



Vaasan yliopisto
UNIVERSITY OF VAASA

Henri Kuivalainen

Äänen rooli virtuaaliympäristöissä

Immersio ja läsnäolon tunne

Tekniikan ja innovaatiojohtamisen
akateeminen yksikkö.
Kauppatieteiden maisterin pro gradu -
tutkielma.
Teknisen viestinnän maisteriohjelma.

Vaasa 2020

VAASAN YLIOPISTO**Akateeminen yksikkö**

Tekijä:	Henri Kuivalainen	
Tutkielman nimi:	Äänen rooli virtuaaliympäristöissä: Immersio ja läsnäolon tunne	
Tutkinto:	Kauppätieteiden maisteri	
Oppiaine:	Teknisen viestinnän koulutusohjelma	
Työn ohjaaja:	Juho-Pekka Mäkipää	
Valmistumisvuosi:	2020	Sivumäärä: 66

TIIVISTELMÄ:

Tämän työn tavoitteena on selvittää äänen roolia virtuaaliympäristöissä ja sitä, kuinka ääni vaikuttaa immersion ja läsnäolon tunteen kokemisessa. Aihe on rajattu koskemaan immersiviisiä virtuaaliympäristöjä eli virtuaalitodellisuus-, lisätyn todellisuuden, ja laajennetun todellisuuden järjestelmiä. Työn tarkoituksena on luoda kokoava katsaus äänen roolista immersion ja läsnäolon tunteen luomisessa virtuaalijärjestelmissä, sekä äänen ja äänentoistojärjestelmän ominaisuuksien vaikutuksesta immersion ja läsnäoloon.

Aluksi työssä syvennyttiin immersion ja läsnäolon käsitteisiin. Esittelin eri näkemyksiä immersioista ja läsnäolosta, sekä kuinka nämä näkemykset liittyvät toisiinsa. Esittelin myös läsnäolon tunteen luomisen kannalta oleelliset havaintoharhat, paikka- ja uskottavuusilluusion. Tämän jälkeen tutkin kuinka ääni vaikuttaa immersion ja läsnäolon tunteeseen virtuaalijärjestelmissä. Tutkin myös mitä ominaisuuksia immersivisyyttä ehostavalla äänellä ja äänentoistojärjestelmällä on, sekä miten nämä ominaisuudet vaikuttavat immersion ja läsnäoloon.

Työssä tultiin tulokseen, että immersiota tulisi käsitellä objektiivisesti mitattavana järjestelmän ominaisuutena. Läsnäolon käsite tulisi varata kuvaamaan immersivisen järjestelmän käytöstä syntyvää subjektiivista kokemusta ja tunnetta. Tällä vältettäisiin termien epämääräinen ja keskenään vaihtokelpoinen käyttö. Saatiin myös selville, että äänellä on merkittävä rooli paikkailuusion ja uskottavuusilluusion luomisessa, jotka ovat olennaisia tekijöitä läsnäolon tunteen luomisessa. Läsnäolon tunteen syntymisen kannalta oleellisimmat äänen ominaisuudet liittyvät käyttäjien odotuksien vastaamiseen. Täten äänen ja äänentoistojärjestelmien tulisi ominaisuuksiltaan pyrkiä mallintamaan ja toistamaan ääniä mahdollisimman todenmukaisesti. Tämä edellyttää, että äänellä tulee vähintään olla tilallisia ominaisuuksia ja äänentoistojärjestelmän tulisi kyetä toistamaan tilallista ääntä, jotta virtuaaliympäristössä esiintyvä ääni voitaisiin kokea uskottavana. Virtuaaliympäristössä esiintyvien ärsykkeiden ja tiedon tulisi myös olla johdonmukaisia eri modaaliteettien välillä uskottavuusilluusion ehostamiseksi. Käyttäjien tekemien toimien ja liikkeiden tulisi luoda korreloivia ja odotuksienmukaisia ääniä ja reaktioita virtuaaliympäristössä uskottavuusilluusion ehostamiseksi.

AVAINSANAT: Ääni, Virtuaaliympäristö, Immersio, Läsnäolo

Sisällys

1	ESITTELY	5
2	MENETELMÄT JA AINEISTO	7
3	VIRTUAALIYMPÄRISTÖ	8
3.1	Määritelmä	8
3.2	Virtuaaliympäristön vaatimukset	9
3.3	Virtuaaliympäristön osat	9
3.3.1	Sisältö	9
3.3.2	Geometria	10
3.3.3	Dynamiikka	10
3.4	Virtuaaliympäristön näyttölaite	11
4	IMMERSIO	14
4.1	Järjestelmän ominaisuutena ja havainnonvasteena	15
4.2	Kertomuksenvasteena	17
4.3	Haasteenvasteena	19
4.4	Määritelmien erot	23
5	LÄSNÄOLO	26
5.1	Paikkailluusio	31
5.2	Uskottavuusilluusio	31
5.3	Virtuaalinen keho	32
5.4	Läsnäolon mittaaminen	33
6	ÄÄNEN VAIKUTUS IMMERSIOON JA LÄSNÄOLOON	35
6.1	Ääneen liittyvät teknologiat	35
6.1.1	Äänikenttäkohtaiset toimitusmenetelmät	35
6.1.2	Pääkohtaiset toimitusmenetelmät	37
6.2	Immersiivisen äänijärjestelmän ominaisuuksia	38
6.3	Immersiivisen äänen ominaisuuksia	40
6.4	Äänen vaikutus paikkailluusiioon	41
6.4.1	Spatiaaliset ominaisuudet	42

6.4.2	Auditiivinen tausta	43
6.4.3	Laatu ja sisältö	43
6.4.4	Sisäinen ja monimuotoinen johdonmukaisuus	44
6.5	Äänen vaikutus uskottavuusilluusion	46
6.5.1	Virtuaalikehon omistus	47
7	TULOKSET	49
8	YHTEENVETO	53
	LÄHDELUETTELO	58

1 ESITTELY

Äänellä on merkittävä rooli virtuaalijärjestelmissä (virtuaalitodellisuus, lisätty todellisuus, laajennettu todellisuus) immersion ja läsnäolon tunteen kokemisessa. Erityisesti videopelisovelluksissa, immersioilla ja läsnäolon tunteen kokemisella on merkittävä rooli positiivisten kokemusten tuntemuksissa virtuaalijärjestelmiä käytettäessä (McMahan, 2003). Nordahl ja Nilsson (2014, s.228) esittävätkin, että auditiivisia ärsykeitä tulisi käsitellä välttämättömänä immersioivisen ja läsnäolon kokemuksen luomiseksi virtuaaliympäristöissä.

Immersion ja läsnäolon konseptin tutkiminen on saanut paljon huomiota useilta eri aloihin kuuluvilta tutkijoilta. Lombard ja Jones (2007) selvittivät tutkimuksessaan, että läsnäolon aiheesta on julkaistu yli 1800 artikkelia, kirjaa, ja muita aiheeseen liittyviä töitä 1930 luvulta lähtien. McMahan (2003, s.63) kuitenkin ehdottaa, että immersioista on tullut ”liian epämääräinen ja kaiken kattava käsite”. Termillä voidaan tarkoittaa monenlaisia erityyppisiä kokemuksia ja sitä useimmiten käytetään enemmän tai vähemmän keskenään vaihtokelpoisesti konseptien kuten läsnäolon (engl. presence), osallistumisen (engl. involvement) ja sitoutumuksen (engl. engagement) kanssa (Nilsson, Nordahl & Serafin, 2016).

Tässä työssä lähdän selvittämään äänen roolia immersion ja läsnäolon tunteen luomisessa virtuaaliympäristöissä. Tutkimuskysymyksinä ovat:

- 1) Kuinka ääni vaikuttaa koettuun immersiivisyyteen ja läsnäolon tunteeseen virtuaaliympäristöissä?
- 2) Mitä ominaisuuksia immersiivisyyttä ehostavalla äänellä ja äänentoistojärjestelmällä on ja kuinka ne vaikuttavat immersion ja läsnäoloon?

