaalimaailmassa, ilman että tällä on aikaa totutella pimeään
Hyödyt	Sovellus rasittaa käyttäjän silmiä vähemmän, kun värimaailma on suunniteltu sopivaksi.
Huomioitavaa	Heuristiikka voidaan joskus tietyissä tapauksissa rikkoa esimerkiksi pelissä tietynlaisen tunnelman luomiseksi



Vuorovaikutus (IA)

Virtuaalitodellisuudessa on kyse uskottavasta ja käyttäjälle luonnollisesta vuorovaikutuksesta käyttäjän ja järjestelmän välillä. Sovelluksen sisällä vuorovaikutus voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen: liikkumiseen virtuaalitodellisuudessa, esineiden eli objektien valinta ja valittujen esineiden manipulointi. Vuorovaikutuksen onnistuminen vaikuttaa sovelluksen immersivisyyteen ja turvallisuuteen.

IA1 Liikkuminen

IA1.1 Liikkumismetodeissa on otettu huomioon virtuaalimaailman laajuus	
Selitys	Liikkumismetodi kannattaa suunnitella sen mukaan, minkä kokoisessa tilassa käyttäjä liikkuu virtuaalimaailmassa. Jos tila on pieni, riittää kun käyttäjän sijaintia seurataan. Suuressa tilassa kannattaa harkita esimerkiksi teleporttaus-menetelmää tai jonkinlaisen kulkuneuvon käyttöä
Esimerkkirike	- Käyttäjä joutuu toistuvasti painelemaan teleporttaus-painiketta suuressa virtuaalimaailmassa, joka rasittaa käyttäjää
Hyödyt	Hyvin suunniteltu metodi tuntuu käyttäjältä luontevalta käyttää, ja lisää immersiota.
Huomioitavaa	Käyttäjän voi tarvittaessa itse antaa valita liikkumismetodi, jota mieluiten haluaa käyttää.

IA1.2 Liikkumismetodi auttaa käyttäjää sopeutumaan virtuaalimaailmaan	
Selitys	Liikkumismetodin suunnittelussa kannattaa ottaa huomioon, että etenkin uudet käyttäjät saattavat kokea pahoinvointia liikkumisen aikana. Siksi liikkumismetodi kannattaa suunnitella mahdollisimman vähän käyttäjää kuormittavaksi. Kiihtyvää liikkumista tulisi välttää.
Esimerkkirike	- Liukuva liikkumismetodi aiheuttaa pahoinvoinnin tunnetta käyttäjässä
Hyödyt	Käyttäjä uskaltaa käyttää uusia liikkumismetodeja, kun ne eivät aiheuta käyttäjälle pahoinvointia.
Huomioitavaa	Käyttäjän voi tarvittaessa itse antaa valita liikkumismetodi, jota mieluiten haluaa käyttää.

IA2 Valinta ja objektit

IA2.1 Valittavissa olevat esineet tulee erottua esineistä, joita ei voi valita	
Selitys	Käyttäjälle ilmaistaan selkeästi, mihin esineisiin käyttäjä pystyy virtuaalimaailmassa vaikuttamaan. "Rekvisiitan" tulisi erottua käytettävistä työkaluista.
Esimerkkirike	<ul style="list-style-type: none">- Käyttäjä luulee, että esineen voi valita, koska se näyttää samanlaiselta kuin muutkin valittavat esineet
Hyödyt	Käyttäjä uskaltautuu kokeilemaan erilaisia asioita virtuaalimaailmassa rohkeammin, kun tietää mihin esineisiin hän voi vaikuttaa niiden ulkonäön perusteella. Vapaus virtuaalimaailmassa tekee elämyksestä rikkaan ja immerstiivisen.
IA2.2 Esineiden koko ja etäisyys käyttäjästä on huomioitu valintametaforan suunnittelussa	
Selitys	Kaukana olevia esineitä varten tulisi käyttää sopivaa valintametodia. Jos esineet ovat pieniä ja niitä on paljon, valitseminen tulisi tehdä käyttäjälle helpoksi.
Esimerkkirike	<ul style="list-style-type: none">- Käyttäjän pitäisi valita eri etäisyyksillä olevia esineitä, ja joutuu liikkumaan aina ensin niiden luokse ennen kuin voi valita ne.- Käyttäjän ei pysty valitsemaan yhtä pientä esinettä muiden joukosta, sillä valintametsodi ei lukittaudu yhteen esineeseen pysyvästi.
Hyödyt	Käyttäjän toiminta virtuaalimaailmassa on tehokkaampaa ja vähemmän turhauttavaa hyvin suunnitelluilla metodeilla.
Huomioitavaa	Oikean metodin valinta riippuu sovelluksen tarkoituksesta.

