

Aila Kronqvist

VIRTUAALITODELLISUUSYMPÄRISTÖN SOVELTU-  
VUUS KÄYTETTÄVYYSTESTAUKSEEN



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO  
TIETOJENKÄSITTELYTIETEIDEN LAITOS  
2013

## TIIVISTELMÄ

Kronqvist, Aila

Virtuaaliympäristön soveltuvuus käytettävyydestäukseen

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2013, 64 s.

Kognitiotiede, pro gradu -tutkielma

Ohjaaja(t): Jokinen, Jussi

Virtuaaliodellisuusympäristöjen tekninen kehitys on laajentanut ympäristöjen soveltamisaluetta; yhtenä mahdollisena käyttökohteena on käytettävyydestutkimus. Tässä pro gradu – tutkielmassa raportoidaan virtuaalilaboratoriossa suoritettu empiirinen tutkimus virtuaaliodellisuusympäristön soveltuvuudesta käytettävyydestutkimukseen. Tutkimuksessa kerättiin tietoa mentaalisten representaatioiden muodostumisesta, läsnäolon kokemuksesta ja simulaattorisairausten tuntemuksista. Tutkimuksen tuloksena on, että virtuaaliodellisuusympäristössä raportoidut verbaaliset protokollat vastaavat riittävässä määrin oikeassa ympäristössä raportoituja, jotta käytettävyydestäus on perusteltua. Lisäksi todetaan, että virtuaaliympäristön teknisellä toteutuksella voidaan vaikuttaa läsnäolon kokemukseen ja simulaattorisairausten tuntemuksiin.

Asiasanat: virtuaaliodellisuusympäristö, käytettävyydestäus, protokollanalyysi, läsnäolon kokemus, simulaattorisairaus

## ABSTRACT

Kronqvist, Aila

Virtual reality environment applicability to usability testing

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2013, 64 p.

Cognitive science, Master's Thesis

Supervisor(s): Jokinen, Jussi

Technical improvement of virtual reality environments has broadened their application; one possible application is usability study. This master's thesis reports an empirical study performed together with industrial partner to validate if virtual reality environment is suitable for usability studies. Study was performed in partner's virtual laboratory environment. In study data was collected about verbal protocols, sense of presence and simulator sickness. The results show that verbal protocols corresponded protocols reported in real environment enough to start plan usability studies in virtual reality environment, also evidence was found that the technical settings could effect to sense of presence and feelings of simulator sickness.

Keywords: virtual reality environment, usability testing, verbal protocols, sense of presence, simulator sickness

## KUVIOT

Kuvio 1. Käytettävyyden komponentit VR-ympäristössä.....	13
Kuvio 2. Käytetyt laitteistot.....	21
Kuvio 3. Virtuaalilaboratorion kaavio.....	22
Kuvio 4. Kokeessa käytetty ohjain.....	22
Kuvio 5. Virtuaalilaboratorion laitteisto ja kuvaruutunäkymä testin aikana.....	23
Kuvio 6. VR-ympäristön mallina käytetty ohjaamo.....	25
Kuvio 7. Kaiutinten testaaminen VR-ympäristössä .....	31
Kuvio 8. Radion käynnistäminen VR-ympäristössä .....	32
Kuvio 9. Kaiutinten testaaminen todellisessa ympäristössä .....	33
Kuvio 10. Tehtävä "etsi haluttu toiminto x" VR-ympäristössä.....	34
Kuvio 11. Tehtävä "etsi haluttu toiminto x" oikeassa autossa.....	35
Kuvio 12. Lommojen tarkistaminen VR-ympäristössä .....	35
Kuvio 13. Lommojen tarkastaminen oikeassa autossa .....	36
Kuvio 14. Vaihteistotehtävä VR-ympäristössä.....	37
Kuvio 15. Vaihteistotehtävä oikeassa autossa. ....	38
Kuvio 16. Hallinnan tunteen summamuuttuja.....	40
Kuvio 17. Läsnäolon kokemisen summamuuttuja.....	41
Kuvio 18. Simulaattorisairauden summamuuttuja.....	43

## TAULUKOT

Taulukko 1. VR-ympäristön toteutustapojen järjestys koehenkilöittäin.....	24
Taulukko 2. Summamuuttujat.....	29
Taulukko 3. Havaitut laitteet .....	30
Taulukko 4. Simulaattorisairauskyselyn muuttujien keskiarvot.....	42
Taulukko 5. Kolmen kysytyn yleistuntemuksen keskiarvot.....	44

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	2
ABSTRACT .....	3
KUVIOT .....	4
TAULUKOT .....	4
SISÄLLYS.....	5
1 JOHDANTO .....	7
2 VIRTUAALITODELLISUUSYMPÄRISTÖT JA KÄYTETTÄVYYS.....	9
2.1 Virtuaalitodellisuusympäristön määritelmä .....	9
2.2 Käytettävyys VR-ympäristössä.....	12
2.3 Käytettävyystestaus.....	14
2.4 Mentaaliset representaatiot.....	16
3 EMPIIRINEN TUTKIMUS .....	19
3.1 Tutkimuksen lähtökohta .....	19
3.2 Käytetyt laitteet ja kokeen kulku.....	20
3.3 Tehtävät .....	24
3.4 Vertailukoe oikeassa autossa .....	25
3.5 Koehenkilöt .....	26
3.6 Hypoteesit .....	26
3.7 Datankeruu- ja analyysi .....	27
4 TUTKIMUSTULOSTEN ANALYYSI .....	30
4.1 Mentaalisten representaatioiden muodostuminen .....	30
4.2 Haastattelut .....	38
4.3 Läsnaolon ja hallinnan kokemus.....	39
4.4 Simulaattorisairaus.....	41
4.5 Yleistuntemukset .....	43
5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA KESKUSTELU.....	44
5.1 Mentaalisten representaatioiden vastaavuus todelliseen ympäristöön.....	45
5.2 VR-ympäristön toteutustavan vaikutukset läsnäolon ja hallinnan kokemukseen.....	47
5.3 Simulaattorisairaus.....	48
5.4 Yhteenvedo.....	49
LÄHTEET .....	51

LIITE 1 TAUSTATIETOLOMAKE.....	55
LIITE 2 KOEHENKILÖILLE ESITETYT TEHTÄVÄT .....	58
LIITE 3 SIMULAATTORISAIRAUSKYSELY .....	60
LIITE 4 LÄSNÄOLON JA HALLINNAN TUNNETTA KOSKEVA KYSELY....	61
LIITE 5 HAASTTATELUKYSYMYKSET .....	63

# 1 JOHDANTO

Virtuaaliodellisuusympäristöjen käyttömahdollisuudet ovat lisääntyneet kehityksen myötä. Yhtenä mahdollisena virtuaaliodellisuusympäristön käyttökohteenä on käytettävyystudkimus. Tässä pro gradu –tutkielmassa raportoidun tutkimuksen tarkoituksena on selvittää soveltuuko virtuaalisesti mallinnettu ympäristö käytettävyystudkukseen. Tutkimus on tehty yhteistyössä yrityksen kanssa. Tutkimuksen taustalla on tarve hyödyntää olemassa olevaa, teknisen suunnitteluvaiheen analysointiin tarkoitettua, virtuaalilaboratoriota käytettävyystudkimukseen. Nykyisin useita monimutkaisiakin tiloja, kuten laivojen ohjaamoja tai tehtaiden valvomotiloja, voidaan suunnitella ja arvioida teknisesti virtuaalimalleina. Tilasta rakennetun virtuaalimallin hyödyntäminen käytettävyystudkimukseen vähentäisi varsinaisen todellisen tilan käytettävyysoongelmia. Käytettävyystudkimuksia ei ole välttämättä järkevää lähteä suunnittelemaan ennen kuin on olemassa tutkimusperäistä tietoa laboratorion soveltuvuudesta käytettävyystudkukseen ja mahdollisista soveliaista testausmenetelmistä.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää eroavatko virtuaalisessa ympäristössä muodostetut mentaaliset representaatiot oikeassa ympäristössä muodostetuista. Lisäksi haetaan tietoa siitä miten hyvän läsnäolon kokemuksen virtuaaliympäristö voi tuottaa ja aiheuttaako virtuaaliympäristö simulaattorisairautta koehenkilöille. Tutkimusongelmiin haettiin vastausta empiirisen tutkimuksen avulla. Tutkimus oli kokeellinen tutkimus ja se suoritettiin yhteistyökumppanin virtuaalilaboratoriossa kolmella eri toteutustavalla (kaksiulotteinen näkymä, 3D-näkymä laseilla ja 3D-näkymä kypärällä). Kokeista kerättiin numeerista kysymyslomakedataa simulaattorisairauden ja läsnäolon tuntemusten analysointia varten sekä puheaineistoa mentaalisten representaatioiden tutkimista varten. Lisäksi tehtiin kontrollitutkimus virtuaalilaboratoriota vastaavassa oikeassa ympäristössä.

Tutkimuksen tuloksista selviää, että testatun virtuaaliympäristön eri toteutustavat eivät juuri aiheuta simulaattorisairautta. Läsnäolon kokemuksen ja hallinnan tunteen todettiin olevan riittävällä tasolla, joskin niihin vaikuttaa koehenkilön aikaisempi kokemus virtuaaliympäristöjen, esimerkiksi konsolipeilien, käytöstä. Eroja läsnäolon ja hallinnan tunteiden muodostumisessa havait-

tiin myös eri virtuaalitodellisuusympäristöjen toteutustapojen välillä. Mentaaliset representaatiot vaikuttavat hyvin samankaltaisilta sekä virtuaalitodellisuusympäristössä että oikeassa ympäristössä. Suurimmat erot mentaalisten representaatioiden muodostumisessa näyttävät liittyvän virtuaalitodellisuusympäristössä käytettävään vuorovaikutusvälineeseen ja -tekniikkaan.

Tutkimuksen tulokset rohkaisevat hyödyntämään virtuaalitodellisuusympäristöjä käytettävyydestänsä. Testausta suunniteltaessa on kuitenkin otettava huomioon mahdolliset simulaattorisairautta lisäävät seikat ja pyrittävä minimoimaan näitä. Lisäksi tulee harkita millaisella virtuaalitodellisuusympäristön toteutustavalla lähdetään liikkeelle: joissain tehtävissä mahdollisimman suuri kolmiulotteisuuden tavoittelu voi olla paikallaan, mutta jossain tapauksessa myös kaksiulotteinen esitys on riittävä. Vuorovaikutusmenetelmän kehittämiseen tulee erityisesti kiinnittää huomiota ja käytettävyydestänsä tulee sisällyttää jonkinasteinen perehtyminen, jonka avulla koehenkilöt pääsevät sisälle virtuaalitodellisuusympäristössä toimimiseen.



## 2 VIRTUAALITODELLISUUSYMPÄRISTÖT JA KÄYTETTÄVYYS

### 2.1 Virtuaalitodellisuusympäristön määritelmä

Schroderin (2008) mukaan virtuaalitodellisuusympäristöllä (engl. *Virtual reality environment*, jatkossa VR-ympäristö) tarkoitetaan tietokonepohjaisesti generoitua näkymää, joka mahdollistaa käyttäjän tuntevan olevansa läsnä toisessa ympäristössä kuin missä hän fyysisesti on. VR-ympäristössä voi olla yksi käyttäjä tai useita käyttäjiä yhteistoiminnassa. VR-ympäristöistä on viime vuosina tullut teknisen kehityksen ansiosta varteenotettava työkalu erilaisten laitteiden ja ympäristöjen kehitysvaiheen tarkasteluun ja testaukseen (Bishop & Stock, 2010; Wu, He, & Gong, 2010). VR-ympäristön etuna todelliseen, luonnolliseen ympäristöön voidaan pitää ennen kaikkea sitä, että VR-ympäristöä eivät vaivaa monet luonnollisen ympäristön rajoitteista. VR-ympäristö voi kuvata laitteita ja tiloja, joita ei ole vielä olemassa ja joita ei välttämättä olisi mahdollistakaan valmistaa tai rakentaa olemassa olevilla resursseilla (Covaci, Postelnicu, Panfir, & Talaba, 2012); toisaalta VR-ympäristöt mahdollistavat laitteiden ja tilojen nopean muokkauksen, mikä ei olisi aina luonnollisessa ympäristössä toteutettavissa. Esimerkiksi käytettävyys- ja käyttäjäkokemusrvioinnin osalta tällaiset mahdollisuudet ovat arvokkaita. Tässä tutkimuksessa keskitytään VR-ympäristöjen osalta virtuaalitodellisuushuoneisiin eikä pöytätietokoneen tai pelikoneen avulla tuotettuun ympäristöön. Tarkastelukohteena ei myöskään ole moniulotteinen virtuaalitodellisuushuone (CAVE). (Limniou, Roberts, & Papadopoulos, 2008.)

VR-ympäristössä nousee esille todellisuuden käsite ja virtuaalisesti luodun ympäristön todellisuusvaikutelma. Sherman ja Craig (2003) määrittelevät kirjassaan virtuaalitodellisuudelle neljä avainelementtiä: virtuaalimaailman kuvallinen esitys, uppoutuminen eli *immersio*, aistinvarainen palaute ja vuorovaikutteisuus. Virtuaalimaailman kuvallisella esityksellä hän viittaa henkilölle tuotettuun kuvitteelliseen tilaan siellä olevine esineineen ja tiloineen. Näiden avainelementtien avulla VR-ympäristössä voidaan luoda henkilölle todellisuus-

den vaikutelma, jossa henkilö on VR-ympäristön vaikutuksen alainen, muttei kuitenkaan todellisuudessa ole mallinnetussa ympäristössä. (Sherman & Craig, 2003.) Shermanin kirjassaan määrittelemät tekijät vaikuttavat vahvasti todellisuuden kokemiseen VR-ympäristössä.

Virtuaalimaailman esitystapa ja tarkkuus vaikuttaa henkilön todellisuuden kokemukseen. Glison ja Glennestrer (2012) tutkivat laboratorioissaan virtuaalisen esityksen ominaisuuksia ja niiden vaikutusta todellisuuden kokemisen voimakkuuteen. Heidän tulostensa mukaan virtuaalitodellisuuden esitykseltä vaaditaan riittävää tarkkuutta, jotta kokemus olisi riittävän todellinen. Erityistä huomiota VR-ympäristöjen mallintamisessa tulee kiinnittää erilaisten esineiden, pintojen, etäisyyksien ja tilojen todenmukaisuuden luomiseen. Ongelmia vielä nykyteknologiallakin tuottavat erilaiset näön tarkkuuden vaatimukset.

Yksi VR-ympäristön tavoitteista on *läsnäolon kokemuksen* tai immersion (ympäristöön uppoutuminen) parantaminen simuloitussa todellisuudessa. Läsnäolon kokemus voidaan määritellä monella tapaa, mutta käyttökelpoisen määritelmän mukaan läsnäolon kokemus on virtuaalisessa ympäristössä fyysisesti olemisen subjektiivinen kokemus (Stanney & Salvendy, 1998). Läsnäolon kokemuksen kannalta on tärkeää, että ihminen kykenee havaitsemaan VR-ympäristön kohteet suhteessa itseensä ja hänellä on kyky olla vuorovaikutuksessa ympäristön kappaleiden kanssa (Matthen, 2010). Läsnäolon kokemusta voidaan tutkia esimerkiksi VR-ympäristölle altistumisen aikaisella tai altistumisen jälkeisellä kyselyllä (Witmer & Singer, 1998; vrt. Slater, 1999), mutta paljon läsnäolosta kertoo myös ihmisen käyttäytyminen ympäristössä. Yrittääkö hän koskea asioita, kokeeko hän etäisyydet oikein, mieltääkö hän ympäristön todelliseksi?

Immersion voidaan jakaa fyysiseen ja mentaaliseen immersion (Sherman & Craig, 2003). Mentaalisella immersionilla viitataan tunteeseen, jossa henkilö on syvästi uppoutunut ja osallistuu ympäristön toimintaan ikään kuin se olisi todellinen. Fyysisellä immersionilla puolestaan viitataan fyysiseen olemiseen VR-ympäristössä koskien aistinvaraista vuorovaikutusta teknologian avulla tuotettujen ärsykkeiden kanssa. Fyysinen immersion ei vaadi kaikkien aistien kautta tapahtuvaa vuorovaikutusta tai koko kehon sijaintia VR-ympäristössä. Immersion viitataan myös termillä läsnäolon kokemus (engl. *sense of presence*).

Tärkeänä ominaisuutena immersion kokemuksen luomiseksi on sensorinen eli aistinvarainen palaute (Dalgarno & Lee, 2010). VR-ympäristö antaa henkilölle suoraa palautetta tämän sijainnista ja asennosta useimmiten näköaistin välityksellä. Henkilöstä jäljitetään yleensä pään liikkeet sekä mahdollisesti käsi tai muu ruumiin osa, jota käytetään vuorovaikutustilanteiden ohjailuun. (Sherman & Craig, 2003.)

Palaute voi olla myös *haptista* eli tuntoaistiin perustuvaa. Tuntoaistiin perustuvaa palautetta käytetään usein vuorovaikutustilanteissa, erityisesti erilaisissa lääketieteen tarpeisiin rakennetuissa VR-ympäristöissä. Haptinen palaute voi olla esimerkiksi liikkeen, lämpötilan tai paineen tuntua. (Okamura, 2009.) Aistinvaraisen palautteen antaminen henkilölle vaatii paljon VR-ympäristön

teknologialta: henkilön liikkeet tulee voida jäljittää jatkuvasti oikean kuvan esittämiseksi ja todenmukaisen kuvan luominen vaatii paljon resursseja laitteistolta.

Jotta VR-ympäristö vaikuttaisi todenmukaiselta, tulisi sen esitystavan olla riittävän laadukas ja ympäristön tulisi reagoida henkilön liikkeisiin ja toimintaan – olla vuorovaikutteinen (Dalgarno & Lee, 2010). Vuorovaikutus kattaa VR-ympäristössä esitetyn kuvan ja tilan muuttumisen henkilön liikkeiden mukaisesti sekä myös henkilön ja VR-ympäristön välisen vuorovaikutusta vaativan toiminnan suorittamisen. Mikäli VR-ympäristössä voidaan liikkua esimerkiksi kävellen, tulisi ympäristön muuttua henkilön liikkuman matkan mukaisesti. Jos taas ympäristössä ollaan paikallaan, tulisi ympäristön reagoida henkilön pään liikkeisiin ja katseen suunnan muuttumiseen. (Sherman & Craig, 2003.)

Henkilön ja ympäristön väliseen vuorovaikutukseen on olemassa useita erilaisia tapoja. Vuorovaikutustilanteissa voidaan käyttää joko erilaisia osoitinlaitteita tai esimerkiksi puettavia hansikkaita. Osoitinlaitteita käytettäessä VR-ympäristön kuvassa näkyy tyypillisesti jonkinlainen osoitinsäde tai –palkki, jonka avustuksella henkilö näkee mitä hän milloinkin voi valita tai koskettaa mallissa. Hansikkaiden tapauksessa kuvassa näkyy useimmiten käden kuvake. (Poupyrev, Ichikawa, Weghorts, & Billinghamurst, 1998.) Dubois, Nedel, Freitas ja Jaco (2005) ovat tutkineet miten erilaiset osoitinlaitteet vaikuttavat koehenkilöiden suoritukseen VR-ympäristössä. Heidän tutkimustensa perusteella hansikkaan käyttö VR-ympäristön objektien manipulaatioon koettiin miellyttävämmäksi kuin erilaisten hiirityyppisten, kädessä pideltävien, osoitinlaitteiden käyttö - suoritukset olivat myös mitattavasti nopeampia.

VR-ympäristöjen hyödyntämiseen liittyy myös ongelmia. Viime aikoihin saakka suurin ongelma on ollut tarpeeksi aidon- tai luonnollisen tuntuisten ympäristöjen tekninen toteuttaminen. Erilaiset aiemmat VR-ympäristöjen toteutustavat, kuten ensimmäiset näyttölaitteet ja huoneet olivat esimerkiksi resoluutioltaan, päivitystasoltaan ja muilta todentuntuisuuteen vaikuttavilta ominaisuuksiltaan heikkoja (Dinh, Walker, Hodges, Song, & Kobayashi, 1999). Ominaisuuksien heikkous esti niiden pitämisen varteenotettavina mahdollisuuksina käytettävyyden tai käyttäjäkokemuksen arviointiin. Tehottoman tietotekniikan aiheuttamat päivitysongelmat heikensivät kuvan laatua ja liikkeen luonnollisuutta siinä määrin (Lewis & Griffin, 1997), ettei niitä voitu hyödyntää korkeaa testattavuutta tai ympäristön laatua edellyttävään arviointiin. Kehittynyt VR-ympäristön toteutustekniikka on lieventänyt näitä ongelmia, mutta aidonmukaisuus on edelleen varteenotettava VR-ympäristöjen tehokkaan käytön este.

VR-ympäristön kuvallisen esityksen tuottamiseen käytetään erilaisia laitteita, kuten tietokoneella tuotetun kuvamateriaalin näyttölaitteet, liiketunnistimet ja niitä seuraavat kamerat ohjelmistoinen, äänimateriaalin tuottamiseen tarvittavat välineet sekä mahdolliset vuorovaikutuksen mahdollistavat ohjainlaitteet. Kuvamateriaali tuotetaan tietokoneen avulla ja voidaan esittää kuvaruudulle tai seinäpinnoille heijastettuna, vaihtoehtoisesti myös silmien eteen asetettavien näyttölaitteiden avulla (*head mounted display*, myöh. HMD). HMD-laite on henkilön päähän asetettava, kypärää (tai laseja) muistuttava laite, joka koostuu kypäräosasta ja pienistä, silmien eteen tulevista näyttöruuduista. Lait-

teessa oleva järjestelmä luo käyttäjälle teknisesti kuvan, joka vaikuttaa olevan useita metrejä henkilöä edempänä. Koska laitteessa on erillinen näyttölaite kummallekin silmälle, voidaan sen avulla luoda käyttäjälle stereoskooppinen kuva, jolla saavutetaan kolmiulotteisuuden vaikutus. (Shibata, 2002.)