Aloitan työn esittelemällä eri näkemyksiä immersioista ja läsnäolon tunteesta, sekä kuinka nämä liittyvät toisiinsa. Tämän jälkeen tutkin ja yhdistelen eri tutkimuksien tuloksia sekä luon kokoavia johtopäätöksiä siitä, kuinka ääni vaikuttaa immersion ja

läsnäolon tunteeseen virtuaalijärjestelmissä, sekä mitä ominaisuuksia immersiiivisyyttä ehostavalla äänellä ja äänentoistojärjestelmällä on, sekä kuinka nämä ominaisuudet vaikuttavat immersioon ja läsnäoloon. Työn tarkoituksena on luoda lopputuloksena integroiva kirjallisuuskatsaus äänen roolista immersion ja läsnäolon tunteen luomisessa virtuaalijärjestelmissä.

2 MENETELMÄT JA AINEISTO

Työn tarkoituksena on luoda integroiva kirjallisuus katsaus äänen vaikutuksesta immersioon ja läsnäolon tunteeseen virtuaaliympäristöissä. Torracco (2005) määrittelee, että integroiva kirjallisuuskatsaus on tutkimuksen muoto, joka käy läpi, kritisoii ja syntetisoi aiheen kirjallisuutta integroidulla tavalla, ja tuottaa aiheesta uusia viitekehyksiä ja perspektiivejä.

Torraccon (2005) mukaan useimmat integroivat kirjallisuuskatsaukset ovat tarkoitettu käsittelemään vanhoja tai uusia kasvavia aiheita. Tässä työssä aiheet jakautuvat molempiin kategorioihin. Ensimmäiset tutkimukset virtuaaliympäristöistä ja virtuaalijärjestelmistä sijoittuvat 1990-luvulle. Immersion ja läsnäolon tutkimukset sijoittuvat suurilta osin 1990-luvun loppu- ja 2000-luvun alkupuolelle. Tiheimmin immersiota, ja siihen vaikuttavia tekijöitä, kuten ääntä vaikuttaa olevan tutkittu 2000-2005 luvuilla. Virtuaaliympäristöjä välittävien virtuaalijärjestelmien ja siihen liittyvien teknologioiden merkittävä kehitys ja kaupallinen saatavuus kuitenkin painottuu 2010-luvusta nykyhetkeen. Tutkimuksen painottuminen viime vuosikymmenille ja teknologian viimeaikaisen kehityksen vuoksi integroiva kirjallisuuskatsaus tästä aiheesta voi ajantasaistaa tiedon ja nykyisten teknologioiden välistä suhdetta.

Avainsanoina aineiston hakemisessa on käytetty termejä immersion, presence, audio, sound ja virtual environment. Tutkimukselle oleellisen aineiston määrittelemiseksi löydetyistä tutkimuksista aluksi luin johdannon ja johtopäätökset, jonka perusteella päättelin, vaatiiko tutkimus kokonaisvaltaista perehtymistä.

3 VIRTUAALIYMPÄRISTÖ

Jotta voidaan selvittää äänen vaikutusta immersioon ja läsnäoloon virtuaaliympäristössä, tulee määritellä mitä virtuaaliympäristöt ovat, mitä ominaisuuksia, ja mitä vaatimuksia niillä on. Tässä kappaleessa esittelen virtuaaliympäristön määritelmän, sen vaatimukset ja mitä virtuaaliympäristöt sisältävät. Esittelen myös lyhyesti virtuaaliympäristöjä välittävien näyttölaitteiden (engl. *display*), eli virtuaalijärjestelmien laitteiston ominaisuuksia, jotka voivat vaikuttaa järjestelmän immersioon ja käyttäjän läsnäolon kokemuksiin. Tässä työssä näyttölaitteella voidaan tarkoittaa myös ei-visuaalista informaatioita tulostavia laitteita, esimerkiksi auditiivisia ja haptisia näyttölaitteita.

3.1 Määritelmä

Virtuaaliympäristö voidaan määritellä vuorovaikutteisiksi virtuaalikuva näyttölaitteiksi, joita on ehostettu erityisellä käsittelyllä ja ei-visuaalisilla modaliteeteilla (modaliteetti, aistikanava), kuten auditiivisilla ja haptisilla näyttölaitteilla, jotta käyttäjät saadaan vakuuttuneeksi siitä, että he ovat uppoutuneet synteettiseen tilaan. (Ellis, 1994)

Virtuaaliympäristöt tarjoavat uuden viestintävälineen ihmisen ja koneen vuorovaikutukselle. Virtuaaliympäristöjen täysin synteettinen luonne mahdollistaa visuaalisten, auditiivisten ja haptisten vuorovaikutusmuotojen käyttöönoton, jota ei voida toteuttaa fyysisessä ympäristössä. Virtuaaliympäristöjen näyttölaitteilla on laaja sovelluspotentiaali mm. koulutuksessa, menettelytapojen harjoittelussa, korkean tason ohjelmoinnissa, etätoiminnassa, terveydenhuollossa, planeettojen pintojen etätutkimuksessa, tietojen analysoinnissa ja visualisoinnissa, sekä viihdekäytössä. Lisäksi virtuaaliympäristöjen mahdollinen hyödyllisyys psykofyysisten, fysiologisten inhimillisten tekijöiden ja havainnollisten kysymysten tieteellisessä tutkimuksessa on houkutelut fysiologisia ja kognitiivisia tutkijoita tutkimaan virtuaaliympäristöjä. (Ellis, 1994)

3.2 Virtuaaliympäristön vaatimukset

Ellis (1994) asettaa virtuaaliympäristöille kolme laite- ja ohjelmistoperäistä vaatimusta. Virtuaaliympäristön näyttölaitteen tulisi sisältää sensoreita, efektoreita ja erityislaitteistoa. Sensorit seuraavat käyttäjien liikkeitä, efektorit stimuloivat käyttäjän aisteja ja erityislaitteistot yhdistävät sensorit ja efektorit tuottaakseen aistikokemuksen, joka muistuttaa fyysistä ympäristöä. Näyttölaitteen teknologia toimii luomalla reaaliaikaista, vuorovaikutteista ja henkilökohtaista simulaatiota ympäristön sisällöstä, geometriasta ja dynamiikasta. (Ellis, 1994)

Ohjelmistolle Ellis (1994) asetti kolme toimintoa, joille onnistuneen ympäristön simuloinnin tulisi tarjota riittävät viestintäkanavat näiden toimintojen käsittelemiseksi: 1) toimijoiden ja esineiden muoto ja kinematiikka; 2) näiden vuorovaikutus keskenään ja ympäristön kanssa käyttäytymissääntöjen, kuten Newtonin liikelakien mukaan, ja 3) ympäröivän ympäristön laajuus ja luonne.

3.3 Virtuaaliympäristön osat

Ympäristön onnistunut synteesi vaatii sen muodostavien osien analysointia. Ellis (1991) mukaan ympäristön voidaan ajatella sisältävän kolme osaa: sisältö, geometria ja dynamiikka.