IA3 Manipulointi

IA3.1 Valittavissa olevia esineitä on kyettävä manipuloimaan tai tarkastelemaan	
Selitys	Käyttäjä näkee selkeästi, kun on valinnut jonkin esineen esimerkiksi haptisen palautteen, ääniefektin tai visuaalisen ilmeen muuttumisen myötä. Käyttäjä turhautuu, jos valittavasta esineestä ei näy, mikä sen tila on.
Esimerkkirike	<ul style="list-style-type: none">- Käyttäjä ei tiedä, onko hän valinnut esineen tai milloin hän pystyy käyttämään sitä- Valinta ei pysy voimassa, eikä käyttäjä pysty käyttämään esinettä
Hyödyt	Käyttäjän toiminta virtuaalimaailmassa on tehokkaampaa ja vähemmän turhauttavaa hyvin suunnitelluilla metodeilla.
Huomioitavaa	Oikean metodin valinta riippuu sovelluksen tarkoituksesta.
IA3.2 Manipuloinnissa hyödynnetään esineiden luonnollisia tarjoumia	
Selitys	Manipuloitavan esineen ulkonäkö auttaa käyttäjää päättämään, miten esinettä tulisi käyttää. Erilaiset kahvat, painikkeet tai muuten tutut esineet antavat käyttäjälle vihjeen siitä, miten esine toimii.
Esimerkkirike	<ul style="list-style-type: none">- Virtuaaliobjektin oikeaa käyttötapaa voi päätellä ulkonäöstä.- Esine on pelkistetty niin, ettei se kerro käyttäjälle, miten sitä tulisi käyttää
Hyödyt	Käyttäjälle antaa vihje esineen toiminnasta ilman tekstiohjeistusta.
Huomioitavaa	Tarjoumissa voidaan hyödyntää myös metaforia viestittämään esineen toimintaa, esimerkiksi roskakori.



Immersio (P)

Läsnäolon tunne (presence) kolmiulotteisessa ympäristössä on yksi tärkeimmistä kriteereistä virtuaalitodellisuussovelluksia kehitettäessä. Immersioon vaikuttavat niin käyttöliittymän luonnollisuus kuin vuorovaikutuksen keinot käyttäjän ja sovelluksen kesken.

P1 Intensiivisyys

P1.1	Intensiteetti skaalautuu käyttäjän taitojen ja sovelluksen tarkoituksen mukaisesti
Selitys	Sopiva intensiteetti sovelluksessa auttaa käyttäjää pääsemään flow-tilaan sovelluksessa, joka lisää immersiota. Toisaalta jos sovellus on käyttäjän kokemukseen ja taitoihin nähden liian intensiivinen, immersio kärsii.
Esimerkkirike	<ul style="list-style-type: none">- Käyttäjä joutuu odottelemaan pitkiä aikoja sovelluksessa ilman että voi tehdä mitään- Käyttäjä saa liian intensiivisesti syötteitä taitotasoonsa nähden, eikä pysty keskittymään kunnolla.
Hyödyt	Sopiva intensiteetti lisää immersiiivisyyttä, ja saa käyttäjän tuntemaan itsensä taitavaksi ja osaavaksi. Se motivoi käyttämään sovellusta myös jatkossa.
Huomioitavaa	Intensiteetin ylläpitämisen lisäksi käyttäjän on myös annettava levätä tarpeeksi. Kts. S3 Käyttäjän huomioiminen