Äänimateriaali voidaan esittää VR-ympäristötilaan asennetuilla kaiuttimilla tai mikäli käytetään HMD-laitetta, suoraan siihen sisältyvillä kaiuttimilla koehenkilön korviin. Aiemmin teknologinen kehittyneisyys asetti haasteita luonnollisten äänten toistamiselle VR-ympäristöissä, mutta nykyteknologian avulla tämä on jo mahdollista. (Murphy & Neff, 2011.) Nordahl, Serafin ja Turchet (2010) totesivat tutkimuksessaan, että luonnollisten äänten lisääminen, esimerkiksi koehenkilön askelten äänet, VR-ympäristöön lisää koehenkilöiden läsnäolon tunnetta. Myös Dinh ym. (1999) totesivat tutkimuksessaan, että äänimaailman lisäämisellä VR-ympäristöön voidaan parantaa läsnäolon tunnetta silloinkin, jos kuvan laatu ei ole paras mahdollinen. Monissa koulutukseen tarkoitetuissa VR-ympäristöissä äänimateriaalit ovat olennainen osa VR-ympäristöä (Kilmon, Brown, Ghosh, & Mikitiuk, 2010).

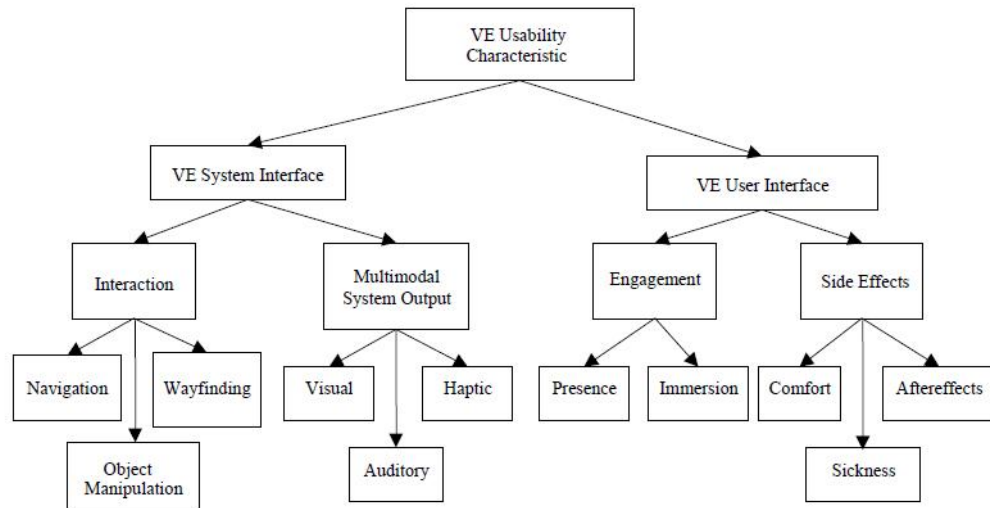
## 2.2 Käytettävyys VR-ympäristössä

Pohdittaessa käytettävyyttä VR-ympäristössä tulee lähteä liikkeelle käytettävyyden määritelmästä. Käytettävyyden käsitettä on määritellyt mm. Jacob Nielsen (1993). Hänen käytettävyydemääritelmänsä jakautuu viiteen komponenttiin: opittavuus, tehokkuus, muistettavuus, virheiden määrä ja tyytyväisyys (Nielsen, 1993). Opittavuudella viitataan käyttäjän mahdollisuuksiin omaksua käytettävän järjestelmän tai objektin toiminnallisuus siten, että käyttäjä voi mahdollisimman nopeasti päästä haluamiinsa tavoitteisiin. Tehokkuus sivuaa läheltä opittavuutta, mutta tarkoittaa mahdollisuuksia käyttää järjestelmää tai objektia mahdollisimman tehokkaasti käyttötarkoitukseensa. Järjestelmän ja objektin käyttöliittymän tulisi myös olla helposti muistettava, ettei käyttäjän tarvitse joka kerta käytön aloittaessaan ikään kuin opetella uudelleen toimintaa vaan hän pystyy sen sijaan toimimaan muistinvaraisesti. Käytössä tapahtuvien virheiden määrä vaikuttaa käyttökokemukseen ja virheiden määrän tulisikin jäädä mahdollisimman alhaiseksi. Lisäksi virhetilanteista toipumisen tulisi olla sujuvaa. Käyttäjien tulisi myös olla tyytyväisiä käyttökokemukseen ja käytön jälkeen käyttäjälle tulisi jäädä miellyttävä tunne käyttökokemuksesta. Tässä tutkimuksessa ei tutkittu varsinaisesti tietyn laitteiston käytettävyyttä, vaan VR-ympäristön hyödyntämistä käytettävyyttutkimukseen, joten ei ole tarpeen sioutua mihinkään tiettyyn käytettävyyden määritelmään.

Puhuttaessa käytettävyydestä VR-ympäristössä tulee asiaa tarkastella kahdesta eri näkökulmasta. VR-ympäristön käytettävyyttä voidaan analysoida ympäristönä itsenäan eli esimerkiksi erilaisia peliympäristöjä tai vastaavia ja niiden käytettävyyttä varsinaiseen käyttötarkoitukseensa eli pelaamiseen. Toisaalta käytettävyyttä voidaan myös analysoida siten, että tutkitaan jonkun todellisen maailman ympäristön, esimerkiksi nosturin ohjaamon, käytettävyyttä

virtuaalisesti mallinnetun ympäristön avulla. Nielsenin esittämät käytettävyyden komponentit ovat sopivia, mutta eivät varsinaisesti riittäviä, myös VR-ympäristössä tapahtuvaan käytettävyyssarviointiin. VR-ympäristö tuo mukanaan haasteita käytettävyydelle sekä myös uusia komponentteja, jotka tulee huomioida.

Stanney, Mollaghasemi, Reeves, Breauxb ja Graeber (2003) esittivät tutkimuksessaan rakenteen, jonka mukaan käytettävyys VR-ympäristöissä voitaisiin määritellä. Kuvio 1 esittää heidän kuvaamaansa käytettävyyden rakennetta.



Kuvio 1. Käytettävyyden komponentit VR-ympäristössä (Stanney, Mollaghasemi, Reeves, Breauxb, & Graeber, 2003, s. 450)

Stanneyn ym. (2003) mukaan VR-ympäristöjen käytettävyys voidaan jakaa kahteen pääosaan: järjestelmäliittymään (*system interface*) ja käyttöliittymään (*user interface*), jotka molemmat vaikuttavat käytettävyyden kokemukseen. Järjestelmäliittymässä nostetaan esille vuorovaikutus sekä järjestelmän tuottama multimodaalinen esitys. Käyttöliittymässä otetaan kantaa käyttäjän uppoutumiseen VR-ympäristöön sekä ympäristön aiheuttamiin sivuvaikutuksiin. Vuorovaikutus VR-ympäristön kanssa vaatii mahdollisuutta liikkua eli *navigoida* järjestelmässä haluttuun paikkaan. Navigointi on yksi tärkeimpiä seikkoja VR-ympäristön käytössä: voidakseen navigoida onnistuneesti henkilön tulee voida muodostaa tilakäsityksestä mentaalinen kartta. Mentaalisen kartan muodostaminen VR-ympäristössä on osoittautunut usein haasteelliseksi. (Santos ym., 2009.). Witmer, Bailey, Knerr ja Parsons (1996) tutkivat navigointia VR-ympäristössä verrattuna vastaavaan aitoon ympäristöön. Heidän tutkimuksensa mukaan navigoinnissa oli enemmän vaikeuksia (mm. enemmän virheellisiä suunnan muutoksia) VR-ympäristössä kuin todellisessa ympäristössä.

Liikkuminen VR-ympäristössä mahdollistetaan yleensä liiketunnistimilla, jotka muokkaavat VR-ympäristön esitystä käyttäjän toiminnan ja liikkeiden mukaan. Liiketunnistimet voivat olla puettavissa asusteissa tai esimerkiksi 3D-

laseihin kiinnitettynä. (Sherman & Craig, 2003.) Tärkeä osa liikkumista ja vuorovaikutusta VR-ympäristössä on reitin löytäminen eli *wayfinding*. Tällä käsitteellä voidaan viitata käyttäjän liikkeisiin paikasta toiseen esimerkiksi kävellen tai yksinkertaisesti oikean kohteen löytämiseen VR-ympäristössä katseen avulla. Chen ja Stanney (1999) jakavat wayfinding-käsitteen edelleen kolmeen alaosaan: kognitiivisen kartan muodostamiseen, jossa yksilö muodostaa käsityksen ympäröivästä maailmasta ja sen sisällöstä; päätöksentekoprosessiin, jossa yksilö suunnittelee toimintansa kohteen löytämiseksi; ja suoritusprosessiin, jossa varsinaiset toimenpiteet kohteen löytämiseksi suoritetaan. Edistyneet VR-ympäristöt HMD-laitteineen voivat parantaa yksilöiden kykyä löytää haluamansa kohde ja käsitellä sitä johtuen mm. HMD-laitteiden läsnäoloa parantavasta vaikutuksesta (Elmqvist, Tudoreanu, & Tsigas, 2008).

Tärkeänä toiminnallisuutena VR-ympäristön käytettävyyden kannalta on esineiden manipulointi (engl. *object manipulation*). Todenmukaisuuden lisäämiseksi on tärkeää, että esineiden manipulointi on mahdollista jollakin siihen rakennetulla tavalla. Tässä voidaan käyttää avuksi erilaisia osoitinlaitteita tai henkilön asusteita kuten hansikkaita. Esineiden manipuloinnin tulisi vastata mahdollisuuksien mukaan luonnollisessa ympäristössä tapahtuvaa toimintaa. VR-ympäristössä käytettävyyteen vaikuttaa merkittävästi tietokoneen avulla tuotetun esityksen luonnollisuus. Esitys voi sisältää näkö-, kuulo- ja tuntoaistin varaisia osia. Tärkeimpänä näistä on näköaistille tuotettu osuus, mutta kuulo- ja tuntoaistin kautta saadut palautteet tukevat luonnollisuuden kokemusta. (Stanney ym., 2003).

Simulaattorisairaus on yksi keskeinen tekijä, joka tulee huomioida virtuaaliympäristöjen käytettävyyden yhteydessä. Simulaattorisairaus voidaan määrittellä epämukavuudeksi, joka koetaan simuloituun ympäristöön altistumisen aikana tai heti sen jälkeen. Ilmiöön liittyviä oireita ovat mm. väsymys, päänsärky, sekavuus ja pahoinvointi (Kolasinski 1995). Simulaattorisairautta voi ilmetä kaikissa sellaisissa simuloituissa ympäristöissä, joissa ilmenee immersiota. Immersio ei suoranaisesti aiheuta simulaattorisairautta, vaan usein takana on puutteellinen simuloitujen ympäristön ja todellisen ympäristön toisistaan erottaminen tai liian epätodellinen simuloitu ympäristö. Siksi virtuaaliympäristöjä luodessa tulee kiinnittää huomiota siihen, mitkä seikat, esimerkiksi eri virtuaaliympäristön toteutustavat, aiheuttavat simulaattorisairautta.

## 2.3 Käytettävyydestaus

Käytettävyydestausta voidaan tehdä laboratorio- ja kenttäolosuhteissa. Kenttäolosuhteilla tarkoitetaan kohteen tutkimista sen todellisessa käyttöympäristössä. Laboratorio antaa mahdollisuuden kontrolloidulle testaukselle, jossa käytettävyyteen vaikuttavien häiriötekijöiden ja satunnaisuuden vaikutus on pyritty minimoimaan. Toisaalta on mahdollista, että tällainen satunnaisuuden kontrollointi tekee laboratorioympäristöstä epäaidon, ja laboratoriossa tehty käytettävyydestaus ei kerro luonnollisessa ympäristössä tapahtuvasta käytöstä.

Tätä ongelmaa voi tarkastella ekologisen validiteetin käsitteen avulla. Ekologinen validiteetti kertoo, missä määrin keinotekoisessa ympäristössä tehdyt havainnot kertovat tutkimuskohteen luonteesta (kuten laitteen tai ympäristön käytettävyydestä) todellisessa ympäristössä (Bornstein, 1999; Sears, 1986).

Vaikka virtuaaliympäristö ei ole perinteinen käytettävyysslaboratorio, voidaan virtuaaliympäristön mahdollisuuksia ja haasteita avata ekologisen validiteetin avulla. Toisaalta virtuaaliympäristö mahdollistaa perinteistä laboratorioympäristöä todellisemman ympäristön, jolloin testauksen ekologisuus paranee, mutta testin järjestäjä voi edelleen kontrolloida ympäristön vaikutusta. Toisaalta virtuaaliympäristö vastaa harvoin täysin todellista käyttöympäristöä, joten virtuaaliympäristössä tehtyjen käytettävyytestausten tuloksia tulee aina tulkita niine rajoitteineen, joita virtuaaliympäristössä on verrattuna todelliseen käyttöympäristöön. Ekologisen validiteetin käsite voidaan liittää myös tilanteeseen, missä testausta tehdään virtuaalisesti mallinnetussa ympäristössä ja tutkia miten hyvin testaaminen vastaisi oikeassa ympäristössä tehtyä testiä - kiinnittävätkö koehenkilöt esimerkiksi huomiota samoihin käytettävyysoongelmiin molemmissa tapauksissa?

Käytettävyytestauksessa voidaan hyödyntää useaa eri menetelmää halutun tiedon keräämiseksi. Usein valitaan joukko menetelmiä sen sijaan että pitäydyttäisiin vain yhdessä menetelmässä. Tärkeitä tiedon keräämisen välineitä käytettävyytestauksessa ovat mm. tarkkailu, erilaiset kyselylomakkeet sekä ääneen ajattelu. Näitä menetelmiä yhdistämällä voidaan saada kerättyä sekä numeerista aineistoa tilastoanalyysiä varten että tekstiaineistoa tekstianalyysia varten. (Nielsen, 1993; Tesfazgi, 2003). Kyselylomakkeita käytetään usein sekä taustatietojen keräämiseen, että kokemuspohjaisen tiedon tallentamiseen erilaisten käyttötilanteiden jälkeen. Ääneen ajattelulla on tärkeä rooli silloin, kun pyritään saaman selville miten käyttäjä toimii käyttötilanteiden ongelmia ratkoessaan ja mitä hän ajattelee (Ericsson & Simon, 1993). Kaikkia tässä esitettyjä menetelmiä voidaan käyttää myös VR-ympäristössä tapahtuvan koetilanteen tiedonkeräämiseen. Mikäli halutaan lisäinformaatiota jälkikäteen tehtävää analysointia varten, voidaan koetilanteet myös videoida ja / tai nauhoittaa. Erityisesti ääneen ajattelu ja tarkkailuaineistojen käsittelyn kannalta koetilanteen tallentaminen on välttämätöntä, mikäli halutaan tehdä yhtään tarkempaa analyysiä. (Nielsen, 1993.)

VR-ympäristöjen käytettävyysetutkimukseen liittyvää tutkimustietoa ei ole kovin paljon saatavilla. Useiden tutkimusten lähtökohtana on nimenomaan VR-ympäristön käytettävyysongelmien löytäminen, esimerkiksi jos VR-ympäristöä halutaan hyödyntää vaikka tietyissä opetustehtävissä tai pelaamisessa. (Jin, 2009). Tutkimuksen löytäminen VR-ympäristöjen hyödyntämisestä välillisesti todellisen maailman ympäristöjen käytettävyysongelmien tutkimiseen on haasteellista. Joitakin tutkimuksia löytyy lääketieteen alueelta (Cetin, 2012; Graafland, Schraagen, & Schijven, 2012), mutta kaikki eivät ole julkisesti saatavilla.

## 2.4 Mentaaliset representaatiot

Ihmisen mielen sisältöön viitataan *mentaalisten representaatioiden* käsitteellä. Mentaaliset representaatiot ovat mielessä olevia vastineita todellisen elämän asioille, esineille ja tapahtumille. Mentaalisten representaatioiden käsitettä voidaan avata esimerkiksi vertaamalla niitä tietokoneohjelmaan: representaatiot ovat ikään kuin tietokoneohjelmien tietorakenteita, joissa asioita pidetään tallessa – representaatioita käsittelevät prosessit taas vertautuvat sisältöjä käsitteleviin algoritmeihin. (Thagard, 2005.)

Kun ihminen toimii ympäristön kanssa vuorovaikutuksessa, hän toimii itseään, ympäristöään ja maailmaa yleisemminkin koskevien uskomusten ja halujen perusteella. Näitä maailmaa koskevia uskomuksia voidaan tutkia mentaalisisina representaatioina (Newell, 1994), joita voidaan tutkia esimerkiksi ongelmanratkaisun välttämättöminä elementteinä (Newell & Simon, 1972). Kyetäkseen olemaan vuorovaikutuksessa missä tahansa ympäristössä ihmisen on kyettävä muodostamaan ympäristöstä tämän rakenteen kanssa kyllin yhteneviä mentaalisia representaatioita.

Mentaalisten representaatioiden muodostumisen tutkiminen virtuaaliympäristössä tarjoaa mahdollisuuden vastata kysymykseen, miten ihminen mieltää virtuaaliympäristön ja miten virtuaaliympäristössä oleminen eroaa luonnollisessa ympäristössä olemisesta. Koska ihmisellä on virtuaaliympäristöä koskevia uskomuksia, joiden varassa hänen on kyettävä olemaan vuorovaikutuksessa ympäristön kanssa, muuttuu kokemus virtuaaliympäristöstä todelliseksi vain, mikäli ympäristöä koskevien mentaalisten representaatioiden rakenne on riittävän yhtenevä virtuaaliympäristön rakenteen kanssa.

Ihminen tarvitsee mentaalisia representaatioita voidakseen toimia ympäristön ja sen laitteiden kanssa. Mikäli muodostetut mentaaliset representaatiot ovat virheellisiä, johtaa ihmisen yritys olla vuorovaikutuksessa ympäristön kanssa todennäköisesti virheisiin. (Saariluoma, 2004.) Jos tarkastellaan mentaalisten representaatioiden merkitystä VR-ympäristön käytössä, pitäisi VR-ympäristössä muodostuneiden representaatioiden vastata sitä mitä VR-ympäristö pyrkii ihmiselle esittämään. Toisin sanoen jos esimerkiksi virtuaaliympäristössä olevan tuolin mentaalinen representaatio sisältää mahdollisuuden kiertää tuolin toiselle puolelle ja katsoa sitä toisesta näkökulmasta, tulee virtuaaliympäristön vahvistaa tämä käsitys.

Mentaalisilla representaatioilla on yhteys henkilön kokemaan läsnäolon tunteeseen, jonka muodostuminen on tärkeä VR-ympäristön todentuntuisuuden lisäämisessä. VR-ympäristön tuottamat aistipohjaiset ärsykkeet saavat henkilön uppoutumaan VR-ympäristöön, mutta aistipohjaisten ärsykkeiden pohjalta muodostetut mentaaliset representaatiot auttavat luomaan läsnäolon tunteen. (Schubert & Crusius, 2002.). Voidaan myös ajatella, että ympäristön todentuntuisuus ja immersio voivat olla eritasoisia ei aistien alueella. Laadukas ja vaikuttava visuaalinen esitys voi saada henkilön kokemaan voimakasta läsnäolon tunnetta visuaalisesti, mutta kehon kokemat todelliset fyysiset tuntemukset



(esimerkiksi istuminen oikealla tuolilla) voi vähentää läsnäolon tunnetta. Se mihin henkilö kiinnittää huomiotaan näkyy kuitenkin mentaalisten representaatioiden raportoinnissa ja voi antaa osittain väärän kuvan koetusta läsnäolon tunteesta. (Slater, Usoh & Steed, 1994.)

Mentaalisia representaatioita voidaan tutkia ääneen ajattelun ja niiden avulla tuotettavien verbaalisten protokollien (engl. *verbal protocols*) avulla. Verbaaliset protokollat ovat nauhoitettuja *verbalisaatioita* suoritettavasta tehtävästä. Tekniikassa käytetään koehenkilöiden kommentteja, joita he tuottavat toimissaan koetilanteissa. Koehenkilöitä ohjeistetaan selittämään mitä, miten tai miksi tekevät yrittäessään suorittaa heille annettuja tehtäviä. Kun koehenkilöt ajattelevat ääneen tehtäviä suorittaessaan, he samalla tuovat esille millaisia mentaalisia representaatioita heillä on käsillä olevasta tehtävästä. Ericssonin ja Simonin mukaan kognitiivisten prosessien tarvitsema tieto on toiminnan aikana työmuistissa ja voidaan pukea sanoiksi. Näin on mahdollista saada käsitys siitä miten ja mitä henkilö käsittelee mielessään suorittaessaan annettua tehtävää (Ericsson & Simon, 1993). Ääneen ajattelua on arvosteltu mm. siitä, että sen tuottamat verbaaliset protokollat eivät välttämättä ole täydellisiä vain enemmänkin vain osa ajatuksista (Van Someren, Barnard, & Sandberg, 1994, s. 26). Ericssonin ja Simonin (1993) mukaan ääneen ajattelu ei vaikuta tehtävästä suoriutumiseen. Mahdolliset vaikutukset suoritukseen eivät kuitenkaan vähennä menetelmän hyödyllisyyttä varsinkaan, jos kyseessä on yksinkertainen tehtävä, jonka tehokasta suorittamista tai suoritusaikaa ei mitata.