3.3.1 Sisältö

Ympäristön objektit ja toimijat ovat osa sen sisältöä. Nämä kohteet voidaan kuvata tilavektoreilla, jotka tunnistavat niiden sijainnin, suunnan, nopeuden ja kiihtyvyyden ympäristössä, samoin kuin muut erottavat ominaisuudet, kuten värin, rakenteen ja energian. Tilavektori on siten kuvaus objektien ominaisuuksista. Kaikkien tilavektorin ehtojen osajoukkoa, joka on yhteinen sisällön jokaiselle toimijalle ja objektille, voidaan

kutsua sijaintivektoriksi. Vaikka ympäristön toimijoita voidaan joissakin vuorovaikutuksissa pitää objekteina, ne eroavat objekteista siinä mielessä, että ominaisuuksien lisäksi heillä on kyky aloittaa vuorovaikutus muiden objektien kanssa. Näiden aloitettujen vuorovaikutusten perustana on energian tai tiedon varastointi toimijoissa ja heidän kykynsä hallita tämän tallennetun tiedon tai energian vapautumista tietyn ajan kuluttua. ”Minä” on erillinen toimija ympäristössä, joka tarjoaa näkökulman, josta ympäristö voidaan rakentaa. Kaikkia ympäristön osia, jotka ovat ”minä” toimijan ulkopuolella, voidaan pitää toimintakenttänä. Esimerkiksi biljardipöydän palloja voidaan pitää biljardipöytäympäristön sisältönä ja ”kiveä”, eli valkoista lyöntipalloa yhdistettynä biljardinpelaajaan voidaan pitää ”minä” toimijana. (Ellis 1991)

3.3.2 Geometria

Geometria on kuvaus ympäristön toimintakentästä. Sillä on ulotteisuus, mittarit ja laajuus. Ulotteisuus viittaa riippumattomien kuvailevien termien lukumäärään, joita tarvitaan sijaintivektorin määrittämiseen jokaiselle ympäristön elementille. Mittarit ovat sääntöjärjestelmiä, joita voidaan soveltaa sijaintivektoriin sisällön järjestyksen muodostamiseksi ja geodeettisen tai suorien viivojen käsitteiden muodostamiseksi ympäristössä. Ympäristön laajuus viittaa sijaintivektorin elementtien mahdollisten arvojen alueeseen. Ympäristötila tai toimintakenttä voidaan määritellä asemavektorin kaikkien elementtien karteesisiksi tuloksi niiden mahdollisilla alueilla. Ympäristön liikerata on objektin aikahistoria ympäristön tilassa. Koska kinemaattiset rajoitukset voivat estää objektia kulkemasta tilassa tietyillä poluilla, nämä rajoitukset ovat myös osa ympäristön geometrista kuvausta. (Ellis, 1991)

3.3.3 Dynamiikka

Ympäristön dynamiikka on sisällön vuorovaikutussääntöjä, jotka kuvaavat niiden käyttäytymistä energiaa tai tietoa vaihtaessa. Tyypillisiä esimerkkejä erityisistä dynaamisista säännöistä löytyy Newtonin dynamiikan differentiaaliyhtälöistä, jotka kuvaavat biljardipallojen vastetta ”kivipallon” aiheuttamille iskuille. Muissa

ympäristöissä nämä säännöt voivat olla myös kielioppisääntöjen tai hakutaulukoiden muodossa. Esimerkiksi tietokonepääteelle kirjoitettu syntaktisesti oikea komento voi aiheuttaa ohjelman suorittamisen tietyillä parametreilla. Tässä tapauksessa komennon tiedoilla on energian rooli ja siitä johtuva muutosnopeus laitteen loogisessa tilassa vastaa rooliltaan kiihtyvyyttä. (Ellis, 1991)

3.4 Virtuaaliympäristön näyttölaite

On monia muuttujia, jotka vaikuttavat järjestelmän käyttäjän kokemuksen laatuun. Visuaalisella näyttölaitteella voi esimerkiksi olla suuri tai pieni näkökenttä (engl. *field of view*), eli vaaka- ja pystysuuntaiset näkökulmat, joiden läpi maailma voidaan nähdä. Tämänhetkisisissä päässä pidettävissä näyttölaitteissa (engl. *HDM, Head-mounted display*) näkökentän laajuus vaihtelee tyypillisesti 90-130° välillä. Suurin saavutettu näkökenttä on tällä hetkellä 210° (StarVR). Visuaalisten näyttölaitteiden resoluutioiden välillä on myös vaihtelua. Resoluutiot vaihtelevat 960x1080 pikselistä 2560x1440 pikseliin per silmä. Järjestelmän saavuttama kuva- ja virkistystaajuus on myös kriittinen vaikuttava tekijä virtuaaliympäristön koettuun laatuun (Louis, Troccaz, Rochet-Capellan & Berard, 2019). Kuvataajuus on piirrettyjen kuvien määrä mitä järjestelmä pystyy toimittamaan sekunnissa. Nykyään virkistystaajuus vaihtelee laitteilla 60Hz-144Hz välillä. Vaikka näyttölaitteilla kuvataajuus päivittyy vakio sykleinä (esim. 60Hz) tietokoneen graafinen renderöintijärjestelmä ei aina mahdollisesti pysty ylläpitämään uuden kuvan tuottamisen nopeutta. Jos kohtausta on erityisen monimutkainen, järjestelmän laskennallinen kuormitus voi olla niin suuri, että osallistujan pään liikkeessa renderointijärjestelmä ei voi pysyä muutoksissa mukana riittävän nopeasti. Tämä johtaisi epäjatkuvuuksiin yleisessä kuvan liikkeessä, esimerkiksi esine, joka liikkuu käyttäjän näkökentän poikki, voi näyttää hyppäävän yhtäkkiä paikasta toiseen. Kuvataajuus on yksi tekijä järjestelmälatenssissa. Latenssi on aika, joka kuluu käyttäjän aloittamasta teosta siihen, että järjestelmä reagoi tähän tekoon. Latenssiin vaikuttavia tekijöitä on monia,

kuten kuvataajuus, seurantalaitteiden nopeus, tiedonsiirtonopeudet eri laitteiden välillä mukaan lukien verkon nopeus, ja niin edelleen.

Ideaalinen immerstiivinen virtuaalitodellisuusjärjestelmä (IVR) tyypillisesti sisältää visuaalisen näyttölaitteen, auditiivisen- ja haptisen näyttölaitteen, sekä seurantajärjestelmän. Näytettävät visuaaliset kuvat määritetään ainakin osallistujan pään paikan ja suunnan funktiona. Tämä mahdollistetaan päänseurannan avulla ja ihannetapauksissa sen tulisi sisältää myös tunto, voimapalaute-, lämpö- ja hajunäyttölaitteet, jotta kaikki aistit otettaisiin huomioon. (Sanchez-Vives & Slater, 2005)

Päässä pidettävissä näyttölaitteissa näytöt ovat kiinnitetty silmien läheisyyteen ja päänseuranta varmistaa, että vasen ja oikea kuva päivitetään käyttäjän pään liikkeiden mukaisesti, virtuaaliympäristö huomioon ottaen. Molemmille silmille erotellut kuvat mahdollistavat stereonäön. Ääni toistetaan yleensä kuulokkeiden kautta, mutta myös äänikenttäkohtaisia toimitusmenetelmiä voidaan hyödyntää. Käyttäjät voivat liikkua kolmiulotteisissa virtuaaliympäristöissä, jotka sisältävät staattisia ja dynaamisia esineitä, sekä mahdollisesti muiden ihmisten representaatioita. Käyttäjät voivat myös saada aikaan muutoksia virtuaaliympäristössä. (Sanchez-Vives & Slater, 2005)

Kuvassa 1. nähdään NASA:n luoma 1990-luvulla luoma näyttölaite, joka pystyi välittämään käyttäjälle virtuaaliympäristöä tai videokuvaa oikeasta ympäristöstä. Järjestelmä sisälsi DataGlove-sensorijärjestelmän, joka pysty tunnistamaan käyttäjän sormien ja käsien liikkeitä. (NASA, 2014)



Kuva 1. The Virtual Interface Environment Workstation (VIEW), 1990. (NASA, 2014)

4 IMMERSIO

Immersio on tämän työn kannalta olennainen käsite. Tässä kappaleessa tulen avaamaan immersion määritelmää, sen syntyä ja eri näkemyksiä sen käsitteellistämisestä. Kuten on tapaus monilla psykologisilla käsitteillä, immersion käsitteestä ei ole päästy selvään yksimielisyyteen. Esittelemällä eri näkemyksiä immersioista pyrin antamaan kokonaisvaltaisen ymmärryksen immersioista ja selittämään syitä, miksi käsite on edelleen suhteellisen epämääräinen. Yhteenvedon esiteltyistä määritelmistä kokoan taulukkoon 1. Lopuksi esittelen Nilssonin ja muiden (2016) luokittelumallin, jonka avulla immersion eri näkemykset voidaan luokitella.