P1.2	Käyttäjä tietää, mikä on tavoite ja kuinka se saavutetaan
Selitys	Käyttäjän on tiedettävä mikä on sovelluksen tavoite, sekä mitkä ovat keinot ja vaiheet, joilla tavoite saavutetaan. Jos käyttäjä ei tiedä mitä hän voi tehdä seuraavaksi, eikä hän saa apua, immersion taso laskee huomattavasti.
Esimerkkirike	<ul style="list-style-type: none">- Käyttäjä tietää, että hänen tulisi valita jokin tietty objekti, mutta hän ei tiedä miksi, eikä tiedä miten valinta tulisi tehdä.
Hyödyt	Kun käyttäjä tietää, mikä on sovelluksessa tavoitteena, hän voi keskittyä vain tavoitteen saavuttamiseen, eikä immersio kärsi.
Huomioitavaa	Peleissä ei ole aina selvää, miten tavoitteeseen pääsee, vaan tarkoituksena on, että käyttäjä selvittää sen itse. Silti on tärkeää, että käyttäjä tietää mitä työkaluja hänellä on käytössään tavoitteen saavuttamiseksi.

P2 Eri aistien huomioiminen

2.1 Äänimaailma toimii kolmiulotteisesti käyttäjän ympärillä	
Selitys	Virtuaalilasien kanssa käytetään yleensä kuulokkeita tai ääni toistetaan surround-systeemin kautta. Äänimaailma on suunniteltava niin, että se reagoi käyttäjän asentoon ja suuntaan virtuaalimaailmassa.
Esimerkkirike	- Äänet kuuluvat tasaisesti käyttäjän molemmista kuulokkeista, vaikka ääntä tuottava objekti on vain yhdellä puolella käyttäjää virtuaalimaailmassa.
Hyödyt	Käyttäjä immersoituu paremmin virtuaalimaailmaan, ja pystyy päättelemään eri objektien sijainnin virtuaalimaailmassa, vaikka ei niitä näkisikään.
Huomioitavaa	Äänenvoimakkuus tulee pitää ihmiskorvalle turvallisella tasolla.

P2.2 Kuvataajuus on riittävän korkea ja tasainen	
Selitys	Kuvataajuuden tulisi olla sellaisella tasolla, ettei käyttäjä kiinnitä siihen huomioita. Kuvataajuuden tulisi myös olla mahdollisimman tasainen, sillä käyttäjä huomaa helposti muutokset kuvataajuudessa.
Esimerkkirike	- Kuvataajuus pienenee järjestelmää kuormittavassa osiossa
Hyödyt	Käyttäjä ei huomaa käyttävänsä VR-laseja, vaan immersoituu VR-maailmaan
Huomioitavaa	Käyttäjä saattaa ajan kuluessa tottua matalaankin taajuuteen, kunhan se on vain tasainen.

P2.3 Ohjainten haptinen palaute helpottaa vuorovaikutusta virtuaalimaailmassa	
Selitys	Useimpien virtuaalijärjestelmien mukana ovat ohjaimet, joiden kautta käyttäjä saa haptista palautetta. Haptista palautetta voidaan hyödyntää ilmentämään esimerkiksi vuorovaikutusta eri objektien välillä.
Esimerkkirike	- Käyttäjä ei saa minkäänlaista haptista palautetta ohjaimien kautta - Haptinen palaute tuntuu pikemminkin häiritsevältä kuin vuorovaikutusta tukevalta.
Hyödyt	Hyvin toteutettuna haptinen palaute ei häiritse käyttäjää ja vuorovaikutus virtuaalimaailman objektien kanssa tuntuu luonnolliselta.
Huomioitavaa	Liian voimakkaan haptisen palautteen käyttö voi häiritä käyttäjää.