Ääneen ajattelu voidaan toteuttaa eri tavoin. Yleisesti käytetyn menetelmän mukaan koehenkilöä pyydetään kuvailemaan toimintaansa kokeen aikana, toinen vaihtoehto on suorittaa ensin tehtävät ja pyytää koehenkilöä suorituksen jälkeen kertomaan vastaavasti suorituksesta. Tällöin puhutaan retrospektiivisestä ääneen ajattelusta, jonka toteutuksessa usein näytetään koehenkilölle videotallenne koetilanteesta muistin tueksi (Van Den Haak, De Jong & Schellens, 2003). Kokeen aikana suoritettua ääneen ajattelun ajatellaan tuottavan suorilla sanallisia ilmauksia siitä mitä henkilö ajattelee ja miten hän ratkaisee ongelmatilanteita; retrospektiivisen ääneen ajattelun taas ajatellaan olevan alttiimpi henkilön tulkinnoille omasta toiminnastaan. Verbalisoinnissa voidaan käyttää eri tasoja, jolloin koehenkilön tekemän reflektoinnin ja oman toiminnan analysoinnin taso vaihtelee. Verbalisointi voi olla tiukasti vain suoritettujen tehtävien raportointia; sisältää osin reflektointia, jolloin koehenkilö raportoinnin lisäksi voi myös selventää kertomalla miksi teki suorituksen tietyllä tavalla; sekä hyvin vahvasti reflektoivaa, jolloin koehenkilö pyrkii selittämään toimintansa taustoja ja valintoja mahdollisimman kattavasti (Ericsson & Simon, 1993; Van Den Haak, De Jong & Schellens, 2003.)

Van Den Haak, De Jong ja Schellens (2003) vertailivat tutkimuksessaan samanaikaista ja retrospektiivistä ääneen ajattelun menetelmää käytettävyyssuorituksessa. Heidän tutkimuksensa mukaan samanaikaisen ääneen ajattelun esiin tuomat käytettävyysongelmat havaitaan useimmin kokeen johtajan suorittaman koetilanteen aikana tapahtuvan tarkkailun avulla, kun taas retrospektiivisellä menetelmällä ongelmat löytyvät usein koehenkilön kuvaillessaan suo-

rittamaansa toimintaa jälkikäteen. Molemmilla tavoilla samoja käytettävyysongelmiä kuitenkin löydettiin.

Yleensä ääneen ajattelun tueksi annetaan vain neutraaleja ohjeita, joilla ei pyritä ohjaamaan koehenkilön toimintaa mihinkään tiettyyn suuntaan. Zhao, McDonald ja Edwards (2012) tutkivat voidaanko ääneen ajattelun luotettavuutta käytettävyysongelmiä löytämisessä parantaa antamalla tarkempia ohjeita, joilla suunnataan koehenkilön tekemistä käytettävyysongelmiä löytämiseen. Heidän tutkimuksessaan eroja ei löytynyt käytettävyysongelmiä löytämisen suhteen, mutta henkilöt joiden toimintaa ei ohjattu, raportoivat enemmän henkistä kuormitusta.

VR-ympäristön immersiiivisyyttä voidaan tutkia mentaalisten representaatioiden avulla. Yllä olevan keskustelun perusteella voidaan olettaa, että mikäli VR-ympäristö on immersiiivinen ja siinä toimivalle henkilölle syntyy riittävä läsnäolon ja todellisuuden kokemus, sitä enemmän mentaaliset representaatiot kuvaavat nimenomaan toimintaa VR-ympäristössä ja todellisen ympäristön vaikutus representaatioihin vähenee.

## 3 EMPIIRINEN TUTKIMUS

### 3.1 Tutkimuksen lähtökohta

VR-ympäristön soveltaminen käytettävyystudkimukseen olisi hyödyllistä, mutta käytettävyystudkimuksia ei haluta lähteä tekemään ilman kokemuseräistä näyttöä sen hyödyllisyydestä. Hyödyllisyyteen vaikuttaa mm. miten hyvin virtuaalisesti mallinnettu ympäristö vastaa todellista vastaavaa ympäristöä, miten todellisena koehenkilöt kokevat VR-ympäristön ja aiheuttaako VR-ympäristö simulaattorisairautta tai vastaavia ongelmia, jotka voisivat vaikuttaa käytettävyydestien onnistumiseen ja luotettavuuteen.

Tässä raportoidun tutkimuksen tavoite oli hankkia tietoa siitä, millaisissa koeasetelmissa VR-ympäristöä voidaan käyttää käytettävyystudkimuksessa ja millaisia seikkoja tulee huomioida, kun VR-ympäristöä käytetään tai suunnitellaan käytettävän laitteiden tai ympäristöjen käytettävyydestauksessa. Tutkimuksessa haettiin vastausta kysymykseen *Soveltuuko VR-ympäristö käytettävyystudkimukseen?* Kysymys voidaan edelleen jakaa seuraaviin alakysymyksiin.

1. Missä määrin ja millä tavoin tila- ja käyttäjäkokemus VR-ympäristössä vastaavat todellista ympäristöä?
  - a. Mitkä testi-ympäristön tekijät vaikuttavat kokemukseen testitilanteesta ja testattavasta laitteistosta / ympäristöstä?
  - b. Mitä eroja/puutteita/ylimääräistä kokemuksessa voi esiintyä? Voiko näitä hallita, mikäli ne tiedostetaan?
2. Aiheuttaako VR-ympäristön käyttö käytettävyydestauksessa simulaattorisairautta tai vastaavia ongelmia (kuten esimerkiksi erityisvaatimuksia ergonomialle), jotka tulee huomioida käytettävyydesteistä suunniteltaessa?
3. Millaisin menetelmin VR-ympäristössä toteutettavassa käytettävyystudkimuksessa kannattaa kerätä aineistoa, jotta se vastaisi parhaiten käytettävyydestauksen tarpeisiin?

- a. Millaiset mittarit toimivat validin käytettävyyssdatan keräämiseen testiympäristössä?
4. Millaisia vuorovaikutustyyppisiä sisältäviä kohteita/tehtäviä VR-ympäristössä voidaan tutkia
  - a. Ympäristön/tilanteen havainnointi
  - b. Näyttölaitteen/kohteen havainnointi
  - c. Vuorovaikutuselementin koskettaminen
  - d. Vuorovaikutuselementtiin tarttuminen
  - e. Kappaleen liikuttelu/käsittely

Kysymyksiin pyrittiin vastaamaan empiirisen tutkimuksen avulla - kaikkiin kysymyksiin ei kuitenkaan niiden laajuuden vuoksi ole vastattu. Koska yhteistyökumppani oli kiinnostunut konkreettisista tuloksista, on tutkimus painottunut käytännönläheisempiin osakysymyksiin.

### 3.2 Käytetyt laitteet ja kokeen kulku

#### Virtuaaliympäristön toteutus

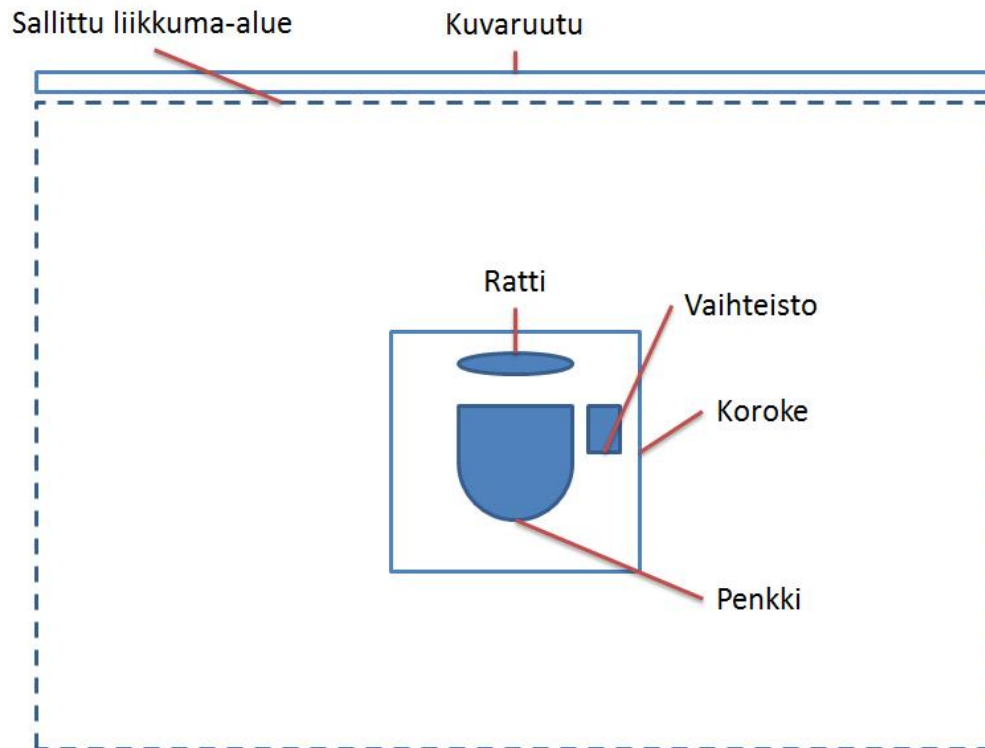
Kokeet järjestettiin yhteistyökumppanin virtuaalilaboratoriossa. Kokeessa käytettiin kolmentyyppisiä laitteita joko kaksi- tai kolmiulotteisen virtuaaliympäristön luomiseen (Kuvio 2). 2D-esitystä katsottaessa koehenkilöille laitettiin otsalle pääpanta, jossa olivat liiketunnistimien tarvitsemat merkkilaitteet (kuvio 2, pallopäiset tikut, jatkossa *markkerit*). Liiketunnistimen ansiosta koehenkilöt näkivät laboratorion näytöllä sen alueen mihin katse on suunnattu. 3D esitys toteutettiin joko laseilla tai HMD-laitteella.

3D-laseihin oli asennettu kolme markkeria koehenkilön liikkeiden jäljittämistä varten. Lasien lähetin mahdollisti sen, että koehenkilöt näkivät 3D-esityksenä virtuaalilaboratorion näytöltä sen virtuaaliympäristön alueen, johon katse oli suunnattu.



Kuvio 2. Käytetyt laitteistot. Vasemmalla ylhäällä pääpanta, vasemmalla alhaalla 3D-lasit. Oikealla HMD-laite.

3D-lasien lisäksi kolmiulotteinen VR-ympäristö toteutettiin HMD-laitteella, joka asetettiin koehenkilöiden päähän kokeen alussa. HMD-laitetta (Kuvio 2) käytettäessä koehenkilöt näkivät kuvan suoraan laitteessa olevilta näytöiltä, jotka asettuivat suoraan silmien eteen. HMD-laite mahdollisti koehenkilöille vapaan näkyvyyden kaikkiin suuntiin mallin sisällä. Laitteen avulla koehenkilöt olivat ikään kuin VR-ympäristöön toteutetun mallin sisällä. Laboratorio sisälsi auton fyysisiä osia auton istuimen, ratin sekä vaihteiston vaihdokkeineen. Koehenkilön liikkuminen oli rajoitettu tietylle alueelle henkilön seuraamisen varmistamiseksi markkereiden avulla. Laboratorion kaaviokuva on esitetty kuviossa 3.



Kuvio 3. Virtuaalilaboratorion kaavio



Kuvio 4. Kokeessa käytetty ohjain

Mallissa olevien toimintojen aktivointiin eli painikkeiden painamiseen koehenkilöt käyttivät virtuaalista sormea (Kuvio 4). Ohjaimeen kiinnitettiin liiketunnistimen markkerit, joiden avulla ohjaimen tarkka sijainti voitiin määrittää. Virtuaalimallissa ohjain näkyi virtuaalisena sormena eli viivakuvakkeena

joka liikkui koehenkilön käden liikkeiden mukaan. Normaalitilassa viiva näkyi valkoisena, mutta se muuttui vihreäksi, kun se osoitti toiminnallista painiketta. Tämä toimi koehenkilöille merkinä siitä milloin he voivat ohjaimen painiketta klikkaamalla valita toiminnon.

Virtuaalilaboratorio oli huone, jonka keskelle oli asetettu tavallinen selkänojallinen tuoli (Kuvio 5). Tuolin eteen oli kiinnitetty auton ratti ja lisäksi tuolin viereen oli asetettu auton vaihteisto vaihdekeppeineen. Tuolissa istuessaan koehenkilö näki ratin ylitse virtuaalilaboratorion seinälle heijastetun ympäristön. Ympäristöön oli mallinnettu autotalli, ja tehtäviä tehdessään koehenkilö joko istui tuolilla (virtuaaliympäristössä auton sisällä) tai nousi seisomaan tuolin viereen (virtuaaliympäristössä auton viereen autotalliin).



Kuvio 5. Virtuaalilaboratorion laitteisto ja kuvaruutunäkymä testin aikana.

### Kokeen kulku

Kokeeseen osallistui  $N = 15$  koehenkilöä. Ennen virtuaaliympäristössä suoritettavia testejä kokeen pitäjä esitteli kokeen yleisen kulun. Esille tuotiin mm., ettei suoritusaikaa tai suoritusten oikeellisuutta mitata mitenkään. Lisäksi kerrottiin, ettei kaikkiin tehtäviin ole löydettävissä vastauksia. Koehenkilö täytti taustatietolomakkeen (Liite 1) ja teki ääneen ajattelun harjoitteita. Ääneen ajattelun harjoitteena käytettiin joko päässäalaskutehtäviä tai "kirjaimen kävelyä" (Ericsson & Simon, 1993).

Kun koehenkilö koki olevansa valmis aloittamaan, häntä pyydettiin istumaan virtuaalilaboratorion keskellä olevaan tuoliin. Laitteisto pyrittiin säätämään koehenkilölle mahdollisimman miellyttäväksi ja sopivaksi. Kun koehenkilö ilmoitti laitteiston tuntuvan hyvältä, kokeet aloitettiin. Koehenkilöt suorittivat kokeen kolmessa osassa, joiden välillä he täyttivät kyselylomakkeen ko-

kemuksistaan. Eri osioissa virtuaalisuuden tasoa vaihdeltiin edellä esitettyjen lisälaitteiden avulla: pääpanta, 3D-lasit tai HMD-laite. Virtuaaliympäristön toteutustapojen järjestystä vaihdettiin koehenkilöiden kesken (Taulukko 1).

Taulukko 1. VR-ympäristön toteutustapojen järjestys koehenkilöittäin.

Koehenkilö nro	Virtuaaliympäristön toteutustapa
1	2D, 3D-lasit, HMD
2	3D-lasit, HMD, 2D
3	HMD, 2D, 3D-lasit
4	2D, HMD, 3D-lasit
5	HMD, 3D-lasit, 2D
6	3D-lasit, 2D, HMD
7	2D, 3D-lasit, HMD
8	3D-lasit, HMD, 2D
9	HMD, 2D, 3D-lasit
10	2D, HMD, 3D-lasit
11	HMD, 3D-lasit, 2D
12	3D-lasit, 2D, HMD
13	2D, 3D-lasit, HMD
14	3D-lasit, HMD, 2D
15	HMD, 2D, 3D-lasit

*Huom.* 2D = pääpanta. HMD = HMD-laite.

### 3.3 Tehtävät

Kokeen aluksi kokeen ohjaaja esitti koehenkilölle viitekertomuksen oikean näkökulman luomiseksi. Viitekertomus oli seuraava:

”Kaverisi haluaa myydä sinulle autonsa. Olet parhaillaan kaverin autossa hänen autotallissaan tutkimassa autoa. Tavoitteesi on saada selville mitä toimintoja autosta löytyy ja millaisessa kunnossa se on.”

Kokeen pitäjä antoi suullisesti koehenkilöille tehtäviä. Ääneen ajattelun helpottamiseksi koehenkilöä pyydettiin toistamaan aina ensin annettu tehtävä. Suurin osa tehtävistä oli havainnointiin liittyviä ja osa vuorovaikutusta vaativia (Liite 2). Kunkin VR-ympäristön toteutustavan kaksi viimeistä tehtävää vaati auton ulkopuolelle siirtymistä ja ensimmäisenä kaikissa toteutustavoissa toistui tehtävä, jossa pyydettiin nimeämään kaikki havaitut hallintalaitteet. Lisäksi kaikissa toteutustavoissa toistettiin tehtävä, jossa vaadittiin radion käyttöä. Muutoin tehtävät olivat erilaisia kaikissa VR-ympäristön toteutustavoissa, mutta ne pyrittiin tekemään hyvin samantyyppisiksi ja yhtä vaativiksi. Eri VR-ympäristön toteutustapojen välillä koehenkilö täytti kyselylomakkeen koskien läsnäolon kokemusta (Liite 3) ja simulaattorisairautta (Liite 4).

Kun koehenkilö oli suorittanut annetut tehtävät kaikissa kolmessa VR-ympäristön toteutustavassa ja täyttänyt viimeistä osiota koskevan kyselylo-



makkeen, hänelle tehtiin loppuhaastattelu. Puolistrukturoidun haastattelun runko on liitteessä 5, ja keskustelu pyrittiin pitämään vapaamuotoisen. Koehenkilöt olivat pääsääntöisesti tyytyväisiä kokemuksiinsa, eikä kukaan halunnut keskeyttää koetta.

### 3.4 Vertailukoe oikeassa autossa

VR-ympäristön testien lisäksi kolmelle koehenkilölle järjestettiin vastaava tehtäväsarja oikeassa autossa. Henkilöt eivät olleet samoja kuin virtuaaliympäristökokeisiin osallistuneet. Koehenkilöiden määrä oli vähäinen, sillä pienikin vertailuaineisto riitti tutkimuksen kannalta ja lisäksi oli oletettavaa, että koehenkilöt käyttäytyivät oikeassa autossa hyvin yhtenevästi.



Kuvio 6. VR-ympäristön mallina käytetty ohjaamo.

Oikeassa autossa järjestettävät kokeet toteutettiin Opel Zafira – henkilöautossa. Vastaavan tyyppistä auton ohjaamoä käytettiin myös virtuaaliympäristön auton mallintamiseen (Kuvio 6). Auton ohjaamo ja hallintalaitteet muistuttivat virtuaaliympäristöä, joten koetehtävien suorittaminen oli samankaltaista molemmissa ympäristöissä. Jotta tilanne olisi mahdollisimman samankaltainen, autossa ei ollut herätevirtoja päällä. Kaikkia toimintoja ei näin ollen ollut mahdollista kokeilla eikä kaikkiin kysymyksiin löytynyt vastausta. Tilanne oli tämä myös virtuaaliympäristössä.

Oikean auton kokeissa kerättiin vain ääneen ajatteluaineisto. Lomakedataa ei kerätty eikä tilastollista analyysiä tehty. Koehenkilöiden kanssa käytiin alkuun läpi ääneen ajattelun harjoitukset vastaavasti kuin virtuaalilaboratorios-

sakin ja kokeen aikana puheet nauhoitettiin. Koetehtävät olivat soveltuvien osien samoja kuin virtuaaliympäristössä, mutta kukin tehtävä suoritettiin vain kerran ja ulkona suoritettavia tehtäviä oli vain kaksi. Loppuhaastattelua ei tehty.

### 3.5 Koehenkilöt

VR-ympäristössä kokeen suoritti 15 koehenkilöä ( $N = 15$ ), joista 8 oli naisia ja 7 miehiä. Koehenkilöiden keski-ikä oli 32 vuotta ( $SD = 13$ ), nuorin koehenkilö oli 20-vuotias ja vanhin 63-vuotias. Neljällä koehenkilöstä oli silmälasit. Viidellä koehenkilöstä oli kokemusta kolmiulotteisista ympäristöistä ja 80 % koehenkilöstä raportoi katsovansa kolmiulotteisia elokuvia joitakin kertoja vuodessa tai useammin. Kolme koehenkilöä ei ollut koskaan katsonut kolmiulotteisia elokuvia ja kaksi koehenkilöä ei ollut koskaan pelannut pelejä, joissa on kolmiulotteinen ympäristö.

Koska VR-ympäristössä suoritettavat tehtävät liittyivät autoon, koehenkilöiltä kysyttiin heidän ajokorttiluokkaansa ja auton käytön yleisyyttä. 11 koehenkilöllä oli henkilöautokortti ja neljällä henkilöllä kuorma-autokortti. 60 % koehenkilöstä käytti autoa päivittäin tai ainakin viikoittain, ja vain kaksi harvemmin kuin kuukausittain. Koska kokeen tehtävät eivät vaatineet tavallisesta poikkeavia autonkäyttötaitoja, auton käytön yleisyyden ei oletettu vaikuttavan tuloksiin. VR-ympäristössä tehtyjen kokeiden lisäksi tutkimusta varten toteutettiin kolmen koehenkilön vertailutestit oikeassa ympäristössä eli henkilöautossa. Oikean auton koehenkilöt olivat iältään 20 – 37 -vuotiaita ja henkilöautokortin omaavia.

Osa koehenkilöistä rekrytoitiin Jyväskylän yliopiston käyttäjäpsykologian koehenkilölistalta, jolle kuka vain yliopiston opiskelija saa liittyä. Loput koehenkilöistä olivat yhteistyökumppanin henkilöstä. Kullekin koehenkilölle annettiin palkkioksi kokeeseen osallistumisesta kaksi vapaasti käytettävää elokuvalippua.