McMahan (2003, p. 63) ehdotti, että immersioista on tullut ”liian epämääräinen ja kaiken kattava käsite”. Termillä voidaan tarkoittaa monenlaisia erityyppisiä kokemuksia ja sitä useimmiten käytetään enemmän tai vähemmän keskenään vaihtokelpoisesti konseptien kuten läsnäolon (engl. *presence*), osallistumisen (engl. *involvement*) ja sitoutumuksen (engl. *engagement*) kanssa (Nilsson, Nordahl, & Serafin, 2016). Termin ”immersio” epäkonsistentin käytön ongelma on kaksijakoinen: termin merkitys on laimentunut ja sen vaihteleva käyttö muiden termien kanssa voi potentiaalisesti sekoittaa konseptien kuten läsnäolon tutkimusta (Zahorik & Jenison, 1998).

Vuonna 1997, Murray (1997, s. 98) antoi seuraavan kuvauksen immersioista, joka selittää termin alkuperää ja korosti epäsuorasti syytä sen moniselitteiseen käyttöön:

Immersio on metaforinen termi, joka on johdettu veteen uppoamisen fyysisestä kokemuksesta. Etsimme samaa tunnetta psykologisesti immersiiviseltä kokemuksesta, jonka koemme kun sukellamme mereen tai uima-altaaseen: tunne, että olemme täysin toisen todellisuuden ympäröimänä, niin erilaista kuin vesi on verrattuna ilmaan, joten se vie kaiken huomionsamme, meidän koko aistimekanismin. (Murray, 1997).

Yleinen yksimielisyys näyttää olevan, että immersioon sisältyy jonkun ympäröimänä oleminen, tai sen tunne (Ermi & Mäyrä 2005; McMahan, 2003; Ryan 2003; Slater 2003;

Witmer & Singer, 1998). Useat vaihtoehtoiset ehdotukset käsittelevät sitä, mikä yksilöä ympäröi. Yksi huomattavimmista eroista olemassa olevien näkemysten välillä on ero immersio teknologiana ja immersio subjektiivisena kokemuksena välillä (Nilsson ym., 2016). Käyttäen Murrayn vesimetaforaa, jotkut uskovat immersion olevan ilmaisu siitä, kuinka syvällä joku vedessä on, kun taas toiset uskovat immersion olevan subjektiivinen kokemus veden alla olemisesta. Nilsson ja muut (2016) ehdottivat, että olisi sopivaa erotella neljä yleistä näkemystä immersioista:

- 1) immersio virtuaalimaailman esittelyyn käytettävän järjestelmän ominaisuutena
- 2) immersio havaintovasteena kyseiseen järjestelmään
- 3) immersio vasteena tapahtuvaan kertomukseen, sen tarinamaailmassa asuviin hahmoihin tai itse maailman kuvaukseen
- 4) immersio vasteena haasteisiin, jotka vaativat älyn tai sensorimotoristen taitojen käyttöä.

4.1 Järjestelmän ominaisuutena ja havainnonvasteena

Termiä immersio on käytetty kuvamaan sekä käyttäjää ympäröivää teknologiaa että käyttäjän vastetta teknologian ympäröimänä olemiseen. Ensimmäisen näkemyksen kannattaja Slater (2003) ehdotti, että termi immersio tulisi varata kuvaamaan vain sitä, mitä teknologia tarjoaa objektiiviselta kannalta. Immersiota tulisi täten käsitellä objektiivisesti mitattavana systeemin ominaisuutena, eikä käyttäjän reaktiona teknologian ympäröimänä olemiseen (Slater, 2003). Tätä käsitettä kuvaamaan käytetään termiä ”Järjestelmä immersio” (engl. *System immersion*) (Slater, 1999).

Jälkimmäisen näkemyksen eli immersion havainnonvasteena kannattajia ovat muun muassa Witmer ja Singer (1998). He argumentoivat, että immersiota voidaan ajatella psykologisena tilana, jolle on tunnusomaista havaita olevansa jatkuvasti virikkeitä ja kokemuksia tuottavan ympäristön ympäröimänä ja vuorovaikutuksessa tämän kanssa.

(Witmer & Singer, 1998). Heidän mukaansa subjektiiviseen immersion kokemukseen vaikuttaa ainakin kolme tekijää:

- 1) missä määrin käyttäjä on eristetty ulkoisesta fyysisestä ympäristöstä
- 2) mukanaolon tunne välitetyssä ympäristössä
- 3) egosentrinen liikehavainto (engl. *egocentric motion perception*) ja kyky olla vuorovaikutuksessa luonnollisesti ympäristön kanssa. (Wittmer & Singer, 1998)

On syytä huomata, että Witmer ja Singer (1998) erottelivat immersion ja osallistumisen (engl. *involvement*) välillä. Ensimmäinen liittyy ympäristön ympäröimänä olemisen tunteeseen ja jälkimmäinen viittaa aktiin, jossa keskitytään ja kiinnitetään suuresti huomiota havaittuihin virikkeisiin ja esiintyviin tapahtumiin. Samankaltaisesti, McMahan (2003) erotteli havainnollisen immersion (engl. *perceptual immersion*) ja psykologisen immersion (engl. *psychological immersion*) välillä. McMahan (2003, s. 77) kuvaili, että havainnollinen immersio voidaan saavuttaa, kun estetään mahdollisimman moni aisti ulkomaailmaan mahdollistaen käyttäjän havaita vain keinotekoinen maailma hyödyntämällä mm. laseja, kuulokkeita ja hanskoja. Myös Ermi ja Mäyrä (2005) esittelivät konseptin sensorinen immersio (engl. *sensory immersion*) ja kuvailivat sitä näin:

Digitaaliset pelit ovat kehittyneet audiovisuaalisesti näyttäviksi, kolmiulotteisiksi ja stereofonisiksi maailmoiksi, jotka kattavasti ympäröivät pelaajan. Kasvojen lähellä olevat isot näytöt ja voimakkaat äänet helposti peittävät alleen oikeasta maailmasta tulevat ärsykkeet ja saavat pelaajan keskittymään täysin pelin maailmaan ja sen ärsykkeisiin. (Ermi & Mäyrä, 2005, s. 43)

Esitettyjen immersion määritelmien perusteella vaikuttaa siltä, että molempien näkemysten kannattajat katsovat, että immersio voi olla läheisesti yhteydessä mediamuotoon, toisin sanoen kokemuksen välittämiseen käytetyn teknologisen järjestelmän ominaisuuksiin. Tärkeä ero näkemysten välillä on, että toisessa immersio nähdään mediamuodon ominaisuutena, toisessa immersio vastaa tämän mediamuodon subjektiivista kokemusta.

4.2 Kertomuksenvasteena

Kun keskustellaan immersioista suhteessa videopeleihin, McMahan (2003) erotteli kaksi immersiotuntemuksen tasoa, diegeettisen- ja ei-diegeettisen tason. Diegeettiset tasot viittaavat fiktiiviseen maailmaan missä pelin kertomus tapahtuu (Prince, 2003). Ollessaan immersoituna peliin diegeettisellä tasolla (ts. psykologinen immersio), pelaaja on henkisesti täysin uppoutunut pelin tarinan maailmaan (McMahan, 2003). Adams ja Rollins (2006) käsitteellistivät immersiiiviset kokemukset samalla tavalla ja nimittivät pelin tarinaan uppoutumisen narratiiviseksi immersioiksi (engl. *narrative immersion*). He määrittivät narratiivisen immersion tunteeksi, jossa ollaan täysin tarinan sisällä, siihen osallisena ja hyväksytään tarinan maailma ja tapahtumat todellisena (Adams ja Rollins, 2006, s. 30).