P3 Realistisuus

P3.1 Virtuaalimaailman realistisuuden taso tukee sovelluksen tarkoitusta	
Selitys	Sovelluksen käyttötarkoitus tulisi ottaa huomioon suunniteltaessa virtuaalimaailmaa. Esimerkiksi koulutukseen käytettävässä sovelluksessa eri objektien tulisi olla mahdollisimman realistisia. Toisaalta yksinkertaisessa lastenpelissä tyylielty virtuaalimaailma voi olla luontevampi.
Esimerkkirike	<ul style="list-style-type: none">- Liian realistisesti kuvatussa maailmassa epärealistiset objektit erottuvat helpommin
Hyödyt	Tyylielty virtuaalimaailma kuormittaa virtuaalijärjestelmää vähemmän kuin hyvin yksityiskohtainen ja täysin realistinen. Riittävä realistisuus esimerkiksi virtuaalimaailman objekteissa ja niiden toiminnassa taas immersoi käyttäjän VR-maailmaan.
P3.2 Hahmojen ja avatarien realistisuus tukee vuorovaikutusta ja tuntuu luonnolliselta	
Selitys	Virtuaalimaailmassa käyttäjän vuorovaikutukseen eri hahmojen kanssa vaikuttaa niiden realistisuus. Suunnittelussa tulisi ottaa huomioon Uncanny Valley, suomennettuna Outo laakso. Väärällä tavalla realististen hahmojen kanssa vuorovaikutus voi olla ahdistavaa tai epämukavaa. Myös käyttäjän oman avatarin suunnittelussa on otettava huomioon, että realistisuus voi estää käyttäjää samaistumasta avatariinsa tai sen liikkeisiin.
Esimerkkirike	<ul style="list-style-type: none">- Käyttäjä ei pysty vaikuttamaan realistisen avatarinsa ulkonäköön- Hahmo, jonka kanssa käyttäjä keskustele, tuntuu oudolta, karmivalta tai epäluonnolliselta.
Hyödyt	Sopivan realistiset virtuaalihahmot lisäävät samaistuttavuutta niihin ja tekevät vuorovaikutuksesta miellyttävää, ja kokemuksesta immerssiivisen.
Huomioitavaa	Saattaa olla hyvinkin subjektiivista, mitkä hahmot koetaan luonteviksi ja mitkä taas herättävät Oudon laakson tuntemuksen.



Turvallisuus (S)

Turvallisuus on tärkeä osa VR-kokemusta. Negatiiviset kokemukset, kuten kontrollin menettäminen tai pahoinvointi saattavat estää VR-sovelluksen käytön ja vaikuttavat motivaatioon kokeilla VR-sovelluksia myös jatkossa. Tämän vuoksi varsinkin aloittelevia käyttäjiä varten on otettava tietyt seikat huomioon, jotta voitaisiin luoda paras mahdollinen VR-kokemus. Myös muut erityiskäyttöryhmät tulisi ottaa huomioon niin ergonomian kuin turvallisuuden osalta.

S1 Virtuaalimaailman turvallisuus

S1.1	Virtuaalisten kameroiden liikkeen tulisi vastata käyttäjän pään ja vartalon liikkeitä.
Selitys	VR-järjestelmät seuraavat usein käyttäjän pään asentoa ja liikkumista VR-lasien ja ns. majakoiden kautta. Sovelluksen ei tulisi lisätä ylimääräistä liikettä käyttäjän näkymään, vaan pitäydyttävä ainoastaan käyttäjän liikkeen seurannassa. Ylimääräinen liike saattaa aiheuttaa pahoinvointia.
Esimerkkirike	<ul style="list-style-type: none">- Pelissä tapahtuu räjähdys, ja paineaalto "heiluttaa" käyttäjän näkymää- Käyttäjän liikkuesssa eteenpäin esimerkiksi ohjaimen avulla "kävellen", kameraa liikutetaan ylös alas, jotta liike muistuttaisi enemmän askellusta.
Hyödyt	Ylimääräisen liikkeen välttäminen ehkäisee VR-pahoinvointia
Huomioitavaa	Sovellus on aina uskottavampi, kun se seuraa käyttäjän liikettä. Mitä paremmin tämä on toteutettu, sitä suurempi on myös immersio.