### 3.6 Hypoteesit

Kirjallisuuskatsaukseen perustuen voitiin olettaa, että VR-ympäristössä muodostetut mentaaliset representaatiot vastaisivat oikeassa ympäristössä tehtyjä. Nykyiset VR-ympäristöt ovat teknisesti pitkälle kehittyneitä ja mahdollistavat jo varsin todenmukaisen kokemuksen erityisesti HMD-laitteistojen avulla (Shibata, 2002). Koska yhtenä tutkimuskysymyksenä oli saada selvyyttä siihen missä määrin tila- ja käyttäjäkokemus vastaavat todellista ympäristöä asetettiin tutkimukselle seuraava propositio: ( $P_1$ ) *Ihminen mieltää todellisuuden riittävän samalla tavoin VR-ympäristössä kuin todellisessa ympäristössä, jotta käytettävyydestä on mahdollista.*

Tärkeänä seikkana VR-ympäristön todenmukaisuudessa nousee kirjallisuudessa esille läsnäolon kokemus eli immersio. Aiempaan tutkimukseen perustuen voitiin olettaa, että laitteistolla ja VR-ympäristön toteutustavalla on vaikutusta läsnäolon kokemukseen (Sherman & Craig; Shibata 2002). Tämän asian tutkimiseksi tilastollisin menetelmin asetettiin tutkimukselle seuraava hypoteesi: (H<sub>1</sub>) *VR-ympäristön virtuaalisuuden toteutustavalla on vaikutusta läsnäolon kokemukseen ja hallinnan tuntuun.*

Jos pohditaan VR-ympäristön soveltuvuutta käytettävyyteen sen mahdollisten haittavaikutusten näkökulmasta, ei voida unohtaa simulaattorisairauden käsitettä. Tietyt seikat, kuten liikkuminen VR-ympäristössä voivat lisätä simulaattorisairauden kokemusta. Jotta olisi saatu tietoa siitä millaisia sivuvaikutuksia VR-ympäristöllä on koehenkilöön ja mahdolliseen käytettävyyden arviointiin, asetettiin tutkimukselle sitä koskeva hypoteesi: (H<sub>2</sub>) *VR-ympäristön toteutustavalla on vaikutusta simulaattorisairauden kokemiseen.*

Koska käytettävyytutkimuksen kannalta olisi tärkeää, että koeympäristö vastaisi mahdollisimman hyvin todellista ympäristöä, on toivottavaa että käyttäjien suhtautuminen VR-ympäristöön vastaisi suhtautumista oikeaan ympäristöön. Tämän vuoksi haluttiin myös tutkia VR-ympäristön vaikutusta koehenkilön yleistuntemuksiin, kuten innostuneisuuteen. Yleiset tuntemukset VR-ympäristössä toimittaessa ovat tärkeitä sikäli, että ne voivat vaikuttaa koehenkilön motivaatioon ja tulkintaan käytettävyysongelmista. Yleistuntemukset ja koehenkilön asenne tilannetta kohtaan voivat vaikuttaa mm. verbaalisten protokollien sisältöön (Ericsson & Simon, 1993) ja sitä kautta niiden avulla saavutettaviin käytettävyytutkimuksen tulosten oikeellisuuteen. Tämän seikan selvittämiseksi asetettiin tutkimukselle yleistuntemuksia koskeva hypoteesi: (H<sub>3</sub>) *VR-ympäristön toteutustavalla on vaikutusta yleisiin tuntemuksiin.*

### 3.7 Datankeruu- ja analyysi

#### Puheprotokollien keruu ja analyysi

Koehenkilöiden ääneen ajattelu -aineistot, eli verbaaliset protokollat, tallennettiin sanelimella ja purettiin tekstiksi. Tallennetut protokollat litteroitiin tekstiksi kokonaisina lauseina, jotka jaettiin luokkiin: toiminto, havainto, valinta, virhe. Tällainen luokittelu valittiin, koska sen avulla voitiin tutkia miten hyvin koehenkilöiden toimintoketjut muistuttivat toisiaan sekä VR-ympäristössä että oikeassa ympäristössä. Tutkimuksessa haettiin vastausta kysymykseen vastaavatko VR-ympäristössä muodostuneet representaatiot oikeassa ympäristössä muodostuneita ja kyseinen luokittelu mahdollisesti tarvittavan analyysin tekemisen. Lisäksi tällä luokittelulla löytyivät toimintoketjujen virhetilanteet, jotka antoivat lisäaineistoa mahdollisten VR-ympäristön ongelmakohtien hahmottamiseen. (Ericsson & Simon, 1993.)

Aineistosta on analysoitu kiinnostavimmat tehtävät erikseen ja muutoin analyysi on tehty joukkona samantyyppisiä tehtäviä. Esimerkiksi tehtävät: 1)

mistä toimivat tuulilasien pyyhkijät, 2) tarkasta ajokilometrit, 3) etsi valojen säätölaitteisto, ovat tyypiltään samanlaisia ja ne on analysoitu joukkona. Samoin ulkona suoritettavat tehtävä ensimmäistä lukuun ottamatta on analysoitu joukkona. Ensimmäinen on otettu erikseen, koska se sisältää kiinnostavia havaintoja koehenkilöiden käyttäytymisestä.

Kokeiden jälkeen tehty loppuhaastattelu nauhoitettiin. Näitä aineistoja ei litteroitu vaan pelkästään kuunneltiin muistiinpanoja tehden. Tämän aineiston tarkoitus oli saada esille koehenkilöille erityisesti mieleen jääneitä asioita tai ongelmia sekä heidän mielipiteitään siitä millainen virtuaaliympäristö olisi toimivin vaihtoehto.

Oikeassa autossa nauhoitetut aineistot litteroitiin ja analysoitiin tehtäväkohtaisesti samoin kuin virtuaalilaboratorion aineistot. Aineistojen analysoinnissa noudatettiin samoja periaatteita eli osa analysoitiin joukkona ja osa erikseen, myös VR-ympäristön aineistojen ja oikean auton aineistojen väliset eroavaisuudet analysointiin.

### Läsnäolon ja hallinnan kokemus

Läsnäolon ja hallinnan kokemusta mitattiin numeerisesti kunkin tehtäväsarjan jälkeen täytetyn kysymyslomakkeen avulla. Kysymyslomake sisälsi Likert-asteikon, jonka kysymykset oli koottu valikoiden läsnäolon kysymystä mittaamaan rakennetusta kysymyslomakkeesta (Witmer & Singer 1998; lomake liitteessä 3). Aineistoanalyysin lähtökohtana oli tavoite rakentaa kaksi luotettavaa summamuuttujaa, joista toinen mittaa hallinnan tunnetta ja toinen läsnäolon kokemusta.

Summamuuttujien etuna on yksittäisiin muuttujiin verrattuna se, etteivät ne ole niin herkkiä satunnaisvaihtelulle. Näin summamuuttujien perusteella tehtyjä vertailuja voidaan pitää luotettavampina kuin yksittäisiä osiotason muuttujia. Pätevän summamuuttujan etuna voidaan pitää lisäksi sitä, että se kuvaa yksittäisten muuttujien takana vaikuttavaa ilmiötä. Esimerkiksi hallinnan tunnetta ei voida kysyä suoraan yhdellä kysymyksellä luotettavasti, mutta kun usealla samaa asiaa koskevalla kysymyksellä saadaan yhteneviä tuloksia, voidaan päätellä että on onnistuttu mittaamaan hallinnan tunnetta.

Summamuuttujien rakentamiseen käytetyt yksittäiset muuttujat ovat taulukossa 2. Muuttujat voidaan luotettavasti rakentaa, mikäli niiden sisäinen yhtenevyys on riittävän suuri. Tätä mitattiin *Cronbachin alfa*-arvolla, jolle tämän tutkimuksen leikkauspisteeksi valittiin .700. Mikäli muuttujien konsistenssi oli tarpeeksi suuri, voitiin ne summata muuttujaksi. Näin rakennettu summamuuttuja skaalattiin samanasteikolliseksi kuin alkuperäiset muuttujat (1–5), jotta sen tulkinta oli helpompaa: arvo yksi tarkoitti 'ei lainkaan' hallinnan tunnetta tai läsnäolon kokemusta, viisi tarkoitti 'erittäin paljon'.

Hypoteesina ( $H_1$ ) oli, että näin rakennetut hallinnan ja läsnäolon tunteen mittarit ovat riippuvaisia koeasetelmasta (pääpanta, 3D-lasit tai HMD-laite). Tätä hypoteesia testattiin peräkkäisten mittausten varianssianalyysillä, jolloin koehenkilöt toimivat itsensä kontrollina. Analyysillä siis etsittiin muutosta koehenkilöiden omissa vastauksissa koeasetelmien kesken. Lisäksi Spearman-

korrelaation avulla tarkasteltiin äänten yhteyttä läsnäolon kokemukseen eri koeasetelmissa.

Taulukko 2. Summamuuttujat - hallinnan ja läsnäolon kokemusten summamuuttujiin sisällytettävät muuttujat.

Hallinnan tunne	Läsnäolon kokemus
Kykenin kontrolloimaan tapahtumia.	Koin uppoutuvani ympäristöön.
Koin ympäristön reagoivan toimintaani.	Koin ympäristön visuaaliset elementit luonnolliseksi.
Koin toimintani luonnolliseksi.	Koin kokemukseni virtuaalimaailmassa yhteneväksi todellisen maailman kokemusten kanssa.
Koin pystyväni ennakoimaan toimintani seurauksia.	Koin pystyväni tutkimaan esineitä.
Koin toimintani ympäristön kontrolloimiseksi luonnolliseksi.	

### Simulaattorisairaus

Simulaattorisairautta mitattiin tätä tarkoitusta varten luodun kyselyn muunnetulla versiolla (Kennedy *ym.* 1993; lomake liitteessä 3). Kyselyä muunnettiin siksi, että voitiin pitää koehenkilöiden kuormitus kohtuullisena lomakkeiden täyttämisen osalta. Lyhennetty versio oli riittävä tarkoitukseensa, joskin sen yksityiskohtaisuus on alkuperäistä heikompi. Keskeisenä tavoitteena kyselyssä oli selvittää pienetkin muutokset eri testien välillä, sillä käytettävyydestä tavoitteena voidaan pitää toimintaa, joka ei aiheuta lainkaan (tai hyvin vähän) simulaattorisairautta. Hypoteesina ( $H_2$ ) oli, että simulaattorisairaus vaihtelee VR-ympäristön toteutustapojen kesken.

Keskiarvovertailujen sijaan aineiston analyysissä ja tulosten tulkinnassa kiinnitettiin huomiota siihen, kuinka moni koehenkilö raportoi nousua simulaattorisairauden eri osatekijöissä kunkin VR-ympäristön toteutustavan jälkeen verrattuna heidän ennen testiä täyttämänsä simulaattorisairauslomakkeeseen. Lisäksi simulaattorisairautta koskevien tulosten kiteyttämiseksi viidestä tärkeimmäksi katsotusta nollasta poikkeavasta muuttujasta laskettiin keskiarvo, joka yleisesti kuvaa simulaattorisairautta asteikolla 1-5. Tilastollisuuden merkitsevyyden raja on .17, sillä vertailuja tehtiin oli kolme (.05 / 3).

### Yleistuntemukset

Yleistuntemuksia kysyttiin kokeessa kolmella kysymyksellä: epävarmuuden, innostuneisuuden ja levottomuuden kokemisen suuruudella. Nämä kolme kysymystä esitettiin neljästi: ennen kokeen alkua ja jokaisen VR-ympäristön toteutustavan jälkeen. Perustuntemuksia verrattiin toisiinsa keskiarvojen perusteella, ja lisäksi analyysissä tarkasteltiin sitä, kuinka monella koehenkilöllä muuttujat joko nousevat tai laskevat ennen koetta täytettyyn lomakkeeseen kussakin VR-ympäristön toteutustavassa. Hypoteesina ( $H_3$ ) oli, että eri toteutustavassa epävarmuus, innostuneisuus ja levottomuus saavat eriäviä keskiarvoja.

## 4 TUTKIMUSTULOSTEN ANALYYSI

### 4.1 Mentaalisten representaatioiden muodostuminen

Protokolla-analyysin avulla tavoiteltiin tietoa siitä miten VR-ympäristössä muodostuneet mentaaliset representaatiot eroavat oikeassa ympäristössä muodostuneista vai eroavatko. Mielenkiintoisimmiksi tehtäviksi osoittautuivat hallintalaitteiden nimeäminen ja kaiutinten kuuluvuuden testaaminen. Ensimmäisenä tehtävänä kunkin VR-ympäristön toteutustavassa koehenkilöitä pyydettiin nimeämään kaikki hallintalaitteet. Taulukossa 3 on esitetty yksittäisten havaittujen hallintalaitteiden pyörästetyt keskiarvot kussakin VR-ympäristön toteutustavassa. Koehenkilöt suorittivat saman tehtävän kolmesti, joten toisella ja kolmannella VR-ympäristön toteutustavalla tehdessään he tiesivät, mitä laitteita havaita. Taulukossa on siksi omat sarakkeensa kaikille havainnoille sekä havainnoille vain kunkin koehenkilön ensimmäisestä tämän tehtävän suorittamisesta.

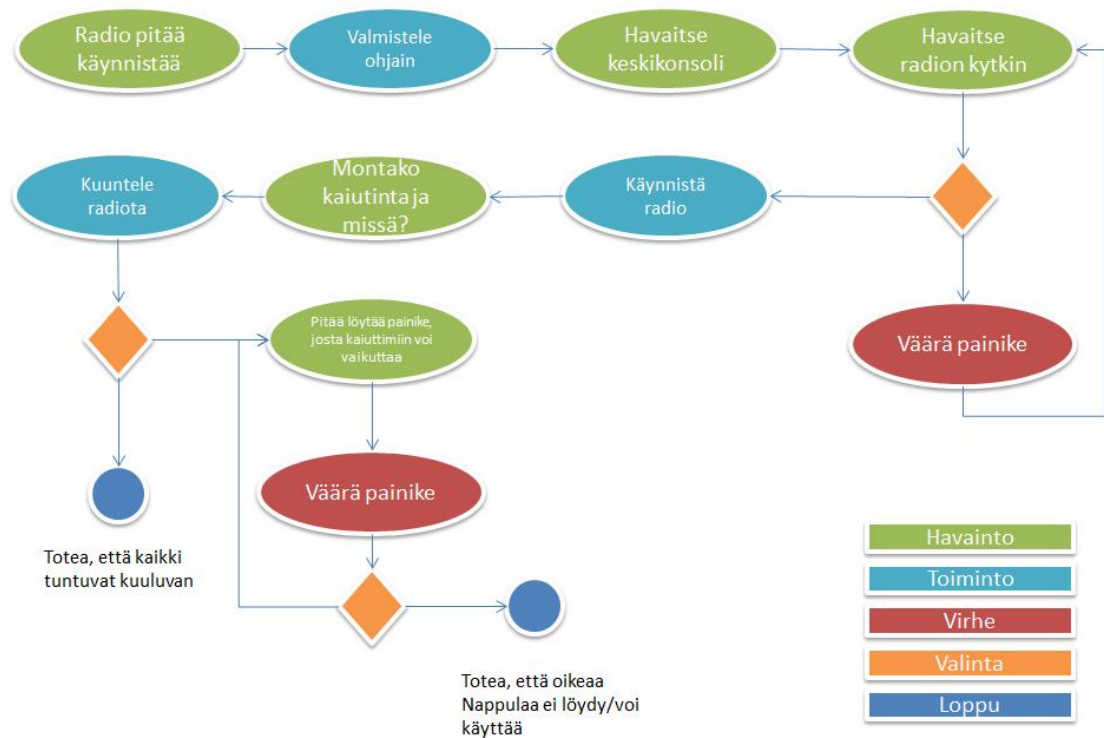
Taulukko 3. Havaitut laitteet - pyörästetyt keskiarvot virtuaaliympäristöjen toteutustavoissa.

VR:n Toteutustapa	Keskiarvo, kun ensimmäisenä	Keskiarvo kaikille
2D	7	10
3D-lasit	13	10
HMD	13	12

Pääpannan avulla toteutetussa kaksiulotteisessa ympäristössä havaintojen määrä jäi hieman kolmiulotteisia toteutuksia pienemmäksi, kun tarkastellaan kunkin koehenkilön ensimmäistä kohtaamista VR-ympäristöauton kanssa. Kokonaiskeskiarvoissa ei juuri ollut eroja, mutta HMD:lla yksittäisiä hallintalaitteita nimettiin eniten. Oikeassa autossa toteutettujen vertailutestien keskimääräinen hallintolaitteiden havaintojen määrä oli 15.

Kuviossa 7 on esitetty havaintojen ja toimintojen ketju kaiutinten testaus-tehtävässä VR-ympäristössä. Kuvioista nähdään mitkä havainnot ja toiminnot

johtavat lopputulokseen. Koehenkilöillä oli kaksi pääasiallista tapaa lähestyä ongelmaa. Toisessa vaihtoehdossa koehenkilöt olivat tyytyväisiä, kun saivat radion kuulumaan ja totesivat sitten korvakuulolta mistä suunnista ääni kuuluu. Toinen joukko halusi sen sijaan ratkaista ongelman löytämällä radiosta painikkeen, minkä avulla voi vaihdella eri kaiutinten kuuluvuutta. Tämä johti ongelmaan ja mahdolliseen turhautumiseen, sillä sellaista painiketta ei ollut löydettävissä. Lisäksi asian tulkintaa vaikeutti se, ettei näytön teksti muuttunut vaikka eri painikkeita painoi. Näin koehenkilöt eivät päässeet selvyyteen mikä voisi olla oikea painike ja totesivat lopulta, etteivät voi ratkaista ongelmaa.



Kuvio 7. Kaiutinten testaaminen VR-ympäristössä - protokolla-analyysin perusteella rakennettu vuokaavio.

Ohjelmoitu käynnistuspainike

Oletettu käynnistuspainike



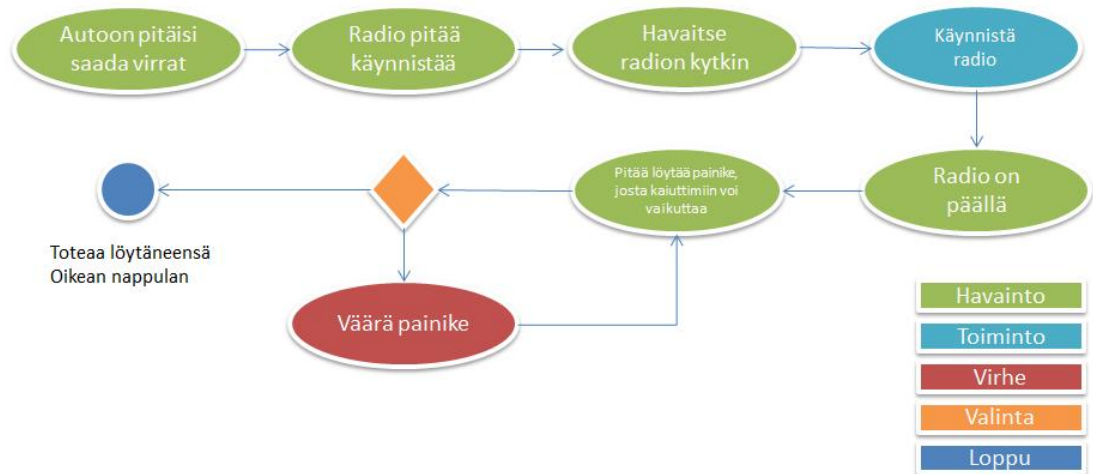
Kuvio 8. Radion käynnistäminen VR-ympäristössä

Toinen merkittävä ongelmakohta oli radion käynnistäminen. Kuviosta 8 näkyy mistä radio piti käynnistää ja mistä useimmat virhetilanteeseen törmänneet sitä yrittivät käynnistää. Useimmissa autoradioissa käynnistys tapahtuu isosta painikkeesta radion keskeltä ja siitä useimmat koehenkilöt myös yrittivät ensin. Osa sen sijaan osui oikeaan heti, sillä he ilmeisesti liittivät tekstin "Radio" käynnistämiseen, vaikka sen avulla ohjataan lähdettä, josta ääni kuuluu. Ongelmaa tässäkin vaiheessa aiheutti eniten palautteen puute eli kun koehenkilö ei tiennyt mistä radio käynnistyy, eikä saanut mistään palautetta väärästä valinnasta, niin käynnistäminen meni helposti yritys-erehdys – strategian noudattamiseksi, kunnes oikea nappula löytyi.

Kuviossa 9 on esitetty saman tehtävän vuokaavio oikean auton puheprotokollien avulla rakennettuna. Selkeimpänä erona VR-ympäristön kokeisiin oli koehenkilöiden havainto siitä, että autoon pitäisi saada virrat päälle. Kukaan VR-ympäristössä ei esittänyt tätä vaihtoehtoa. Syynä tähän on mahdollisesti se, että virtuaalimallin perusteella näytti siltä kuin virrat olisivat olleet päällä, koska mittariston valot paloivat. Kuitenkaan esimerkiksi ajokilometrit eivät näkyneet ja sen perusteella osa arveli kokeen aikana, että virrat pitäisi laittaa päälle. Kukaan ei kuitenkaan liittänyt asiaa radion käynnistämiseen.