On myös muita samankaltaisia määritelmiä eri nimillä: Arsenaultin (2005) ehdottama fiktiivinen immersio (engl. *fictional immersion*), ja Ermin ja Mäyrän (2005) ehdottama termi mielikuvituksellinen immersio (engl. *imaginative immersion*). Arsenault (2005) hylkäsi nimikkeen ”mielikuvituksellinen”, koska hänen mukaansa tämän immersion muodon ei tarvitse olla nimenomaisesti riippuvainen yksilön mielikuvituksesta.

Adams ja Rollins (2006) määrittivät, että innostava juoni, kiinnostavat hahmot ja dramaattiset tilanteet ovat edellytyksiä narratiivisen immersion kokemiseksi. Täten narratiivisen immersion termiä on käytetty myös immersiiivisten VR-järjestelmien ulkopuolella. Ryan (2003) kuvaili kuinka lukeminen voi aiheuttaa narratiivista immersiota ja, että narratiivinen immersio voi mahdollisesti syntyä mistä tahansa narratiivisesta teoksesta, mediamuodosta riippumatta. Ryanin (2003) tästä luoma käsite on samankaltainen Adamsin ja Rollinsin (2006) edellä mainittuun käsitteeseen, mutta Ryan kuvaili tarkemmin mitkä tekijät aiheuttavat narratiivista immersiota. Hänen mukaansa narratiivista immersiota voidaan kuvata kolmen alakategorian avulla: ajallinen (engl. *temporal*), spatiaalinen (engl. *spatial*) ja tunteellinen (engl. *emotional*). Arsenault (2005) ehdotti, että näitä kolmea immersion muotoa voitaisiin potentiaalisesti käyttää

fiktiivisen immersion alakategorioina. Myös Ryan (2003) ehdotti, että innostava juoni on tärkeä narratiivisen immersion rakenneosana, tukien Adamsin ja Rollinsin (2006) myöhempiä määritelmiä. Ryan (2003) kutsui ajallista immersiota (engl. *temporal immersion*) osallistumiseksi, jonka aiheuttaa yksilön halu oppia, mitä tapahtuu seuraavaksi.

Spatiaalinen immersio viittaa immersion muotoon, joka aiheutuu yksilön reaktiosta kuvattuun sijaintiin tai maisemaan (Ryan, 2003). Siihen sisältyy tuntemus paikassa olemisesta (engl. *sense of place*) ja ilo, joka koetaan, kun tutkitaan virtuaalitilaa (Ryan, 2008). Kun mietitään spatiaalisen immersion suhdetta tekstimuotoisiin narratiiveihin, Ryan (2003, s.122) kertoo, että sen täydellisimmässä muodossa lukijan henkilökohtaiset maisemakuvat sulautuvat tekstuaaliseen geografiaan. Näissä hetkissä lukija kehittää intiimin suhteen tarinan asetelmaan, ja tuntemuksen, että hän on läsnä esitettyjen tapahtumien paikassa. Ryan (2003) myös ehdotti, että medianmuodolla voi olla vaikutusta. Ryanin mukaan kuvalliset mediat pystyvät välittömästi siirtämään katsojan diegeettiseen maailmaan. Tekstuaalinen media taas sen sijaan sisältää enemmän asteittaisen siirtymän tarinan maailmaan.

Tunteellinen immersio viittaa immersion tunteeseen, joka johtuu lukijan tunteellisesta sitoutumisesta tarinan päähenkilöiden tai antagonistien kohtaloon (Ryan, 2003). Ryanin (2003) mukaan tämä immersion muoto on mahdollista saavuttaa, koska ihmisen mieli kykenee simuloimaan todella vahvoja tunteita silloinkin, kun niiden aiheuttajat eivät ole todellisia. Nilssonin ja muiden (2016) mukaan tämä implikoisi, että kokemus spatiaalisesta immersioista, joka liittyy erittäin korkeatarkkuisille näytöille altistumiseen, muistuttaa havainnollista immersiota (McMahan, 2003) ja sensorista immersiota (Ermi & Mäyrä, 2005). Täten spatiaaliseen immersion saattaa vaikuttaa median muoto ja sen sisältö (Nilsson ym., 2016).

Edellä mainittujen määritelmien perusteella narratiiviselle immersiolle ja sen alaluokille (ajallinen, spatiaalinen, tunteellinen) on ominaista henkinen syventyminen tai

intensiivinen kiinnostus tarinaan, sen diegeettiseen tilaan ja hahmoihin, jotka ovat tässä tilassa. Siksi narratiivisen immersion voidaan ajatella olevan suurilta osin välitetyn sisällön tuote.

4.3 Haasteenvasteena

Ryan (2008) kuvaili, että immersio voi syntyä myös VR-kokemuksista, joilla ei ole nimenomaista narratiivista sisältöä. Hän kuvasi tätä immersion muotoa termillä ”*ludic immersion*” ja kuvaili sitä voimakkaana keskittymisenä tietyn tehtävän suorittamiseen. McMahan kuvaili ei-diegeettisen tason immersiota pelaajan rakkaudeksi peliin ja sen pelaamiseen vaadittavaan strategiaan (McMahan, 2003, s. 68). Ermi ja Mäyrä (2005, s.43) taas viittasivat tähän immersion muotoon haastepohjaisena immersiona ja kuvailivat sitä ”immersion tunteeksi, joka on voimakkaimmillaan silloin, kun pystytään saavuttamaan tyydyttävä tasapaino haasteiden ja kykyjen välillä”. Erityisesti he väittivät, että tämä immersion tunne voi johtua haasteista sekä sensomotorisille että henkisille taidoille (Ermi & Mäyrä, 2005). Molemmat kirjoittajat ovat kuitenkin sitä mieltä, että useimmiten haasteet koskevat jossain määrin molempia ehtoja (McMahan, 2003; Ermi & Mäyrä, 2005).

Vaikka molempien haasteiden samanaikainen esiintyminen on mahdollista, Nilsson ja muut (2016) esittävät, että yksi kahdesta edellytyksestä on täytyttävä, jotta haasteet koettaisiin immerssiiviseksi. Joko haasteiden samanaikaisen esiintymisen on oltava riittävän lyhyt huomion ylikuormituksen välttämiseksi, tai käyttäjän on oltava niin taitava käsittelemään yhtä näistä kahdesta taidosta, että hänellä on huomioylijäämää toisen haasteen selvittämiseen (Saariluoma, 2005). Toisin sanoen joko tehtävien vaihtamisen on oltava mahdollista, tai toinen kahdesta kilpailevasta tehtävästä on automatisoitava (Saariluoma, 2005). Näihin väitteisiin viitaten, Adams ja Rollins (2006) erotelivat sensomotorisen haasteiden synnyttämän ja henkisen haasteiden synnyttämän immersion välillä.

Adams ja Rollins (2006) kuvasivat kahta immersion muotoa: strateginen immersio ja taktinen immersio. Ensimmäinen viittaa kokemukseen, jossa olemme intensiivisesti keskittyneitä pelin voittamiseen. Toisin sanoen strategisessa immersiossa pelaaja on melkein täysin uppoutunut valintojen optimisointiin ja täten ei kiinnitä niin paljon huomiota elementteihin kuten pelin tarinaan ja hahmoihin (Adams & Rollins, 2006). Täten strateginen immersio syntyy pelaajan intensiivisestä keskittymisestä havainnointiin, laskelmointiin ja suunnitteluun (Nilsson ym., 2016). Taktisella immersiolle tarkoitetaan immersion muotoa, joka voidaan koeta pelatessa hektisiä pelejä, joissa jatkuva reagoimisen tarve esiintyviin esteisiin aiheuttaa täydellisen huomion antautumisen (Adams & Rollins, 2006). Erityisesti jatkuva vastakkainasettelu suhteellisen pienten ja samankaltaisten haasteiden kanssa vaatii pelaajan jakamattoman huomion, jättämättä aikaa keskittyä muihin pelin osiin, kuten yleiseen strategiaan tai tarinaan (Adams & Rollins, 2006).