S1.2 Käyttäjä kykenee milloin tahansa katsomaan ympärilleen	
Selitys	Käyttäjän vapaus katsoa ympärilleen virtuaalimaailmassa on tärkeää. Tämän vuoksi on vältettävä tilanteita, jossa käyttäjän näkymää lukitaan niin, ettei hänen näkymänsä vastaa pään liikettä. vrt. Nielsenin heuristiikat, käyttäjän vapaus.
Esimerkkirike	- Sovelluksen latautuessa käyttäjä ei kykene katomaan ympärilleen, vaan käyttäjän näkymä on lukittu latausanimaatioon.
Hyödyt	Käyttäjä tuntee olevansa kontrollissa tilanteessa.
Huomioitavaa	Myös musta tai pimeä näkymä saattaa aiheuttaa tuntemuksen lukitusta katseesta. Anna siis käyttäjälle jotain katsottavaa siirtymien ja latausten välissä, tai pidä ne mahdollisimman lyhyinä.

S1.3 Latenssin on oltava minimaalinen ja tasainen	
Selitys	Latenssi tarkoittaa viivettä käyttäjän toiminnon ja järjestelmän käyttäjälle esittämän reaktion välillä. Jos viive on liian suuri, sovellus saattaa aiheuttaa epämukavuuden tunnetta tai jopa VR-pahoinvointia. Latenssin olisi hyvä olla tasainen ja mahdollisimman alhainen.
Esimerkkirike	- Paljon laskentatehoa vaativa osuus sovelluksessa nostaa latenssia ja käyttäjän tuntemaan olonsa epämukavaksi
Hyödyt	Latenssin ollessa matala ja tasainen VR-kokemuksesta tulee immersiivisempi, ja käyttäjä tuntee olevansa vuorovaikutuksessa virtuaalimaailman kanssa
Huomioitavaa	Käyttäjä tottuu korkeampaankin latenssiin, kunhan se on tasainen. Suosituksia latenssiin löytyy laitekohtaisesti valmistajien verkkosivuilta.

S2 Ergonomia

S2.1 Virtuaalimaailman esineet on sijoitettu sopivasti käyttäjän sijaintiin nähden	
Selitys	Käyttäjän ei tarvitse kurkotella eri suuntiin, vaan esineet ja muut käyttöliittymäelementit on sijoitettu käyttäjän mukaisesti sopivalle etäisyydelle tasolle. Myös istuma tai seisoma-asento on otettu huomioon.
Esimerkkirike	<ul style="list-style-type: none">- Käyttäjä joutuu jatkuvasti katsomaan ylöspäin nähdäkseen sen hetkisen tilansa ikonista, joka on sijoitettu hänen yläpuolelleen.
Hyödyt	Sovelluksen käyttö on käyttäjälle ergonomista, eikä rasita käyttäjän niskaa tai käsiä.
Huomioitavaa	Käyttäjät saattavat olla hyvinkin eri kokoisia. Jos kyseessä ei ole erityinen käyttäjäryhmä (esim. lapset tai koripalloilijat), tämä kannattaa ottaa huomioon.

S2.2 Käyttäjä ei joudu pitämään käsiään jännittyneenä pitkiä aikoja	
Selitys	Vuorovaikutusmenetelmät sovelluksessa on suunniteltu niin, ettei käyttäjän tarvitse pitää käsiään ylhäällä tai jännittyneessä asennossa pitkiä aikoja.
Esimerkkirike	<ul style="list-style-type: none">- Käyttäjä joutuu toistamaan elettä niin pitämällä kättään hartioidensa yläpuolella pitkiä aikoja
Hyödyt	Sovelluksen käyttäminen on mukavampaa, eikä käytön aikana tarvitse pitää niin paljon taukoja.