Oikeassa autossa koehenkilöt pian huomasivat, ettei virtoja tarvitse, koska radio lähti käyntiin ilman virtojakin. Radion nappula löytyi helposti, koska se oli merkitty selkeästi ja näkyvästi. Kukaan koehenkilöistä ei luottanut kuulohavaintoon vaan kaikki lähtivät hakemaan nappulaa, josta kaiutinten kuuluvuutta voisi säätää. Tässä törmättiin vastaavaan tilanteeseen kuin VR-ympäristössä eli oikeaa nappula ei ollut ihan helppo löytää. Nyt kuitenkin näyttö antoi heti palautetta väärästä valinnoista ja auttoi lopulta kaikkia koehenkilöitä löytämään oikean valinnan.





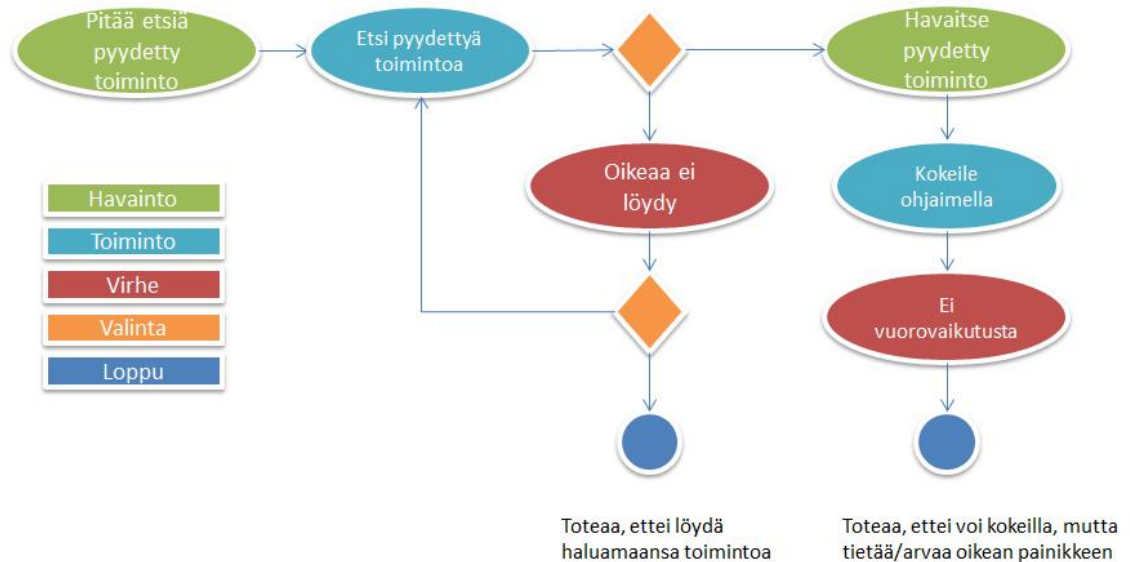
Kuvio 9. Kaiutinten testaaminen todellisessa ympäristössä - protokolla-analyysin perusteella rakennettu vuokaavio.

Oikeassa autossa koehenkilöt eivät puhuneet sormen viemisestä oikean nappulan lähelle tai varsinaisesta nappulan painamisesta tai valitsemisesta. He lähinnä sanoivat laittavansa radion päälle käynnistysnapista tai muuta vastaavaa. VR-ympäristössä henkilöt puhuivat sen sijaan paljon ohjaimen käyttämisestä ja kohdistamisesta oikeaan kohteeseen, kuten esimerkiksi erään koehenkilön lausahdus " *katotaan vaikka jos osoitetaan tuo radio*". Tähän vaikutti osittain se, että radiotehtävä oli ensimmäinen, missä koehenkilöt joutuivat aktiiviseen vuorovaikutukseen mallin kanssa. Tosin, vastaavan tyyppiset kommentit toistuivat myös muissa VR-ympäristön toteutustavoissa kuin koehenkilön ensimmäisessä.

Yleisiä ongelmia tässä tehtävässä olivat puutteellinen vuorovaikutus mallin kanssa, mallilta saatavan palautteen puute ja ympäristössä ilmenneet häiriöt, jotka sekoittivat tekemistä. Lisäksi muutamat kokivat näön tarkkuuden huonoksi kaikissa VR-ympäristön toteutustavoissa eivätkä kyenneet löytämään oikeita painikkeita. Suorittaessaan tehtävää ensimmäistä kertaa oikean nappulan löytäminen oli haasteellista, jos ensimmäisenä VR-ympäristön toteutustapana oli 2D tai 3D-lasit. Silloin painike jäi piiloon ratin taakse eivätkä kaikki huomanneet, että voivat kurottaa sivusuunnassa oikealle paremman näkyvyyden saadakseen.

Tehtävasarjassa oli useita tehtäviä, joissa pyydettiin etsimään tiettyä painiketta tms. jolla hallitaan jotain tiettyä toimintoa. Tällaisia olivat esimerkiksi:

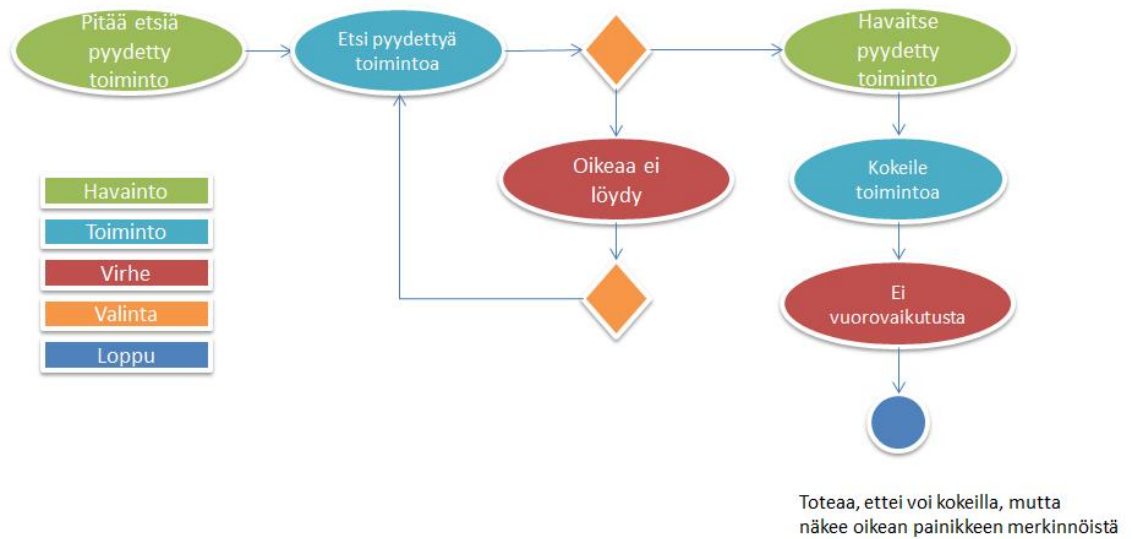
1. Mistä auton lasinpyyhkijät toimivat?
2. Etsi kaikki valojen säätämiseen liittyvät painikkeet.
3. Paljonko autolla on ajettu?



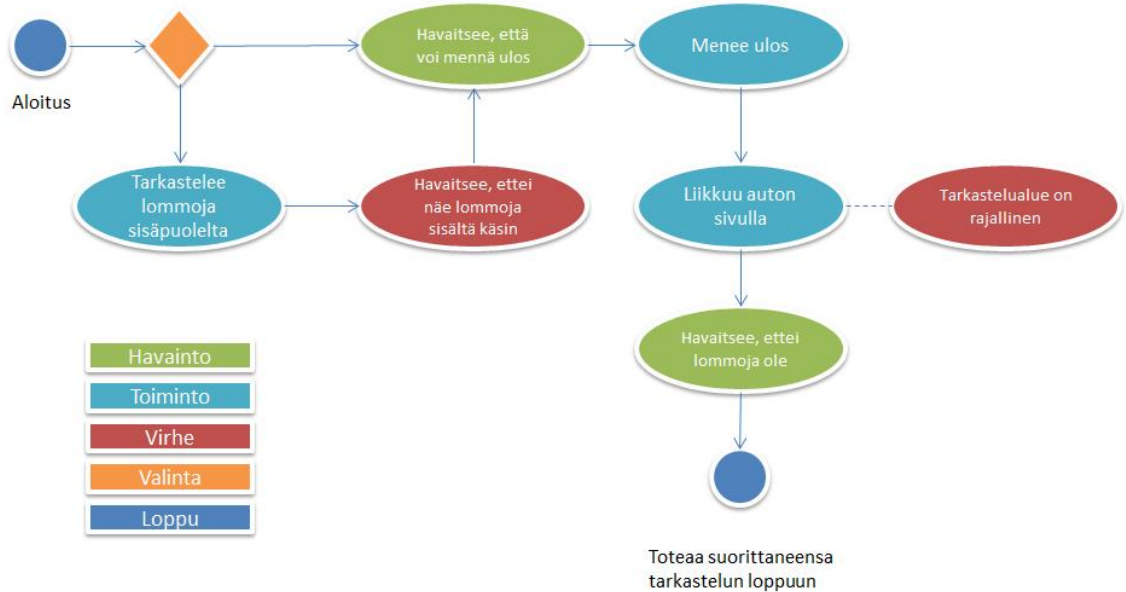
Kuvio 10. Tehtävä "etsi haluttu toiminto x" VR-ympäristössä - yleinen vuokaavio protokolla-aineiston perusteella.

Kuviossa 10 on esitetty tällaisen tehtävän yleinen vuokaavio. Kaikissa tehtävissä koehenkilöt etsivät oikeaa asiaa ensin havainnoimalla VR-ympäristöä. Kun he olivat mielestään löytäneet sopivan, he yrittivät pääsääntöisesti kokeilla toimintoa ohjaimella. Tämä johti poikkeuksetta ongelmaan, koska ainoastaan radion painikkeisiin oli ohjelmoitu toiminnallisuutta. Aikansa kokeiltuaan koehenkilöt totesivat, että toiminto löytyy todennäköisesti tietystä paikasta, esimerkiksi pyyhkijät oikean puoleisesta viiksestä, mutta eivät voi kokeilla eivätkä myöskään lukea merkintöjä asian vahvistamiseksi. Edetessään VR-ympäristön toteutustavasta toiseen koehenkilöt pääsääntöisesti kokeilivat toimintoja edelleen, vaikkakin heillä saattoi aiempien kokemusten perusteella olla oletus, ettei toiminnallisuutta ole olemassa.

Kuviossa 11 on esitetty oikeassa autossa suoritettujen vastaavien tehtävien puheprotokollien perusteella rakennettu vuokaavio. Myös oikeassa autossa koehenkilöt etsivät oikeaa toiminnallisuutta havainnoimalla. Joitain toimintoja he kokeilivat, mutta kaikkia eivät, koska autossa ei ollut virrat päällä ja koehenkilöt luonnollisesti olivat selvillä aiempaan kokemukseen perustuen mitä toimintoja voi käyttää ilman virtaa ja mitä ei. Tämä ei kuitenkaan johtanut varsinaiseen ongelmaan, sillä kaikki pyydetyt painikkeet oli merkitty visuaalisesti riittävällä tasolla. Koehenkilöt totesivat lopuksi esimerkiksi seuraavaa pyydetäessä etsimään tuulilasinyyhkijöitä: *"lasinyyhkijät näkyy tossa oikeenpuoleisessa viiksessä"*. He pystyivät siis näköhavainnon perusteella sanomaan varmasti missä mikäkin toiminto sijaitsee.



Kuvio 11. Tehtävä "etsi haluttu toiminto x" oikeassa autossa - yleinen vuokaavio kerätyn protokolla-aineiston perusteella.



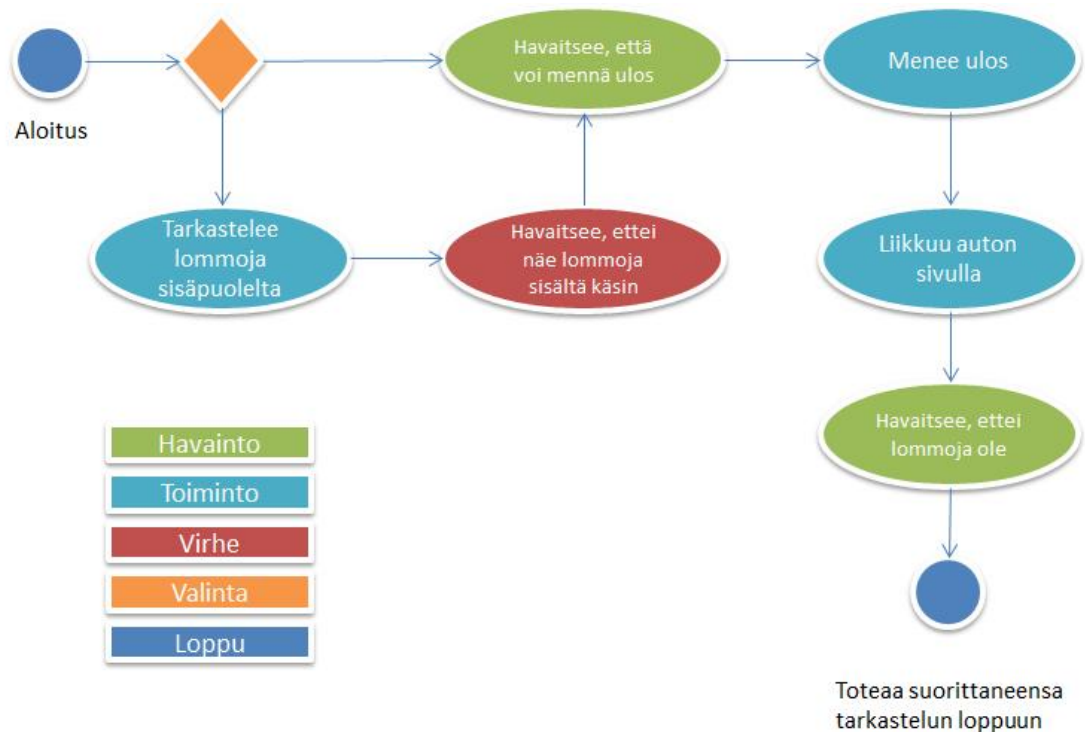
Kuvio 12. Lommojen tarkistaminen VR-ympäristössä - puheprotokollien avulla rakennettu vuokaavio.

Kuviossa 12 on esitetty havaintojen ja toimintojen ketju pyydettyä tarkastamaan onko virtuaalimallin autossa lommoja. Tämä tehtävä suoritettiin aina ensimmäisessä VR-ympäristön toteutustavassa, joten kyseessä oli tilanne, jossa koehenkilön piti ensimmäistä kertaa nousta autosta. Osa koehenkilöistä (neljä henkilöä) aloitti suorituksen yrittämällä nähdä lommot auton sisältä käsin. Tämän he pyrkivät tekemään kallistamalla sivulle ja ikään kuin työntämällä pään läpi virtuaaliauton ovesta. Lähestulkoon kaikilla (yksitoista henkilöä)

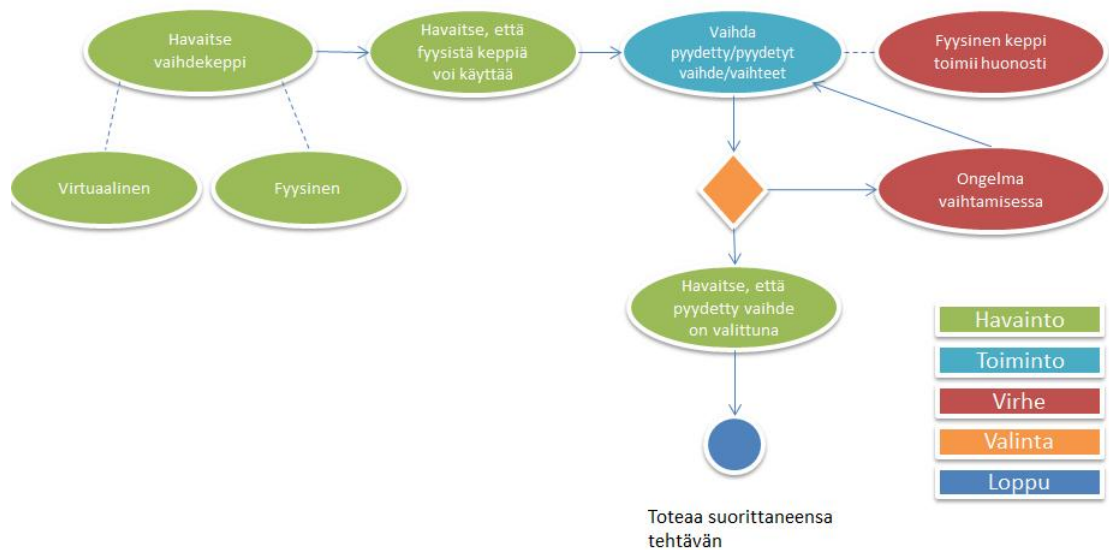
koehenkilöillä oli vaikeuksia mieltää, että he voivat astua ulos autosta ja osa kysyikin (viisi henkilöä), voivatko he nousta autosta.

Muuten tehtävän suorittaminen oli yksinkertaista, joskin kolme koehenkilöä koki, että heidän pitää kyykistyä tai kumartua nähdäkseen paremmin. Eniten ongelmia tehtävässä aiheutui puutteellisesta tarkastelualueesta, joka teknisistä syistä rajoittui 3D-laseilla vain auton etuosaan ja käytännön syistä myös 2D-vaiheessa tarkastelun pystyi tekemään vain etuosalle ja osalle auton kylkeä. Koehenkilöiden piti kuitenkin sekä pysyä annetulla alueella että säilyttää katsekontakti näyttöön. Kaikki koehenkilöt totesivat lopuksi, etteivät näe lommoja. Joskaan kaksi henkilöä ei ollut tuloksesta ihan varmoja, koska mallissa näkyi jonkun verran epätasaisuutta.

Kuviossa 13 on esitetty havaintojen ja toimintojen ketju pyydetessä tarkastamaan onko oikeassa autossa lommoja. Toimintoketju oikeassa autossa oli hyvin samankaltainen kuin VR-ympäristössä. Koehenkilöitä ei missään vaiheessa ohjeistettu sen enempää pysymään nimenomaan auton sisällä kuin olemaan siirtymättä ulos. Oikeassa autossa tehtävää suoritettaessa ei luonnollisesti ollut mitään mainittavaa ongelmaa tarkastelun suhteen. Muut auton ulkopuolella suoritettavat tehtävät olivat yksinkertaisia ja toistuivat melko samankaltaisina. Niitä ei ole tässä analysoitu sen tarkemmin.



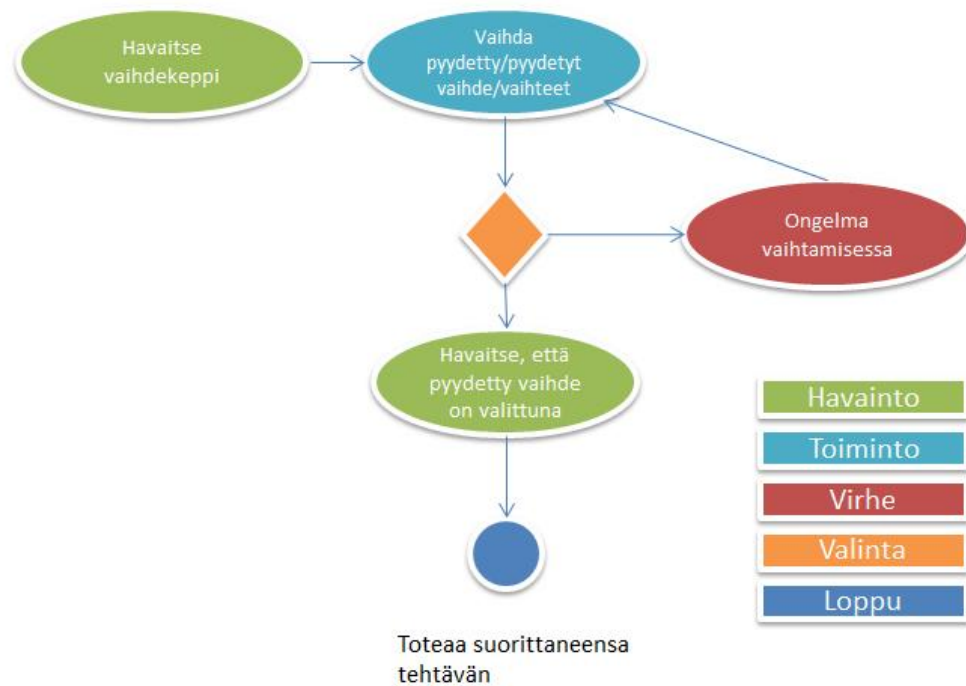
Kuvio 13. Lommojen tarkastaminen oikeassa autossa - puheprotokollien avulla rakennettu vuokaavio.



Kuvio 14. Vaihteistotehtävä VR-ympäristössä - puheprotokollien avulla rakennettu tyypillinen havaintojen ja toimintojen ketju.