On huomionarvoista, että erityisesti nämä immersion määritelmät muistuttavat suuresti "flow" kokemusta (Csikszentmihalyi, 1990), joka kuvaa myös videopelien pelaamisen kokemusta (Chen, 2007). Flow-tila syntyy kun henkilö suorittaa mielenkiintoista aktiviteettia, jossa havaitut haasteet vastaavat havaittuja taitoja. Flow-tilalle on ominaista intensiivinen ja keskittynyt huomio, toiminnan ja tietoisuuden yhdistyminen, itsetietoisuuden menetys, hallinnan tunne, ajallisen kokemuksen vääristyminen ja tehdyn toiminnan kokeminen luonnollisesti palkitsevana (Nakamura & Csikszentmihalyi, 2005).

Ottaen huomioon, että haastepohjainen immersio on voimakkainta, kun haasteiden ja taitojen välinen tasapaino ylläpidetään, niin strategiseen ja taktiseen immersioon voi liittyä subjektiivinen vaste, joka on samankaltainen flow-tilan kanssa (Nilsson ym., 2016). Täten tässä esitellyille immersion muodoille voidaan kuvailla ominaiseksi intensiivinen keskittyminen ja huomio, jonka aiheuttaa fyysikaalisten reaktioiden tarve esiintyviin esteisiin tai kognitiivisiin vaatimuksiin (Nilsson ym., 2016). Lisäksi tämä tarkoittaa, että

välitetyllä sisällöllä on suuri vaikutus näihin immersion muotoihin, koska itse haasteet muodostuvat sisällön aiheiden perusteella (Nilsson ym., 2016). Nilsson ja muut (2016) lisäävät, että medianmuodolla on myös todennäköisesti vaikutus haastepohjaiseen immersion. Esimerkiksi näytön näkökentän uskotaan vaikuttavan ihmisen suorituskykyyn ja havainnon moniin näkökohtiin (Nilsson ym., 2016). Mediamuoto voi vaikuttaa käyttäjän suorituskykyyn sensomotorisissa ja älyllisissä haasteissa, mikä puolestaan auttaa määrittämään onko haastepohjaista immersiota koettu. Vaihtoehtoisesti tämä tarkoittaa, että järjestelmäimmersio voi vaikuttaa haastepohjaisen immersion kokemiseen (Nilsson ym., 2016).

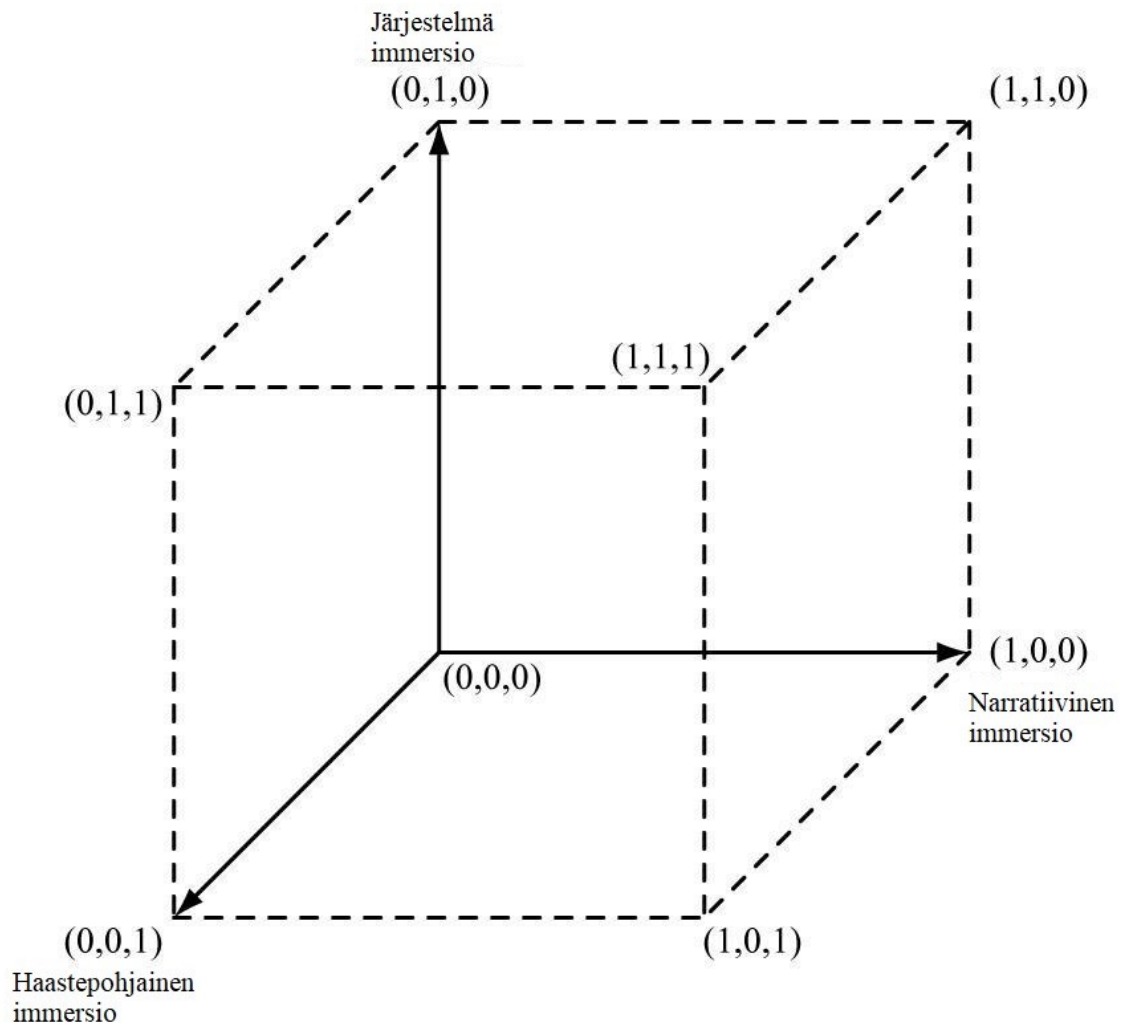
Taulukko 1. Yhteenveto esitetyistä immersion määritelmistä.