S2.3 Ohjainten käyttö tai liikkuminen eivät rasita käyttäjää	
Selitys	Näppäinyhdistelmät ohjaimessa ja liikkuminen liikeseuratulla alueella on suunniteltava niin, etteivät ne rasita käyttäjää.
Esimerkkirike	<ul style="list-style-type: none">- Käyttäjä joutuu pitämään useita painikkeita pohjassa yhtä aikaa- Valitut painikkeet ovat hankalia käyttää tiettyyn toimintaan- Istuallaan pelattavassa pelissä käyttäjä joutuu kääntymään paljon ympäri
Hyödyt	Käyttäjä pystyy käyttämään sovellusta tehokkaasti ja pidempiä aikoja.

S3 Käyttäjien huomioiminen

S3.1 Käyttäjäkokemuksen voi räätälöidä	
Selitys	Erilaisille käyttäjille VR-sovelluksen käyttömukavuus voi tuntua erilaiselta riippuen esimerkiksi käyttäjän aikaisemmista VR-kokemuksista. Kokeneet käyttäjät toivovat enemmän sisältöä, VR-sovelluksiin tottumattomat taas selkeyttä. Onkin tärkeää, että kokemusta voi räätälöidä.
Esimerkkirike	<ul style="list-style-type: none">- Ensi kertaa käyttävälle ei tarjota tutoriaalia- Liikkumismetodia ei voi vaihtaa yksinkertaisempaan
Hyödyt	Räätälöinnillä voidaan saada laajempi kohdeyleisö sovellukselle
Huomioitavaa	Räätälöinti kannattaa suhteuttaa sovelluksen kestoon ja laajuuteen. Kaiken ei välttämättä tarvitse olla räätälöitävissä.

S3.2 Käyttäjä voi pitää tauon VR-kokemuksen aikana	
Selitys	Virtuaaliodellisuuskokemukset voivat olla hyvin intensiivisiä. Onkin tärkeää, että käyttäjälle tarjotaan mahdollisuus pitää taukoa sovelluksen eri vaiheiden välissä.
Esimerkkirike	<ul style="list-style-type: none">- Käyttäjä ei voi pysäyttää pitkää kokemusta millään tavoin. Ainoa mahdollisuus pitää taukoa on ottaa lasit hetkeksi pois päästä.- Sovelluksessa ei ole tauko-ominaisuutta, tai sitä ei ole ilmaistu selkeästi.
Hyödyt	Käyttäjä tuntee olonsa turvallisemmaksi sovelluksessa, eikä rasitu.
Huomioitavaa	Sovellus voi myös itse muistuttaa käyttäjää pitämään tauon. Tässä tulee ottaa huomioon käyttäjäryhmä: joitakin muistutukset häiritsevät, joten käyttäjälle tulee olla mahdollista ottaa muistutus pois.

S3.3 Sovelluksesta löytyy selkeä poistumiskeino	
Selitys	Erilaiset kokemukset tuntuvat virtuaalilasien kanssa paljon intensiivisemmiltä kuin perinteisen televisioruudun kautta. Virtuaalimaailmassa ahdistavasta tilanteesta pakoon pääsemisen ei tulisi vaatia laisen pois ottamista, vaan sovelluksessa on oltava jokin selkeä poistumiskeino.
Esimerkkirike	<ul style="list-style-type: none">- Sovelluksessa ei ole poistumiskeinoa intensiivisestä tilanteesta
Hyödyt	Käyttäjä tuntee olonsa turvallisemmaksi, ja saattaa sietääkin jännittäviä tilanteita paremmin, kun miten tarvittaessa pääsee pois.
Huomioitavaa	Tässä tulee huomioida käyttäjäryhmä ja sovelluksen tarkoitus. Yleisesti ottaen selkeästä poistumiskeinosta ei ole kenellekään haittaa, joten se kannattaa aina lisätä.