Kuviossa 14 on esitetty vaihteiston käsittelyyn liittyvä tyypillinen havaintojen ja toimintojen ketju. VR-ympäristössä oli fyysinen vaihdekeppi ja näkyvä vaihdekeppi. Suorittaessaan tehtävää ensimmäistä kertaa koehenkilöt kommentoivat, että virtuaalimallissa näkyy vaihdekeppi ja lisäksi on fyysinen vaihdekeppi. Kaksi koehenkilöä kysyi, kumpaa tehtävässä käytetään, osa käytti suoraan fyysistä keppiä. Osa tehtävistä ei välttämättä vaatinut vaihteiston käyttämistä vaan pelkkä havainnointi olisi riittänyt (esimerkiksi "kerro vaihteistokaavio"). Kaikki koehenkilöt käyttivät keppiä pääsääntöisesti kaikissa tehtävissä. Osa koehenkilöistä (neljä henkilöä) huomautti, ettei autossa ole kytkintä vaikka vaihdekeppi on manuaalinen. Ongelmia tehtävässä aiheutti lähinnä jäykästi toimiva fyysinen keppi, jonka takia vaihteiden vaihtaminen oli työlästä sekä se, etteivät koehenkilöt tieneet varmaksi milloin pyydetty/haluttu vaihde oli valittuna.

Kuviossa 15 on esitetty vaihteiston käsittelyyn liittyvä tyypillinen havaintojen ja toimintojen ketju oikeassa autossa. Oikeassa autossa vaihteistotehtävät sujuivat suoraviivaisesti. Koehenkilöt katsoivat vaihdekepin päästä millainen vaihteistokaavio on ja vaihtoivat sen mukaisesti oikean vaihteen. Oikeassa autossa oli joitain ongelmia vaihteiden vaihtamisessa. Muita erityisiä ongelmia ei ilmennyt.



Kuvio 15. Vaihteistotehtävä oikeassa autossa - puheprotokollien avulla rakennettu tyypillinen havaintojen ja toimintojen ketju.

## 4.2 Haastattelut

Koetilanteiden lopuksi suoritettua haastattelussa pyydettiin vapaamuotoisia kommentteja koehenkilöiden kokemuksista. Heitä pyydettiin mm. vertailemaan fyysisiä tuntemuksia, uppoutumistaan sekä kertomaan huomaamistaan eroista eri VR-ympäristöjen toteutustapojen välillä. Fyysisten tuntemusten osalta haastattelussa kävi ilmi, ettei näin lyhytaikainen VR-ympäristöjen käyttö aiheuttanut kenellekään mitään pahoinvointia tai vastaavaa. Osa totesi, että jos olisivat joutuneet pidempään toimimaan ympäristössä, niin olisivat sen voivan muodostua raskaaksi. Epämukavimpana fyysisesti koehenkilöt raportoivat 3D-lasien käyttämisen ja siinä erityisesti näön tarkkuuden ja tarpeen aika ajoin siirtellä silmiä näkökentän tarkentamiseksi. Lisäksi muutama kommentoi HMD-laitteen tuntuneen epämiellyttävältä käyttää pidempään.

Näön tarkkuus yleisesti aiheutti koehenkilöille ongelmia. Kaikkien kohdalla ilmeisesti HMD-laitteen näön tarkkuuden säätö ei ollut aivan kohdallaan ja se häiritsi heitä. Yksi ihminen kommentoi sen omituisuutta, ettei katseen vieminen lähemmäs auttanut tarkentamaan katseen kohteeseen; osa kommentoi luonnottomaksi 3D-lasien kanssa näkymän muuttumisen suhdetta pään liikkeisiin. Silmälaseja käytävillä ihmisillä oli vaikeuksia toimia mallissa puutteellisen

näön tarkkuuden kanssa. Samaa kommentoivat ne kaksi koehenkilöä, joilla oli ongelmia näön tarkkuudessa, mutta silmälasit olivat jääneet kotiin.

Kaikki koehenkilöt kokivat uppoutuneensa tehtävien suorittamiseen melko hyvin, osa erittäinkin hyvin. HMD-laitetta käytettäessä uppoutuminen kommentoitiin yleisesti hyväksi tai erittäin hyväksi. Mikäli HMD-laite oli ollut ensimmäisenä VR-ympäristön toteutustapana, niin jälkimmäisissä VR-ympäristön toteutustavoissa uppoutumista ei koettu yhtä vahvasti.

Ohjaimen käyttöä vuorovaikutustehtävissä ei pääsääntöisesti koettu luonnolliseksi. Osa piti sitä kömpelönä ja erityisesti jonkinlaista ohjaimen antamaa palautetta kaivattiin. Koehenkilöt kommentoivat hankalaksi havaita milloin painikkeen painaminen oikeasti vaikuttaisi johonkin, koska palautetta ei saanut mallin näkymästä eikä fyysisesti. Sen sijaan ympäristön reagointi koehenkilön toimintaan koettiin pääsääntöisesti reaaliaikaiseksi ja luonnolliseksi.

Lopuksi koehenkilöiltä kysyttiin mitä vaihtoehtoa he pitivät parhaana vaihtoehtona. Selkeästi eniten mainintoja saivat HMD-laite ja 2D-vaihtoehto. Uppoutumisen kannalta pidettiin parhaana HMD-laitetta ja näön tarkkuutta vaativissa mahdollisesti pitkäkestoisissa tehtävissä 2D-vaihtoehto oli mieleinen. 2D-vaihtoedon etuina mainittiin mm. laitteiston huomaamattomuus tehtäviä suoritettaessa.

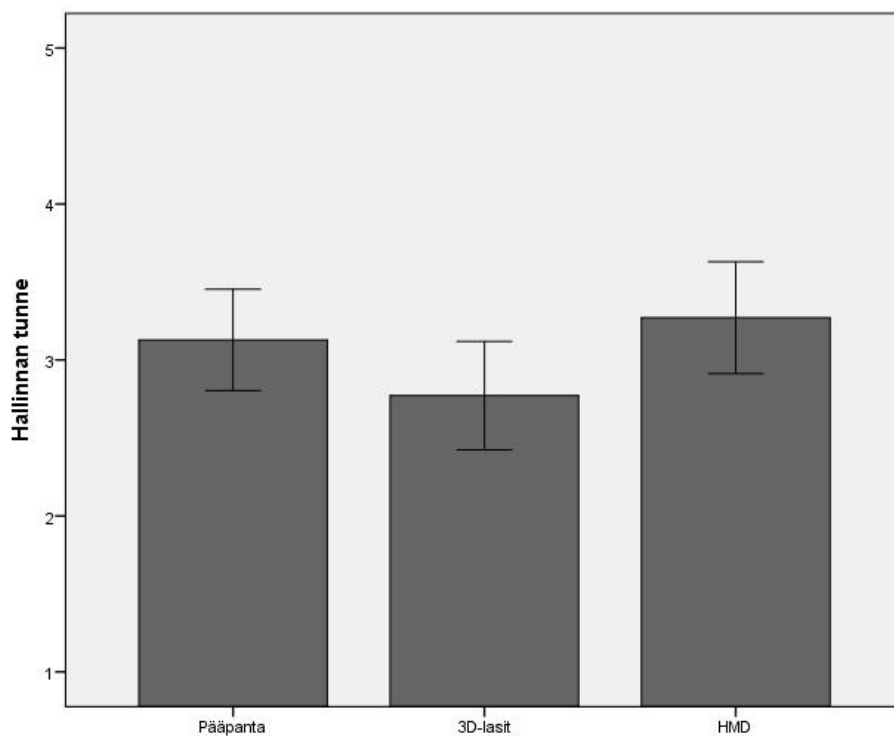
### 4.3 Läsnaolon ja hallinnan kokemus

Hallinnan tunteen summamuuttujan sisäinen konsistenssi kolmessa koeasetelmassa oli: pääpanta  $\alpha = .814$ , 3D-lasit  $\alpha = .695$  ja HMD-laite  $\alpha = .824$ . 3D-lasien tapauksessa viiden hallinnan tunnetta kuvaavan muuttujan konsistenssi oli hieman alle tavoitearvon, mutta tarpeeksi lähellä, jotta summamuuttuja voitiin rakentaa. Läsnaolon kokemuksen summamuuttujan sisäinen konsistenssi koeasetelmissä oli pääpanta  $\alpha = .768$ , 3D-lasit  $\alpha = .778$  ja HMD-laite  $\alpha = .905$ .

Hallinnan tunne vaihteli kolmen koeasetelman välillä tilastollisesti merkitsevästi,  $F(2, 26) = 5.576$ ,  $p = .010$ . Keskiarvot koeasetelmille olivat pääpanta 3.12 (SD = .54), 3D-lasit 2.76 (SD = .58) ja HMD-laite 3.27 (SD = .62). Läsnaolon kokemukselle koeasetelmien keskiarvot olivat pääpanta 3.06 (SD = .55), 3D-lasit 2.9 (SD = .57) ja HMD-laite 3.55 (SD = .76). Läsnaolon kokemuksen ero virtuaaliympäristön toteutustapojen kesken oli myös tilastollisesti merkitsevä,  $F(2, 28) = 9.501$ ,  $p = .001$ . Parivertailuille suoritettu post-hoc -testi (Bonferroni-korjaus) osoitti kummankin summamuuttujan tapauksessa, että ero HMD-laitteen ja muiden toteutustapojen välillä oli tilastollisesti merkitsevä. Ero pääpantaan ja 3D-lasien kanssa ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Tulokset vahvistettiin epäparametrisella Friedmanin testillä. Keskiarvojakaumat on kuvattu kuvioissa 16 ja 17.

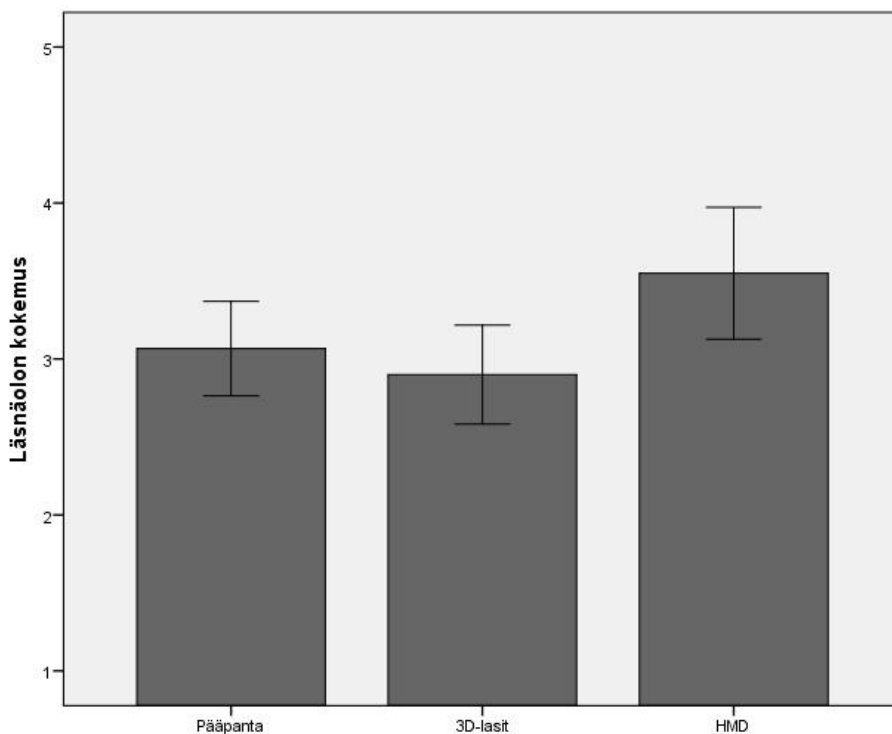
Läsnaolon kokemuksen havaittiin olevan yhteydessä kuultujen äänten luonnollisuuteen vain 3D-lasien avulla toteutetussa koeasetelmassa,  $\rho = .764$ ,  $p = .001$ . Kaksiulotteisessa, pääpantaan avulla toteutetussa ympäristössä korrelaatiota ei havaittu,  $\rho = .424$ ,  $p = .115$ , kuten ei myöskään HMD-laitteen koeasetel-

massa,  $\rho = .222$ ,  $p = .427$ . Toisin sanoen koehenkilöt kokivat äänten olevan yhteydessä VR-ympäristön immersiiivisyyteen ainoastaan 3D-lasien tapauksessa. Huomattavia keskiarvoeroja kuultujen äänten luonnollisuuden suhteen ei eri koeasetelmien välillä ollut.



Kuvio 16. Hallinnan tunteen summamuuttuja - keskiarvo kolmessa eri koeasetelmassa. Janat kuvaavat 95% luottamusväliä.





Kuvio 17. Läsnäolon kokemuksen summamuuttuja - keskiarvo kolmessa eri koeasetelmassa. Janat kuvaavat 95% luottamusväliä.

#### 4.4 Simulaattorisairaus

Simulaattorisairauskyselyn kysymyksiin annettiin hyvin vähän "ei lainkaan" -vaihtoehdosta poikkeavia vastauksia, mutta toisaalta jo pieni poikkeama esimerkiksi päänsäryssä on tulos, joka on syytä ottaa vakavasti. Simulaattorisairauskyselyn keskiarvot ja muutokset ovat taulukossa 4. Huomionarvoisissa tuloksissa on lisäksi merkitty, monellako koehenkilöllä muuttujan arvo nousi verrattuna ennen testejä täytettyyn lomakkeeseen. Muuttujien keskiarvoissa on vain pieniä eroja eri VR-ympäristön toteutustapojen välillä, mutta muuttujien pieniäkin yhdestä ("ei lainkaan") eroavia arvoja voidaan pitää VR-ympäristön testauskäytön kannalta kriittisinä.

Simulaattorisairautta kuvaava summamuuttuja laskettiin yhteen summaamalla epämiellyttävyyden tunne, päänsärky, silmäsärky, vaikeus fokusoida ja näön hämärtyminen. Summamuuttujien keskiarvot eri VR-ympäristöjen toteutustavan välillä on kuvattu kuvassa 18. Peräkkäisten mittausten varianssi-analyysi paljastaa keskiarvojen vaihtelun virtuaaliympäristön toteutustapojen välillä olevan tilastollisesti merkitsevä,  $F(3, 39) = 8.100, p < .001$ . Parivertailujen post-hoc -analyysi (Bonferroni-korjaus) osoitti, että pääpinnan ja 3D-lasien välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero. Muut erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.

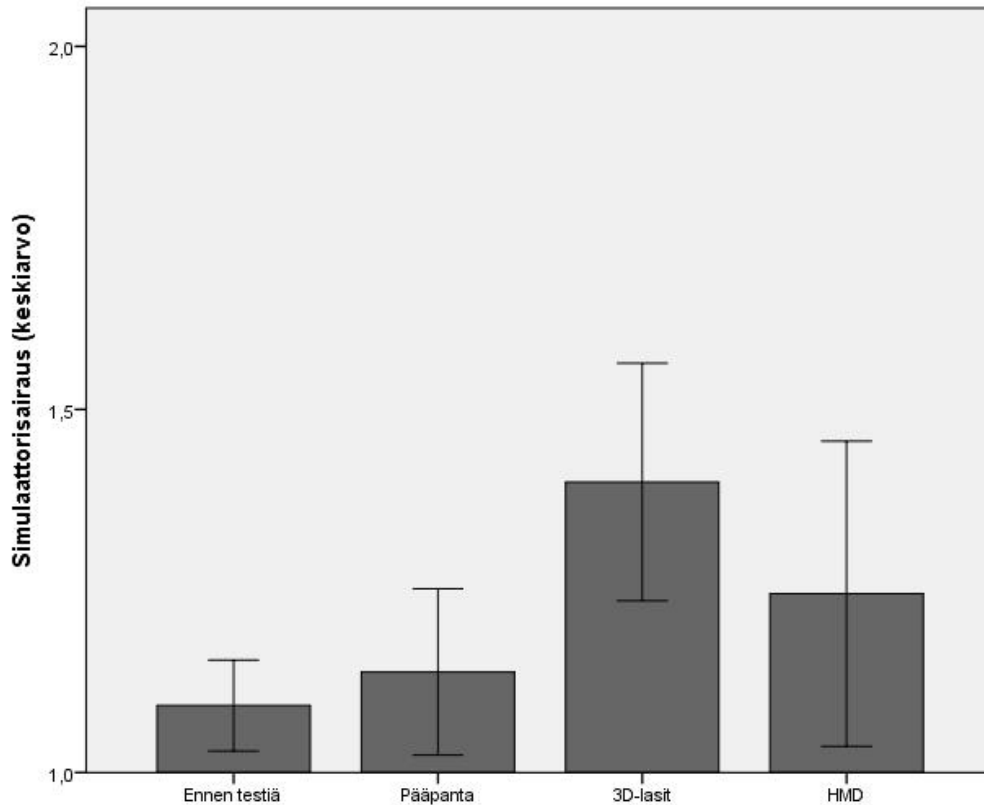
Voidaan siis hyväksyä hypoteesi siitä, että eri VR-ympäristön toteutustavat aiheuttavat erisuuruista, joskin poikkeuksetta vähäistä, simulaattorisairautta. Alin keskiarvo on pääpanta-ympäristössä (0.267, SD = 0.46, korkein 3D-lasien avulla toteutetussa ympäristössä (1.53, SD = 1.25). HMD-laitteen avulla toteutetun ympäristön simulaattorisairauden keskiarvo on pääpantaympäristön ja 3D-lasien avulla toteutetun ympäristön välissä (0.857, SD = 1.41). Keskiarvot on kuvattu taulukossa 4.

Taulukko 4. Simulaattorisairauskyselyn muuttujien keskiarvot - ennen testiä ja kolmessa VR-ympäristön toteutustavassa.

Kokemus	Pre	2D	3DL	HMD
Epämiellyttävän tunteen	1.00	1.13 (-0/+2)	1.60 (-0/+8)*	1.20 (-0/+3)
Väsymystä	1.80	1.40 (-6/+0)*	1.40 (-7/+1)	1.27 (-0/+3)
Päänsärkyä	1.07	1.00 (-1/+0)	1.07 (-1/+1)	1.13 (-1/+1)
Silmäsärkyä	1.07	1.07 (-1/+1)	1.27 (-1/+4)	1.21 (-1/+2)
Vaikeuksia fokuoita	1.33	1.40 (-3/+4)	1.60 (-2/+5)	1.36 (-2/+2)
Lisääntynyttä syljen eritystä	1.20	1.00 (-2/+0)	1.07 (-2/+1)	1.13 (-2/+1)
Pahoinvointia	1.00	1.00 (-0/+0)	1.07 (-0/+1)	1.00 (-0/+0)
Keskittymisvaikeuksia	1.20	1.13 (-2/+1)	1.27 (-1/+2)	1.20 (-1/+1)
Näön hämärtymistä	1.00	1.07 (-0/+1)	1.53 (-0/+6)	1.27 (+0/+3)
Huimausta (simät kiinni)	1.00	1.07 (-0/+1)	1.00 (-0/+0)	1.00 (-0/+0)
Huimausta (simät auki)	1.00	1.07 (-0/+1)	1.00 (-0/+0)	1.00 (-0/+0)

Pre = ennen testiä, 2D = Pääpanta, 3DL = 3D-lasit, HMD = HMD-laite, \* = ero on tilastollisesti merkitsevä,  $p < .017$ .

Keskiarvon jälkeinen sulussa oleva luku kertoo, kuinka monella koehenkilöllä muuttuja väheni tai kasvoi tässä toteutustavassa ennen testiä annetusta arvosta. Kolmen tai yli kasvu on vahvistettu. Simulaattorisairauden summamuuttujan viisi muuttujaa on vahvistettu. Summamuuttujan arvot on kuvattu kuviossa 18.



Kuvio 18. Simulaattorisairauden summamuuttuja - keskiarvo eri virtuaaliympäristön toteutustavoissa. Janat kuvaavat 95% luottamusväliä.

Muuttujan maksimi on 5, joten yhdessäkään toteutustavassa muuttuja ei saanut huomattavan suuria arvoja. Kuvaajasta voidaan kuitenkin tulkita, että 3D-lasit ja HMD-laite saattavat aiheuttaa joitakin lieviä simulaattorisairauden oireita lyhyelläkin käytöllä.

#### 4.5 Yleistuntemukset

Koehenkilöiden epävarmuutta ja levottomuutta kuvaavat muuttujat saivat vain vähän ”ei lainkaan” – vaihtoehdosta poikkeavia arvoja. Innostuneisuus puolestaan sai tyypillisen, hieman jakauman keskikohtaa suuremman arvon kullakin VR-ympäristön toteutustavalla. Taulukko 5 sisältää kolmen yleistuntemusta mittaavaan muuttujan keskiarvot sekä epävarmuuden ja levottomuuden kohdalla maininnan siitä, monellako koehenkilöllä tämä tuntemus laski verrattuna ennen testejä ilmoitettuun arvoon, ja innostuneisuuden osalta kuinka monella arvo nousi. Tuloksista nähdään, että hieman alle puolella koehenkilöistä testien tekeminen vähensi koettua epävarmuutta ja levottomuutta.

Taulukko 5. Kolmen kysytyn yleistuntemuksen keskiarvot - ennen testiä ja kolmessa VR-ympäristön toteutustavassa.

	Pre	2D	3DL	HMD
Epävarmuus	1.87	1.33 (-7)	1.47 (-6)	1.27 (-8)
Innostuneisuus	3.33	3.47 (+2)	3.40 (+4)	3.53 (+4)
Levottomuus	1.53	1.27 (-6)	1.40 (-4)	1.27 (-6)

Pre = ennen testiä, 2D = Pääpanta, 3DL = 3D-lasit, HMD = HMD-laite

Keskiarvon jälkeinen suluissa oleva numero kertoo, kuinka monella koehenkilöllä muuttuja kasvoi tai väheni tässä toteutustavassa ennen testiä annettua arvosta.