Tekijät	Järjestelmän ominaisuus	Havainnonvasteena	Kertomuksenvasteena	Haasteenvasteena
Slater (2003)	Järjestelmä immersio: Kokemusta välittävän järjestelmän ominaisuus. Mitä suurempi näyttö- ja seurantalaitteiden tarkkuus, sitä suurempi immersion taso.			
Witmer ja Singer (1998)		Immersion: Tunne, jossa olet virtuaaliympäristön ympäröimänä, sisällä, ja olet vuorovaikutuksessa sen kanssa		
Arsenault (2005)		Aistimuksellinen immersion: Tuntemus, että sinua ympäröi virtuaalimaailman multisensorinen representaatio, joka välittää korkeatarkkuisilla näyttölaitteilla.	Fiktiivinen immersion: Tuntemus, jossa olet täysin syventynyt henkisesti fiktiivisten tarinoiden, hahmojen ja maailmojen sisälle.	Systeeminen immersion: Henkinen syventyminen, kun kohdataan haasteita, jotka vastaavat yksilön kykyjä.
McMahan (2003)		Havainnollinen immersion: Virtuaalisen ympäristön ympäröimänä olemisen tuntemus, joka kasvaa suhteessa toimitettujen keinotekoisien ärsykkeiden modaliteettien määrällä	Psykologinen immersion (immersion diegeettisellä tasolla): Henkinen syventyminen, joka koetaan, kun altistutaan pelin tarinan maailmalle.	Osallistuminen (immersion ei-diegeettisellä tasolla): Peliin kohdistetun huomion tila, jonka aiheuttaa halu saada pisteitä ja/tai suunnitella voitettava strategia.
Adams ja Rollins (2006)			Narratiivinen immersion: Intensiivinen keskittyminen tarinan maailmaan ja tapahtuviin tapahtumiin, sekä näiden hyväksyminen todeksi.	Strateginen ja taktinen immersion: A state of intense preoccupation with observation, calculation, & planning or with swift responses to obstacles.
Ermi ja Mäyrä (2005)		Sensorinen immersion: Virtuaalimaailman representaation ympäröimänä olemisen tunne, joka välittää suurikokoisten näyttöjen ja voimakkaiden äänien avulla.	Mielikuvituksellinen immersion: Tuntemus, jossa henkisesti syvennyt pelin tarinaan, maailmaan ja hahmoihin.	Haastepohjainen immersion: Henkinen syventyminen, joka koetaan, kun kohdataan haasteita, jotka vaativat henkisiä tai motorisia taitoja.
Ryan (2003, 2008)			Narratiivinen immersion: Tila, jossa koetaan intensiivinen keskittyminen tarinaan. Voidaan jakaa kolmeen alakategoriaan: immersion (syntyy voimakkaasta paikassa olemisen tunteesta ja tutkimisen ilosta), ajallinen immersion (syntyy halusta tietää, mitä tapahtuu seuraavaksi), ja tunteellinen immersion (syntyy tunteellisesta sitoutumisesta hahmoihin)	Ludic immersion: Intensiivinen syventyminen suoritettavaan tehtävään.

4.4 Määritelmien erot

Edellä mainitut immersion käsitteet voidaan luokitella kolmeen kategoriaan perustuen liittävätkö ne immersion järjestelmän ominaisuudeksi (system immersion), subjektiiviseksi vasteeksi narratiiviin (narrative immersion) tai subjektiiviseksi vasteeksi haasteisiin (challenge based immersion). Nilsson ja muut (2016) ehdottivatkin kolmiulotteisen luokittelun käyttöä näiden määritelmien luokittamiseen. Heidän ehdottama luokittelujärjestelmä muistuttaa Ermin ja Mäyrän (2005) esittämää SCI-mallia, mutta tärkeä ero on, että Nilssonin ja muiden (2016) malli ei sisällytä immersiota vasteena teknologian ympäröimänä olemiseen (sensorinen immersio) tai havainnollista immersiota. Syyksi tähän he kertoivat, että tämän muodon immersion intensiteetti kasvaa verrannollisesti järjestelmän immersion lisääntyessä. Siksi sen sisällyttäminen ei tuo lisäkuvauksellista arvoa (Nilsson ym., 2016). Taktisen ja strategisen immersion he luokittelivat haastepohjaisen immersion alakategorioiksi ja he käyttävät narratiivisen immersion termiä samankaltaisesti kuin Ryan (2003) ja Arsenault (2005) eli se voidaan jakaa tilalliseen ajalliseen ja tunteelliseen immersioon.

Nilsson ja muut (2016) kuvasivat näitä kolmea ulottuvuutta akseleina koordinaattijärjestelmässä (kuva 2.) Narratiivisen immersion kolme alakategoriaa (tilallinen, ajallinen, tunteellinen) on laitettu yhdelle akselille, koska voimakas uppoutuminen narratiiviin voi johtua samanaikaisesti useammasta kuin yhdestä näistä alakategorioista. Sama pätee haastepohjaiseen immersioon, joka voi johtua älyllisistä ja sensomotorisista haasteista. Xz-taso kuvaa variaatioita immersion subjektiivisissa kokemuksissa ja y-akseli kuvaa muutoksia järjestelmässä, joka voi vaikuttaa kokemukseen. (Nilsson ym., 2016)



Kuva 2. Nilssonin, Nordahlin ja Serafinin luokittelujärjestelmä immersion määrittelmille. (käännetty. Nilsson ym., 2016)

Kohdat 0,0,1 ja 1,0,0 kuvaavat tilanteita, joissa on lähestulkoon ei lainkaan teknologista immersiota, mutta suuri määrä narratiivista immersiota (esim. hyvä kirjallisen fiktion teos) tai haastepohjaista immersiota (esim. sanaristikko tai esineen tasapainottelu). Kohtaan 1,0,1 voidaan sijoittaa fantasiaroolipelit. Näihin ei kuulu nimenomaista teknologian käyttöä, mutta pelaajat voivat kokea narratiivista immersiota omaksumalla pelin tarinassa hahmon roolin ja haastepohjaista immersiota ratkoessaan pelin fiktiivisiä haasteita. Kohdat 0,1,1 ja 1,1,0 vastaavat teknologisesti immersiiivisissä järjestelmissä pelattavia videopelejä. Kohdassa 0,1,1 peli sisältäisi ideaalisen tasapainon älyllisten-, sensoristen haasteiden ja pelaajan toimintamahdollisuuksien välillä. Kohdassa

1,1,0 peli tarjoaisi pelaajalle interaktiivisen narratiivin, joka vetoaa vahvasti pelaajan uteliaisuuteen tietää lisää pelin tapahtumista, hahmojen kohtaloista ja itse virtuaalisesta tilasta. Viimeiseksi kohta 1,1,1 saattaa viitata videopeliin, jota käytetään teknologisesti immersiiivisellä järjestelmällä ja peli tarjoaa pelaajalle sopivia haasteita ja kiinnostavan tarinan. (Nilsson ym., 2016)

Ellei toisin mainita, immersiota käsitellään jatkossa tässä työssä järjestelmän ominaisuutena, joka kykenee luomaan läsnäolon tunteen ihmisessä. Koska kuten Slater (2003) ehdottaa, immersiota olisi hyvä käsitellä objektiivisesti mitattavana systeemin ominaisuutena ja läsnäolo konseptuaalisena käsitteenä olisi hyvä varata kuvaamaan käyttäjän subjektiivista vastetta immersiiivisen järjestelmän käyttöön.

5 LÄSNÄOLO

Yksi määrittelevä piirre immersiiivisille virtuaaliympäristöille on kyky saada aikaan läsnäolon (engl. *presence*) tunne tietokoneella luodussa virtuaaliympäristössä. Kuten immersio, läsnäolon konsepti on olennainen tämän työn kannalta, mutta kuten immersio, se on kuitenkin käsitteenä epämääräinen ja sitä saatetaan käyttää immersion kanssa vaihtokelpoisesti. Tässä osassa esittelen läsnäolon konseptin ja kuinka eri läsnäolon näkökulmat saattavat liittyä järjestelmä immersioon, narratiiviseen immersioon ja haastepohjaiseen immersioon. Kokoan taulukkoon 2. yhteenvedon esitellyistä läsnäolon käsitteellistämistä. Esittelen myös läsnäolon syntymisen kannalta olennaiset havaintoharhat paikkailluusio, uskottavuusilluusio, ja virtuaalisen kehon omistajuuden tunne.