Yleistuntemusten suhdetta läsnäolon ja hallinnan tunteisiin tarkasteltiin epäparametrisella Spearman-korrelaatiolla ja havaittiin, että innostuneisuuden kokeminen on yhteydessä näiden muuttujien kanssa. Kaksiulotteisessa VR-ympäristön toteutustavassa innostuneisuus korreloi koetun läsnäolon kanssa,  $\rho = .600$ ,  $p = .018$ . 3D-laseilla innostuneisuus korreloi hallinnan tunteen ( $\rho = .588$ ,  $p = .021$ ) ja läsnäolon kokemuksen ( $\rho = .538$ ,  $p = .011$ ) kanssa. Vahvimmat korrelaatiot olivat HMD-laitteen avulla toteutetussa koeasetelmassa: innostuneisuus korreloi hallinnan tunteen ( $\rho = .638$ ,  $p = .014$ ) ja läsnäolon kokemuksen ( $\rho = .810$ ,  $p < .001$ ) kanssa. Tuloksista voidaan tehdä yleinen havainto: mitä innostuneemmaksi koehenkilö raportoi olonsa, sitä paremman hallinnan tunteen ja läsnäolon kokemuksen hän raportoi.

## 5 Johtopäätökset ja keskustelu

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää vastaavatko VR-ympäristössä muodostetut mentaaliset representaatiot oikeassa ympäristössä muodostettuja. Lisäksi haluttiin selvittää vaikuttaako VR-ympäristön toteutustapa henkilöiden kokemaan läsnäolon ja hallinnan tunteeseen ja simulaattorisairauden kokemiseen.

Tutkimuskysymyksenä oli *Soveltuuko VR-ympäristö käytettävyyystutkimukseen?* Kysymykseen lähdettiin hakemaan vastausta seuraavan proposition ja hypoteesien avulla.

(P<sub>1</sub>) Ihminen mieltää todellisuuden riittävän samalla tavoin VR-ympäristössä kuin todellisessa ympäristössä, jotta käytettävyytestaus on mahdollista.

(H<sub>1</sub>) VR-ympäristön virtuaalisuuden toteutustavalla on vaikutusta läsnäolon kokemukseen ja hallinnan tuntuun.

(H<sub>2</sub>) VR-ympäristön toteutustavalla on vaikutusta simulaattorisairaudesta kokemiseen.

(H<sub>3</sub>) VR-ympäristön toteutustavalla on vaikutusta yleisiin tunteisiin.

## 5.1 Mentaalisten representaatioiden vastaavuus todelliseen ympäristöön

Koehenkilöiden tuottamat verbaaliset protokollat VR-ympäristössä vaikuttaisivat tehtäväkohtaisten analyysien perusteella vastaavan melko hyvin oikeassa autossa tapahtunutta ongelmanratkaisua kuvaavia protokollia. Suurimmat erot näkyivät vuorovaikutustehtävissä, joita suorittaessaan koehenkilöt selkeästi pitivät tarpeellisena kertoa millä tavoin he pyrkivät valinnan tekemään. Koehenkilöt saattoivat sanoa esimerkiksi *"pitää katsoo näkykö se keppi"* tai *"tää tikku mikä ilmesty näkökenttään, mun sormi, se pysyy valkosena"*, kun taas oikeassa autossa kukaan ei viitannut mitenkään käsiensä käyttämiseen nappuloita painaessaan.

Sen sijaan havaintoja tehtäessä ilmaukset vastasivat hyvin toisiaan sekä VR-ympäristössä että oikeassa ympäristössä. VR-ympäristössä olevia painikkeita ja hallintalaitteita nimettiin vastaavasti kuin oikeassa autossa. Koehenkilöt puhuivat ratista, polkimista, pyyhkijän viiksestä, radion nappuloista ihan kuten oikeassakin autossa. Yhtenä mainittavana erona on se, että VR-ympäristössä läheskään kaikki koehenkilöt eivät havainneet tai huomanneet katsoa polkimia. Oikeassa autossa poljinten tarkastaminen liittyi olennaisesti vaihdekepin havainnointiin. VR-ympäristössä poljinten havaitsemiseen vaikutti mahdollisesti hankaluus orientoitua liikkumiseen sekä erityisesti pääpannan ja 3D-lasien kanssa puutteellinen tarkastelukulma. Tämänkaltaiseen ongelmaan olisi ehkä mahdollista vaikuttaa kunnollisella harjoitteluvaiheella VR-ympäristössä sekä laitteiston valinnalla vaadittuun tehtävään soveltuvaksi.

Toinen merkittävä ero havainnoinnissa oli se, että VR-ympäristössä monien toimintojen löytäminen perustui enemmän arvaamiseen tai aiempaan kokemukseen kuin varsinaiseen tarkkaan havaintoon kyseisestä toiminnosta. Useimpia toimintoja ja painikkeita ei ollut merkitty riittävän selvästi tai merkinnät näkyivät huonosti. Nämä seikat eivät mahdollistaneet varmoja havaintoja kaikista kohteista. Koehenkilöiden käyttöön ja reaktioihin vaikutti puutteellinen vuorovaikutus mallin kanssa. Vuorovaikutuksen laatuun vaikuttivat erityisesti mallin tekstien resoluution heikkous ja puuttuva palaute. Resoluution vaikutuksesta tehtävien suoritukseen on saatu viitteitä myös muissa tutkimuksissa (Ni, Bowman, & Chen, 2006). Koehenkilöiden toiminta VR-ympäristössä vastasi kokeiden aikana tehtyjen havaintojen mukaan hyvin oikeassa autossa tapahtunutta toimintaa. Erityisesti HMD-vaiheessa osa koehenkilöistä uppoutui todella voimakkaasti ympäristöönsä. Tämä näkyi mm. siten, että yritettiin kädellä painella ovesta olevia ikkunan avausnappeja, potkittiin renkaita ja koeteltiin kädellä takaikkunassa ollutta reikää.

Havaintojen mukaan VR-ympäristössä auton ulkopuolella suoritettavat tehtävät koettiin epäluonnollisimpina. Tähän vaikutti mm. se, että katselukulma 2D-vaiheessa ja 3D-laseilla jäi hyvin rajalliseksi. Havainnon perusteella on hyvä harkita huolellisesti millaisia liikkumista vaativia tehtäviä voidaan yli-

päänsä järkevästi suorittaa pääpannan ja 3D-lasien puutteellisen tarkastelualueen rajoittamina. Liikkumista vaativia tehtäviä voidaan varmasti suorittaa myös näillä laitteistoilla, mutta tehtävien asettelun ei pitäisi vaatia liikkumista sellaiseen asemaan, jossa katselukulma näytölle menetetään tai jää puutteelliseksi. Aiempien tutkimusten perusteella katselukulman laajuuden on todettu olevan yhteydessä ainakin läsnäolon tunteen kokemiseen VR-ympäristöissä (Péruch, May, & Wartenberg, 1997; Lin, Duh, Parker, Abi-Rached, & Furness, 2002), joten tähän asiaan on hyvä kiinnittää huomiota.

Virtuaaliautosta ulos astuminen aiheutti myös ongelmia ja siinä näkyi jonkun verran eroa oikeaan autoon. Useimmat koehenkilöt eivät osanneet luonnollisesti astua ulos autosta vaan yrittivät suorittaa ensimmäistä tehtävää sisältä käsin. VR-ympäristössä koehenkilöt eivät ensimmäisessä VR-ympäristön toteutustavassaan osanneet mieltää onko autosta yleensä mahdollista mennä ulos vai ei. Tällä havainnolla on vaikutuksia käytettävyytutkimusten suunnitteluun VR-ympäristöjä hyödyntäen, sillä jotkut käytettävyysongelmat voivat jäädä havaitsematta, jos koehenkilöt ajattelevat niiden olevan VR-ympäristön toteutuksen osia tai vaikutusta.

Kokeen tulosten ja havaintojen perusteella VR-ympäristö näyttäisi soveltuvan käytettävyytestauksiin. Useat koehenkilöt huomasivat epäohdonmukaisuuksia VR-ympäristön toiminnoissa, kuten esimerkiksi puuttuvan kytkimen ja manuaalivaihteiston kepin. Mikäli radion toimintoja olisi ollut enemmän käytettävissä radiotehtävässä ja palautetta virheellisistä painikkeiden valinnoista olisi ollut saatavilla, on oletettavaa että henkilöt olisivat havainneet saman ongelman kuin oikean auton tehtävässä – kaiutinten kuuluvuuden säätö ei ollut kovinkaan helppo löytää.

Käyttäjien VR-ympäristössä tuottamat puheprotokollat näyttivät vastavan hyvin oikeassa autossa muodostuneita. Koska puheprotokollat kertovat henkilön työmuistin sisällöstä (Ericsson & Simon, 1993), joka sisältää mentaalisia representaatioita erilaisten asioiden hahmottamiseksi ja ongelman ratkaisun välineiksi (Newell & Simon, 1972), voidaan olettaa, että henkilöiden muodostamat tietorepresentaatiot VR-ympäristössä vastasivat riittävällä tasolla oikeassa autossa muodostuneita. Lisäksi koehenkilöiden toiminta oli havaintojen perusteella hyvin samanlaista VR-ympäristössä ja oikeassa ympäristössä. Tämän perusteella voidaan ajatella käytettävän VR-ympäristöä todellisen maailman asioiden käytettävyytutkimuksen välineenä.

Suurimmat erot olivat vuorovaikutustehtävissä, joten vuorovaikutustapaan ja koehenkilön saamaan palautteeseen oikeista ja vääristä valinnoista on syytä kiinnittää huomiota. Palaute voi olla visuaalinen, haptinen tai yksinkertaisimmillaan kokeen ohjaajan kertoma. Vuorovaikutustavan tulisi olla mahdollisimman luonnollinen ja vastata toimintaa vastaavassa oikeassa ympäristössä. Jos koehenkilön joutuu keskittymään vuorovaikutusvälineen käyttämiseen varsinaisen mallinnetun ympäristön käyttämisen sijasta, se voi johtaa virheellisiin tuloksiin käytettävyyden osalta – käytettävyys voidaan kokea huonona, jos vuorovaikutusmenetelmä on kömpelö.

Useimmat koehenkilöt olivat kokemuksistaan vaikuttuneita ja hämmästyneitä koeympäristön todenmukaisuudesta. Joillekin henkilöille vaikuttavin hetki oli poistuminen virtuaaliautosta ja havainto, että ympäristössä voi myös liikkua. Tämä oli havaittavissa erityisesti HMD-laitetta käytettäessä, mutta jossain määrin myös muissa vaiheissa. Joillekin koehenkilöille vaikuttavinta oli havainto, että ympäristö oikeasti reagoi heidän liikkeisiinsä ja esimerkiksi HMD-laitteella voi katsella ympäristössä joka suuntaan, myös taakse. Koehenkilöiden vaikuttuneisuus ympäristön toteutuksesta antaa viitteitä siitä, että ympäristöä pidettiin pääsääntöisesti yllättävän todenmukaisena ja aitona. Toisaalta, tällä voi myös olla sellaisia vaikutuksia, että henkilöt hyväksyvät kohtaamiaan ongelmia helpommin, koska ovat kokemuksensa lumoissa. Aiemmissa tutkimuksissa lumoutumisen vaikutuksia tutkimustuloksiin on pyritty vähentämään esimerkiksi valitsemalla koehenkilöiksi sellaisia henkilöitä, joilla on ennestään kokemusta VR-ympäristöissä toimimisesta (Looser, Billingham, Grasset & Cockburn, 2007). Toisena keinona on käytetty koeasetelmaan lisättyä erillistä harjoitteluosiota, jossa tutustetaan koehenkilöt VR-ympäristöön ennen varsinaista koetta. Tällä olisi mahdollista pienentää lumoutumisen vaikutusta suoritukseen varsinaisen kokeen aikana. (McMahan, Bowman, Zielinski & Brady, 2012.)

## 5.2 VR-ympäristön toteutustavan vaikutukset läsnäolon ja hallinnan kokemukseen

Läsnäolon ja hallinnan tuntemuksia kuvaavien summamuuttujien keskiarvot jäivät kaikissa koeasetelmissa suunnilleen skaalan keskipisteeseen, 3.0:n lähetyville. Tutkimuksen perusteella ei voida kuitenkaan asettaa mitään tavoitearvoja, sillä tätä skaalaa ei ole käytetty muissa tutkimuksissa. Lisäksi tulee huomioida mahdollisuus, että myönteinen ja mielenkiintoinen kokemus VR-ympäristössä toimimisesta saattoi vaikuttaa tuloksiin nostavasti. Läsnäolon kokemuksessa ja hallinnan tunteessa oli kuitenkin VR-ympäristöjen toteutustapojen välillä tilastollisesti merkitsevä ero. Tutkimustuloksissa havaittiin innostuneisuuden kasvua kokeen edetessä, joten innostuneisuudella voi olla vaikutusta raportoituun läsnäolon kokemukseen ja hallinnan tunteeseen. Innostuneisuuden kasvu on sinänsä myönteistä, mutta negatiivisena puolena käytettävyydestä kannalta voi olla käytettävyysohjelmien hyväksyminen ja huomaamatta jääminen, koska koehenkilö on niin innostunut VR-ympäristössä toimimisesta.

Tulos, jonka mukaan VR-ympäristön toteutustapa vaikutti läsnäolon kokemukseen, on myönteinen, mutta se kannustaa myös tekemään lisää työtä VR-ympäristöön uppoutumisen ja hallittavuuden parantamiseksi. Summamuuttujien konsistenssi oli riittävän hyvä kaikissa kolmessa koeasetelmassa, ja vaikka konsistenssierojen vertailusta eri koeasetelmien kesken ei kannata tehdä liian pitkälle vietyjä johtopäätöksiä, voidaan havaita että erityisesti 3D-lasit aiheuttivat koehenkilöille vaikeuksia muodostaa yhtenevä kuva hallinnan tunteesta.

Toisaalta HMD-laitteen käytön jälkeen koehenkilöillä oli hyvin yhtenevä ja luotettava kokemus sekä hallinnan tunteesta että läsnäolon kokemuksesta.

Summamuuttujien keskiarvosta havaitaan, että sekä hallinnan tunne että läsnäolon kokemus ovat korkeimmillaan HMD-laitetta käytettäessä ja matalimmillaan 3D-laseja käytettäessä. Tulos on yhtenevä koehenkilöiden haastattelussa antaman suullisen palautteen kanssa. Tulosten perusteella ei kuitenkaan voi yksiselitteisesti suositella HMD-laitteen käyttöä pääpinnan sijaan, sillä hallinnan tunteen keskiarvot olivat molemmissa koeasetelmissä lähes samat. Lisäksi vaikka läsnäolon kokemus oli suurempi HMD-laitetta käytettäessä, ei tämä yksin riitä perusteluksi käyttää HMD-laitetta pääpinnan sijaan. Sen sijaan 3D-lasit eivät näillä mittareilla mitattuna saa tuloksia, jotka puhuisivat niiden käytön puolesta.

VR-ympäristön äänen luonnollisuutta mittaava kokemusmuuttuja ei vaihdellut eri koeasetelmien välillä, mutta sen yhteys immersion kokemiseen oli havaittavissa vain 3D-lasein toteutetussa VR-ympäristössä. Jää toistaiseksi selvittämättömäksi, miksi äänen positiivinen yhteys läsnäolon kokemukseen koettiin ainoastaan laseja käytettäessä. Mahdollisena syynä tähän voisi olla, että koehenkilöt kokivat äänen parantavan 3D-lasien käytön heikentämää immersion. Tätä havaintoa tukee mm. Dinh ym. (1999) tutkimus, jonka mukaan VR-ympäristön äänet lisäsivät läsnäolon tunnetta, mikäli VR-ympäristön kuvallinen esitys oli heikkolaatuinen. Tulevaisuudessa on kuitenkin suositeltavaa pohdita äänen merkitystä osana käytettävyydestä: pyritäänkö ympäristön todentuntuisuuden lisäämiseen taustääniä luomalla, vai hyödynnetäänkö ääniä käyttäjän tekemien toimintojen kuten ympäristön manipuloinnin korostamiseksi.

### 5.3 Simulaattorisairaus

Simulaattorisairautta kuvaavat muuttujat saivat varsin pieniä arvoja, mikä jo osaltaan puhuu nykyisen VR-ympäristötekniikan kypsytyksen puolesta. Toisaalta pieniäkin vaihteluita voidaan pitää ongelmallisina. Voidaanko esimerkiksi epämiellyttävyyden tunnetta tai keskittymisvaikeuksia hyväksyä lainkaan hyvässä koeasetelmassa? Tällä kysymyksellä on merkitystä sille, kuinka oleellisina VR-ympäristön käytön kannalta tutkimuksessa ilmenneitä simulaattorisairautta koskevia tuloksia voi pitää. Lisäksi täytyy miettiä eettiseltä kannalta voidaanko koetilanteessa ylipäänsä sallia simulaattorisairauden kaltaisten oireiden aiheuttamista. Koska liikkuminen lisää aistinvaraisen palautteen epäyhtenäisyyttä ja siksi liikkuminen VR-ympäristössä voi olla mahdollinen simulaattorisairauden lähde (Howarth & Costello, 1997), pitää huolellisesti harkita millaisia liikkumismenetelmiä VR-ympäristöön rakennetaan ja miten niiden tuottamia negatiivisia tuntemuksia olisi mahdollista vähentää.

Voidaan tulkita, että kukin VR-ympäristön toteutustapa läpäisee simulaattorisairauttestin. Toisaalta voidaan väittää, että erityisesti 3D-lasit, mutta pienessä määrin myös HMD-laite, saattavat aiheuttaa koehenkilöissä koeasetelmaa häiritseviä ja koehenkilön oikeuksia loukkaavia tuntemuksia. Joka tapauksessa



käytetyn simulaattorisairausmittariston voidaan huomata antavan tuloksia siitä, mitkä ovat erityisesti huomionarvoisia seikkoja VR-ympäristön toteutusta mietittäessä.

Seuraavien tuntemusten esitetään tutkimuksen valossa olevan VR-ympäristön käytön kannalta keskeisiä, ja mitä tahansa VR-ympäristöjä hyödyntävää tutkimusta suunniteltaessa on vastattava kahteen kysymykseen: (1) onko näiden tuntemusten kokemisesta erityistä haittaa tutkimukselle? ja (2) onko koeasetelmassa jotain, joka saattaisi lisätä näiden muuttujien aktivoitumista tai vaikutusta?

- Epämiellyttävyyden tunne
- Päänsärky
- Silmänsärky
- Vaikeus fokuoita
- Näön hämärtyminen.

## 5.4 Yhteenveto

Virtuaalitodellisuusympäristöön mallinnetussa autossa järjestetyt kokeet onnistuivat pääsääntöisesti hyvin ja antoivat mielenkiintoista havainnointiaineistoa virtuaalitodellisuusympäristön käyttöön liittyvistä seikoista. Koehenkilöt uppoutuivat havaintojen perusteella tehtävien tekemiseen hyvin kaikissa virtuaalitodellisuusympäristön toteutustavoissa (kaksiulotteinen, 3D-laseilla ja 3D-kypärällä), joskin HMD-laite koettiin selkeästi luonnollisimmaksi vaihtoehdoksi. Luonnollisuuteen vaikutti koehenkilöiden haastattelukommenttien perusteella näkymän luonnollisuus ja HMD-laitteen mahdollistama olo ikään kuin mallin sisällä. Sen sijaan vuorovaikutustapaa ohjainlaitetta käyttäen ei koettu kovinkaan luonnolliseksi. Suurimpana puutteena ohjaimen käytössä pidettiin sen vaikeaa hallittavuutta ja palautteen puutetta. Koehenkilöt olisivat kaivanneet palautetta joko virtuaaliauton näyttöön tai sitten fyysistä palautetta ohjaimesta itsestään. Palautteen puuttuminen aiheuttaa helposti turhautumista koehenkilöissä ja voi vaikuttaa tutkimustuloksiin. Koeasetelmia suunniteltaessa on hyvä muistaa, että jonkinlainen palaute oikeista ja vääristä valinnoista on syytä antaa – yksinkertaisimmillaan se voi olla kokeen johtajan kommentti.

Koehenkilöiden puheprotokollat eivät merkittävässä määrin eronneet oikean auton puheprotokollista. Pyydettyjen tehtävien suorittaminen tapahtui hyvin samaan tapaan molemmissa tapauksissa. Suurimmat erot olivat ehkä siinä, että virtuaalitodellisuusympäristössä koehenkilöt kokivat tarpeellisena kuvata toimintaansa tarkasti silloin, kun yrittivät valita jotain painikkeita eli käyttää ohjainta. Oikeassa autossa vastaavaa ei ollut vaan painikkeita painettiin sen kummemmin kommentoimatta miten se tehdään. Havainnon perusteella voidaan olettaa, että henkilöiden muodostamat mentaaliset representaatiot virtuaalitodellisuusympäristössä ovat riittävän yhteneviä todellisen maailman kanssa, jotta todellisen maailman asioita voidaan testata virtuaalitodellisuusympäristössä käyttäen.

Tässä tutkimuksessa koehenkilöt eivät juuri liikkuneet virtuaalitodellisuusympäristössä. Yhtenä ratkaistavana seikkana virtuaalitodellisuusympäristöjen hyödynnettävyydessä käytettävyydestä tutkimuksiin on liikkumisen vaikutus simulaattorisairaudesta kokemukseen. On oletettavaa, että isommalla alueella liikkuminen voi aiheuttaa enemmän oireilua kuin toiminta, jossa ollaan pääsääntöisesti paikallaan. Nykyiset virtuaalitodellisuusympäristöt mahdollistavat jo erilaiset liikkumistavat, mutta pitää tarkoin selvittää millainen liikkumismenetelmä on sopivin käytettäväksi.

Tutkimuksessa käytettyjen numeeristen mittareiden, kuten läsnäolon kokemuksesta, hallinnan tunnetta ja simulaattorisairautta mittaavien asteikkojen, havaittiin kykenevän luotettavasti mittaamaan vuorovaikutuksen toimivuutta. Koeasetelmien keskinäisen vertailun perusteella voidaan mittarien avulla päätellä, että erityisesti pääpannallinen 2D-ympäristö sekä HMD-laitteen avulla toteutettu 3D-ympäristö mahdollistavat virtuaalitodellisuusympäristön, jossa käyttäjä kokee läsnäoloa ja hallinnan tunnetta. Simulaattorisairauskyselyn perusteella yksikään virtuaalitodellisuusympäristön toteutustavoista ei aiheuttanut hyväksyttävyyden rajan ylittäviä simulaattorisairausoireita, joskin 3D-lasien hieman muita virtuaalitodellisuusympäristön toteutustapoja suurempaa simulaattorisairausarvoa voidaan pitää mahdollisena ongelmana.

Tutkimuksen perusteella voidaan väittää, että nykyinen teknologia virtuaalitodellisuusympäristöjen toteutukseen mahdollistaa riittävän todellisen tunteisen ympäristön, jotta tiettyjä käytettävyyden- ja käyttäjäkokemuskysymyksiä voidaan tutkia testatun kaltaisen virtuaalitodellisuusympäristön kanssa. Koska koehenkilöiden muodostamat sisäiset mallit ja käsitteet virtuaalitodellisuusympäristössä vastasivat testeissä hyvin todellisen ympäristön vastaavankaltaisia mentaalisia representaatioita ja koska koehenkilöiden subjektiiviset hallinnan ja läsnäolon kokemukset olivat riittävällä tasolla, voidaan virtuaalitodellisuusympäristöihin suhtautua myönteisenä lisänä ihmisen ja teknologian vuorovaikutuksen tutkimukseen.

## LÄHTEET

- Bishop, I. D. & Stock, C. (2010). *Using collaborative virtual environments to plan wind energy installations*. *Renewable energy*, 35(10), 2348-2355.
- Bornstein, B. H. (1999). *The Ecological Validity of Jury Simulations: Is the Jury Still Out?* Faculty Publications, Department of Psychology. Paper 164.
- Çetin, A. (2012). *3D Web based learning of medical equipments employed in intensive care units*. *Journal of Medical Systems*, 36(1), 167-174.
- Chen, J. L., & Stanney, K. M. (1999). *A theoretical model of wayfinding in virtual environments: proposed strategies for navigational aiding*. *Presence*, 8(6), 671-685.
- Covaci, A., Postelnicu, C., Panfir, A. N., & Talaba, D. (2012). *A Virtual Reality Simulator for Basketball Free-Throw Skills Development*. *Technological Innovation for Value Creation*. Springer Berlin Heidelberg, 105-112.
- Dalgarno, B., & Lee, M. J. (2010). *What are the learning affordances of 3 - D virtual environments?*. *British Journal of Educational Technology*, 41(1), 10-32.
- Dinh, H. Q., Walker, N., Hodges, L. F., Song, C., & Kobayashi, A. (1999). *Evaluating the importance of multi-sensory input on memory and the sense of presence in virtual environments*. In *Virtual Reality, 1999. Proceedings.*, IEEE (pp. 222-228). IEEE.
- Dubois, E., Nedel, L.P., Freitas, C, & Jacon, L. (2005). *Beyond user experimentation: notational-based systematic evaluation of interaction techniques in virtual reality environments*. *Virtual Reality* 8: 118-128.
- Elmqvist, N., Tudoreanu, M. E., & Tsigas, P. (2008). *Evaluating motion constraints for 3D wayfinding in immersive and desktop virtual environments*. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1769-1778). ACM.
- Ericsson, K., Simon, H. (1993). *Protocol Analysis*. Massachusetts Institute of Technology.
- Gilson, S., Glennerster, A. (2012). *High Fidelity Immersive Virtual Reality*. *Virtual Reality - Human Computer Interaction*, Dr. Tang Xinxing (Ed.), ISBN: 978-953-51-0721-7, InTech, DOI: 10.5772/50655. Saatavilla osoitteesta: <http://www.intechopen.com/books/virtual-reality-human-computer-interaction/high-fidelity-immersive-virtual-reality>
- Graafland, M., Schraagen, J. M., & Schijven, M. P. (2012). *Systematic review of serious games for medical education and surgical skills training*. *British Journal of Surgery*, 99(10), 1322-1330.
- Howarth, P. A., & Costello, P. J. (1997). *The occurrence of virtual simulation sickness symptoms when an HMD was used as a personal viewing system*. *Displays*, 18(2), 107-116.

- Jin, S. A. A. (2009). *Avatars mirroring the actual self versus projecting the ideal self: The effects of self-priming on interactivity and immersion in an exergame, Wii Fit*. *CyberPsychology & Behavior*, 12(6), 761-765.
- Kennedy, R. S., Lane, N. E, Berbaum, K. S., & Lillenthal, M.G. (1993). *Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness*. *The international journal of aviation psychology*, 3(3). 203—220.
- Kilmon, C. A., Brown, L., Ghosh, S., & Mikitiuk, A. (2010). *Immersive virtual reality simulations in nursing education*. *Nursing Education Perspectives*, 31(5), 314-317.
- Kolasinski, E. M. (1995). *Simulator sickness in virtual environments. Technical Report*. U.S. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences.
- Limniou, M., Roberts, D., & Papadopoulos, N. (2008). *Full immersive virtual environment CAVE in chemistry education*. *Computers & Education*, 51(2), 584-593.
- Lin, J. W., Duh, H. B., Parker, D. E., Abi-Rached, H., & Furness, T. A. (2002). *Effects of field of view on presence, enjoyment, memory, and simulator sickness in a virtual environment*. In *Virtual Reality, 2002. Proceedings. IEEE* (pp. 164-171). IEEE.
- Lewis, C. H., & Griffin, M. J. (1997). *Human factors consideration in clinical applications of virtual reality*. *Studies in Health Technology and Informatics*, 35-58.
- Loomis, J. M., Blascovich, J. J., & Beall, A. C. (1999). *Immersive virtual environment technology as a basic research tool in psychology*. *Behavior Research Methods* 31(4). 557–564.
- Looser, J., Billinghamurst, M., Grasset, R., & Cockburn, A. (2007). *An evaluation of virtual lenses for object selection in augmented reality*. In *Proceedings of the 5th international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australia and Southeast Asia* (pp. 203-210). ACM.
- Matthien, M. (2010). *Two visual systems and the feeling of presence*. In Gangopadhyay, N., Madary, M., & Spicer, F. (eds.) *Perception, Action, and Consciousness* (pp. 107–124). Oxford: Oxford University Press.
- McMahan, R. P., Bowman, D. A., Zielinski, D. J., & Brady, R. B. (2012). *Evaluating display fidelity and interaction fidelity in a virtual reality game*. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, 18 (4), 626-633.
- Murphy, D., & Neff, F. (2011). *Spatial sound for computer games and virtual reality*. Grimshaw, M. ed., 2011. *Game Sound Technology and Player Interaction: Concepts and Developments*. Hershey PA: Information Science Reference. *Computers, Environment and Urban Systems*, 34(4), 291-298.
- Newell, A. (1994). *Unified theories of cognition*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- Ni, T., Bowman, D. A., & Chen, J. (2006, June). *Increased display size and resolution improve task performance in Information-Rich Virtual Environments*. In

- Proceedings of Graphics Interface 2006 (pp. 139-146). Canadian Information Processing Society.
- Nielsen, J. (1993). *Usability Engineering*. San Diego: Academic Press.
- Nordahl, R., Serafin, S., & Turchet, L. (2010). *Sound synthesis and evaluation of interactive footsteps for virtual reality applications*. In Virtual Reality Conference (VR), 2010 IEEE (pp. 147-153). IEEE.
- Okamura, A. M. (2009). *Haptic feedback in robot-assisted minimally invasive surgery*. *Current opinion in urology*, 19(1), 102.
- Péruch, P., May, M., & Wartenberg, F. (1997). *Homing in virtual environments: Effects of field of view and path layout*. PERCEPTION-LONDON-, 26, 301-312.
- Poupyrev, I., Ichikawa, T., Weghorst, S., & Billinghamurst, M. (1998). *Egocentric object manipulation in virtual environments: empirical evaluation of interaction techniques*. Computer Graphics Forum. Vol. 17. No. 3. Blackwell Publishers Ltd, 1998.
- Saariluoma, P. (2004). *Käyttäjäpsykologia – ihmisen ja koneen vuorovaikutuksen uusi ajattelutapa*. WSOY.
- Santos, B. S., Dias, P., Pimentel, A., Baggerman, J. W., Ferreira, C., Silva, S., & Madeira, J. (2009). *Head-mounted display versus desktop for 3D navigation in virtual reality: a user study*. *Multimedia Tools and Applications*, 41(1), 161-181.
- Schroder, R (2008). *Defining virtual worlds and virtual environments*. *Journal of Virtual Worlds Research* 1(1).
- Schubert, T., & Crusius, J. (2002). *Five Theses on the Book Problem: Presence in Books, Film and VR*. In PRESENCE 2002-Proceedings of the fifth international workshop on Presence (53-59). Porto, Portugal: Universidad Fernando Pessoa.
- Sherman, W. & Craig, A. (2003). *Understanding Virtual Reality: Interface, Application, an Design*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.
- Shibata, T. (2002). *Head mounted displays*. *Displays* 23, 57-64.
- Slater, M. (1999). *Measuring presence: A response to the Witmer and Singer presence questionnaire*. *Presence* 8(5). 560–565.
- Slater, M., Usoh, M., & Steed, A. (1994). *Depth of presence in virtual environments*. *Presence*, 3(2), 130-144.
- Stanney, K., & Salvendy, G. (1998). *Aftereffects and sense of presence in virtual environments: formulation of a research and development agenda*. *International Journal of Human-Computer Interaction* 10(2). 135–187.
- Stanney, K., Mollaghasemi, M., Reeves, L., Breauxb, R., & Graeber, D. (2003). *Usability engineering of virtual environments (VEs): identifying multiple criteria that drive effective VE system design*. *Int. J. Human-Computer Studies*. 58 (2003) 447-481.
- Tesfazgi, S. H. (2003). *Survey on behavioral observation methods in virtual environments*.
- Thagard, P. (2005). *Introduction to cognitive science*. Toinen painos. Massachusetts Institute of Technology.

- Van Den Haak, M. J., De Jong, M., & Schellens P. (2003) *Retrospective vs. concurrent think-aloud protocols: testing usability of an online library catalogue*. Behaviour & Information Technology 22, No 5, 339-352.
- Van Someren, M. W., Barnard, Y. F., & Sandberg, J. A. (1994). *The think aloud method: A practical guide to modelling cognitive processes*. London: Academic Press.
- Witmer, B. G., Bailey, J. H., Knerr, B. W., & Parsons, K. C. (1996). *Virtual spaces and real world places: transfer of route knowledge*. International Journal of Human-Computer Studies, 45(4), 413-428.
- Witmer, B., & Singer, M. J. (1998). *Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire*. Presence 7(3). 225–240.
- Wu, H., He, Z., & Gong, J. (2010). *A virtual globe-based 3D visualization and interactive framework for public participation in urban planning processes*.
- Zhao, T., McDonald, S., & Edwards, H. M. (2012). *The impact of two different think-aloud instructions in a usability test: a case of just following orders?*. Behaviour & Information Technology, (ahead-of-print), 1-21.

## LIITE 1 TAUSTATIETOLOMAKE

Pyydämme sinua vastaamaan seuraaviin taustatietokysymyksiin.

1. Ikä: \_\_\_\_ vuotta
2. Sukupuoli (ympyröi oikea):        Mies / Nainen
3. Ajokorttiluokka:
  - 1 = Moottoripyörä
  - 2 = Henkilöauto
  - 3 = Kuorma-auto
  - 4 = Rekka-auto
  - 5 = ei ajokorttia
4. Käytän autoa:
  - 1 = Päivittäin
  - 2 = Viikoittain
  - 3 = Pari kertaa kuussa
  - 4 = Harvemmin
5. Tietotekniikan käyttötaidoilta olen mielestäni (ympyröi parhaiten vastaava arvo):
  - 1 = Aloittelija
  - 2 = Keskiaverto-osaaja
  - 3 = Edistynyt käyttäjä
  - 4 = Asiantuntija
6. Olen käyttänyt 3D-virtuaaliympäristöä:
  - 1 = Ei
  - 2 = Kyllä

7. Katson 3D-elokuvia teatterissa/televisiosta (ympyröi parhaiten vastaava arvo):

- 1 = Päivittäin
- 2 = Viikoittain
- 3 = Kerran kuukaudessa
- 4 = Joitakin kertoja vuodessa
- 5 = En ole koskaan katsonut

8. Olen pelannut tietokone- ja/tai konsolipelejä, joissa on kolmiulotteinen maailma (esimerkiksi *First person shooter*, simulaattoripelit; ympyröi parhaiten vastaava arvo):

- 1 = Päivittäin
- 2 = Viikoittain
- 3 = Kerran kuukaudessa
- 4 = Joitakin kertoja vuodessa
- 5 = En ole koskaan pelannut

<i>Teknologian käyttäjänä olen ...</i>	En lainkaan	Vähän	Jonkin verran	Paljon	Erittäin paljon
9. motivoitunut	1	2	3	4	5
10. järkiperäinen	1	2	3	4	5

Tuntemukset ennen testiä

Pyydämme sinua vastaamaan seuraaviin tunnetilojasi koskeviin väittämiin asteikolla 1 = en lainkaan, 2 = vähän, 3 = jonkin verran, 4 = paljon, 5 = erittäin paljon (ympyröi parhaiten vastaava arvo).

<i>Tunnen oloni tällä hetkellä ...</i>	En lainkaan	Vähän	Jonkin verran	Paljon	Erittäin paljon
11. epävarmaksi	1	2	3	4	5
12. innostuneeksi	1	2	3	4	5
13. levottomaksi	1	2	3	4	5

<i>Ennen testiä tunnen ...</i>	En lainkaan	Vähän	Jonkin verran	Paljon	Erittäin paljon
14. yleisen epämiellyttävän tunteen	1	2	3	4	5



15. väsymystä	1	2	3	4	5
16. päänsärkyä	1	2	3	4	5
17. silmänsärkyä	1	2	3	4	5
18. vaikeuksia foku-soitua	1	2	3	4	5
19. lisääntynyttä syljen eritystä	1	2	3	4	5
20. pahoinvointia	1	2	3	4	5
21. keskittymisvaikeuksia	1	2	3	4	5
22. näön hämärtymistä	1	2	3	4	5
23. huimausta (sil-mät suljettu-na)	1	2	3	4	5
24. huimausta (sil-mät auki)	1	2	3	4	5

## LIITE 2 KOEHENKILÖILLE ESITETYT TEHTÄVÄT

### 1. Tehtävät ensimmäisessä asetelmassa

- a. Nimeä kaikki havaitsemasi hallintalaitteet.
- b. Sinulla on tarve tietää paljonko autolla on ajettu.
- c. Sinulla on tarve tietää tarvitseeko auto tankata.
- d. Sinulla on tarve tietää miten vaihteisto toimii.
- e. Laita pakki päälle.
- f. Sinulla on tarve selvittää toimivatko kaikki kaiuttimet.
- g. Sinulla on tarve tietää mikä radiokanava kuuluu.
- h. Sinulla on tarve tietää onko autossa lommoja kuljettajan puolella (etuovessa, takaovessa, muut esitettävät vaihtoehdot riippuvat koeasetelmasta)
- i. Sinulla on tarve tietää ovatko renkaat täynnä

### 2. Tehtävät toisessa asetelmassa

- a. Nimeä kaikki havaitsemasi hallintalaitteet.
- b. Sinulla on tarve tietää mistä auton lasinpyyhkijät toimivat.
- c. Sinulla on tarve selvittää valojen säätölaitteisto.
- d. Sinulla on tarve selvittää toimivatko kaikki kaiuttimet.
- e. Sinulla on tarve tietää miltä taajuudelta valittu kanava kuuluu.
- f. Sinulla on tarve selvittää mitä on mahdollista säätää ratin näppäimistä.
- g. Laita suurin vaihde päälle.
- h. Sinulla on tarve tietää onko vilkun sivuvalo ehjä
- i. Sinulla on tarve tietää onko autossa ruostetta kuljettajan puolella

### 3. Tehtävät kolmannessa asetelmassa

- a. Nimeä kaikki havaitsemasi hallintalaitteet.
- b. Sinulla on tarve tietää onko autossa säädettävä penkinlämmitin (lämmön voimakkuutta voi säätää).
- c. Sinulla on tarve tietää mistä voit avata kuljettajan ikkunan.
- d. Kerro missä mikäkin vaihde sijaitsee.
- e. Sinulla on tarve selvittää toimivatko kaikki kaiuttimet.
- f. Sinulla on tarve vaihtaa radiokanavaa.
- g. Laita pienin vaihde päälle.
- h. Sinulla on tarve tietää millaiset vanteet autossa on
- i. Sinulla on tarve tietää ovatko kuljettajan puoleinen takaikkuna eh-  
jä

## LIITE 3 SIMULAATTORISAIRAUSKYSELY

<i>Havaitsin ...</i>	En lainkaan	V ähän	Jo nkin verran	P aljon	E rittäin paljon
25. yleisen epämiellyttävän tun- teen	1	2	3	4	5
26. väsymystä	1	2	3	4	5
27. päänsärkyä	1	2	3	4	5
28. silmänsärkyä	1	2	3	4	5
29. vaikeuksia fokuoioitua	1	2	3	4	5
30. lisääntynyttä syljen erityistä	1	2	3	4	5
31. pahoinvointia	1	2	3	4	5
32. keskittymisvaikeuksia	1	2	3	4	5
33. näön hämärtymistä	1	2	3	4	5
34. huimausta (silmit suljettu- na)	1	2	3	4	5
35. huimausta (silmit auki)	1	2	3	4	5

## LIITE 4 LÄSNÄOLON JA HALLINNAN TUNNETTA KOSKEVA KYSELY

<i>Tunnen oloni tällä hetkellä ...</i>	En lainkaan	V ähän	Jo nkin verran	P aljon	E rittäin paljon
36. epävarmaksi	1	2	3	4	5
37. innostuneeksi	1	2	3	4	5
38. levottomaksi	1	2	3	4	5

Testin aikana..

<i>Tunsin ...</i>	En lainkaan	V ähän	Jo nkin verran	P aljon	E rittäin paljon
39. pystyväni kontrolloimaan tapahtumia	1	2	3	4	5
40. ympäristön reagoivan toimintaani	1	2	3	4	5
41. toimintani luonnolliseksi	1	2	3	4	5
42. uppoutuvani ympäristöön	1	2	3	4	5
43. visuaaliset elementit luonnollisiksi	1	2	3	4	5
44. kuulemani äänet luonnollisiksi	1	2	3	4	5
45. toimintatapani ympäristön kontrolloimiseksi luonnolliseksi	1	2	3	4	5
46. itseni tietoiseksi ympärilläni tapahtuvista todellisen maailman asioista	1	2	3	4	5
47. aistinvaraisen informaation epäyhtenäiseksi	1	2	3	4	5
48. kokemukseni virtuaaliympäristössä yhteneväksi todellisen maailman kokemusten kanssa	1	2	3	4	5

49. pystyväni ennakoimaan mitä tapahtuu seuraavaksi toimintani seurauksena	1	2	3	4	5
50. pystyväni tutkimaan esineitä	1	2	3	4	5
51. viivettä toimintani ja odotettujen tulosten välillä	1	2	3	4	5
52. visuaalisen esityksen laadun häiritsevän tehtävien suorittamista	1	2	3	4	5

## LIITE 5 HAASTTATELUKYSYMYKSET

Seuraavat kysytään kaikista vaihtoehdoista:

1. Kuvaile fyysistä olotilaasi ja havaitsemiasi reaktioita ympäristöön (2D, 3D lasella, 3D kypärällä)
  - a. Tunsitko huimausta
  - b. Väsymystä
  - c. Pahoinvointia
  - d. keskittymisvaikeuksia
2. Kuvaile miten pystyit havainnoimaan ympäristöäsi ja sen ominaisuuksia. Mitä ongelmia virtuaaliympäristö aiheutti havainnointiin? (2D, 3D lasella, 3D kypärällä)
  - a. Näkemiäsi asioita
  - b. Kuulemiasi asioita
  - c. Millaiseksi koit näön tarkkuuden
3. Kuvaile miten luonnolliseksi koit vuorovaikutuksen virtuaaliympäristön kanssa?
  - a. Toimintasi luonnollisuuden
  - b. Visuaaliset elementit
  - c. Kuulemasi äänet
  - d. Ympäristön reagoinnin toimintaasi
4. Kuvaile miten pystyit uppoutumaan tehtävien suorittamiseen virtuaaliympäristössä?
  - a. Tietoisuus todellisen maailman asioista
  - b. Ennakoimaan tapahtumia

Lopuksi kysyttävät kysymykset:

1. Vertaile fyysistä olotilaasi eri koeasetelmissä.
2. Vertaile havainnointiasi eri koeasetelmissä.

3. Vertaile eri koeasetelmien luonnollisuutta.
4. Vertaile uppoutumistasi tehtävien tekemiseen eri koeasetelmissa.
5. Minkä vaihtoehdon koit luonnollisimmaksi ja miellyttävimmäksi työskennellä?