Vuonna 1980, Minsky loi termin telemaattinen läsnäolo (engl. *telepresence*) ja kuvasi tätä ”olemassaolon” tunteeksi jossain syrjäisellä paikalla samanaikaisesti havaiten ja toimien sijaisesti robotin kautta (Minsky, 1980). Rivan (2009) mukaan termi läsnäolo saapui laajaan tieteelliseen keskusteluun, kun Sheridan ja Furness perustivat *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* -lehden. Lehden toisessa numerossa Sheridan (1992) esitti vertailukelpoisen määritelmän telemaattisesta läsnäolosta ja lisäsi, että henkilö voi samalla tavalla kokea fyysisen läsnäolon tunteen altistuessaan tietokoneen luomalle monisensoriselle stimulukselle. Siitä lähtien termiä on käytetty useilla akateemisilla aloilla kuvaamaan erilaisia kokemuksellisia ilmiöitä. Tätä kuvaa hyvin Lombardin ja Dittonin (1997) luoma taksonomia, jossa hahmoteltiin kuutta erilaista, mutta toisiinsa liittyvää läsnäolomuotoa: läsnäolo sosiaalisena rikkautena, läsnäolo realismina, läsnäolo kuljetuksena, läsnäolo immersiona, läsnäolo sosiaalisena toimijana välitettyssä ympäristössä (engl. *presence as a social actor within medium*), ja välitetyn ympäristön läsnäolo sosiaalisena toimijana (engl. *presence as medium as social actor*). Muiden kirjoituksiin pohjustuen, Lombard ja Ditton (1997) ehdottivat läsnäolon määritelmää, joka kattaisi monet olemassa olevat läsnäolon käsitteet. He kuvasivat läsnäolon illuusiona, joka syntyy, kun henkilö virheellisesti käsittelee jotain välitettyä

asiaa totena ja reagoi sen mukaisesti (Lombard & Ditton, 1997). Vaikka yksilö myöntyy illuusiolle, hän on tietoinen, että välitetty ärsyke ei ole todellista.

Lombardin ja Dittonin (1997) mukaan läsnäolo sosiaalisena rikkautena määritetään sen mukaan, missä määrin yksilöt, jotka osallistuvat jonkinlaiseen keskinäiseen vuorovaikutukseen, löytävät vuorovaikutusta välittävän välineen sosiaaliseksi, herkäksi ja henkilökohtaiseksi. Siten läsnäolo sosiaalisena rikkautena tarkoittaa välineen kykyä tuottaa välittömän läheisyyden tunteen ihmistenvälisen viestinnän aikana (Lombard & Ditton, 1997).

Toinen Lombardin ja Dittonin (1997) tunnistama läsnäolon käsite, läsnäolo realismina, riippuu siitä, kuinka käyttäjä havaitsee virtuaaliympäristön ja sitä asuttavat hahmot realistisina. Lombard ja Ditton (1997) erottivat kaksi realismin muotoa, jotka voivat edistää läsnäolokokemusta: sosiaalinen- ja havainnollinen realismi. Sosiaalirealismilla tarkoitetaan sitä, missä määrin mediakuvaus on uskottava tai todenmukainen, koska se kuvaa tapahtumia, jotka tapahtuvat tai voivat tapahtua välittämättömässä maailmassa (engl. *nonmediated world*). Havainnollinen realismi viittaa siihen missä määrin välitetyt esineet näyttävät todellisen maailman vastineilta. (Lombard ja Ditton, 1997).

Läsnäolo kuljetuksena viittaa havaintoilluusioihin, joihin liittyy reaalisten tai virtuaalisten objektien tilallinen uudelleensijoittelu. Lombardin ja Dittonin (1997) taksonomiaan sisältyy kolme erityyppistä läsnäoloa kuljetuksena:

- 1) "Olet siellä" sisältää tunteen, jossa sinut kuljetetaan johonkin muuhun sijaintiin. Tähän on viitattu myös termeillä telemaattinen läsnäolo (Minsky, 1980), virtuaalinen läsnäolo (Sheridan, 1992), tai fyysinen läsnäolo (Biocca, 1997; IJsselsteijn, 2000).
- 2) "Se on täällä" tarkoittaa virtuaalisten tai todellisten esineiden ja ympäristöjen kuljettamista käyttäjälle ja liittyy objektien esiintymisen käsitteeseen (Stevens & Jerrams-Smith, 2001).

- 3) "Olemme yhdessä" käytetään kuvaamaan kuinka kaksi tai useampi käyttäjä voi kokea sensaation, että heidät kuljetetaan johonkin yhteiseen sijaintiin. Tätä kutsutaan joskus myös kopresenssiksi (Zhao, 2003; Muhlbach, Bocker ja Prussog, 1995).

Lombard ja Ditton (1997) selittivät, että toisinaan läsnäoloa pidetään käyttäjän immersion tuloksena. Erityisesti on mahdollista erottaa kaksi immersion muotoa: havainnollinen ja psykologinen immersio. Havainnollinen immersio saavutetaan korvaamalla reaali maailmassa esiintyvät ärsykkeet keinotekoisien ärsykkeiden avulla mm. päähän kiinnitetyillä näytöillä, spatialisoiduilla äänijärjestelmillä, haptisilla käsiineillä ja kengillä sekä muilla vastaavilla teknisillä innovaatioilla (Lombard & Ditton, 1997). Kuten mainittu, immersiota voidaan myös kuvata psykologisena ilmiönä (kts. McMahan 2003; Witmer ja Singer, 1998). Lombard ja Ditton (1997) sanoivat, että immersioivinen läsnäolo voi olla riippuvainen käyttäjän huomion luovuttamisesta. Läsnäolo psykologisena immersiona on siten mitattavissa oleva käsite perustuen virtuaaliympäristöön kohdistetun huomion määrään, todellisen maailman tapahtumien sijaan (VanBaren & Ijsselstein, 2004; Nordahl & Korsgaard, 2008).

Läsnäololla sosiaalisena toimijana välitetyssä ympäristössä tarkoitetaan, että läsnäolon kokemus voi liittyä myös yksilön reaktioihin selkeästi välitettyihin hahmoihin, kuten uutisankkureihin tai virtuaalisiin lemmikkeihin. Välitetyn sisällön tunnettavuudesta huolimatta on mahdollista, että käyttäjien käsitykset ja niistä johtuvat psykologiset prosessit johtavat heidät epäloogisesti unohtamaan keinotekoisien entiteettien välitetyssä sisällössä ja yrittävät olla vuorovaikutuksessa sen kanssa. (Lombard ja Ditton, 1997)

Lombard ja Ditton (1997) toteavat, että koska tietokoneet käyttävät luonnollista kieltä, ovat vuorovaikutuksessa reaaliajassa ja täyttävät perinteisiä sosiaalisia rooleja (esim. pankkivirkailija ja opettaja), jopa kokeneilla tietokoneen käyttäjillä on taipumus reagoida niihin sosiaalisina kokonaisuuksina. Siten käyttäjät saattavat vastata itse välitettyyn sisältöön samoin kuin toiseen ihmiseen (esim. käyttäjä saattaa torua

navigointijärjestelmää, joka on ohjannut hänet harhaan, vaikka tietäisi että tämä on turhaa). Tätä kuvaamaan he käyttävät termiä välitetyn ympäristön läsnäolo sosiaalisena toimijana. (Lombard & Ditton, 1997)

Näistä kuudesta Lombardin ja Dittonin esittämästä käsitteestä, läsnäolo kuljetuksena on yleisimmin käytetty kuvaamaan läsnäolon tunnetta immersiiivisissä virtuaaliympäristöissä (Nordahl & Nilsson, 2014). Immersiivisten virtuaalijärjestelmien arvo pohjustuu suuresti niiden kykyyn saada ihmiset tuntemaan ja toimimaan kuin he olisivat oikeasti virtuaaliympäristössä. Slater ja muut (2009) määrittelivätkin läsnäolon ilmiöksi, joka tapahtuu, kun ihmiset reagoivat virtuaalisiin ärsykkeisiin. Tarkemmin sanottuna tämän reaktion tulisi olla samanlainen kaikissa ihmisen käyttäytymisen tasoissa: ei-tietoisessa fysiologisessa käyttäytymisessä, automaattisissa reaktioissa, tietoisessa tahdonalaisessa käyttäytymisessä ja kognitiivisessa prosesseissa (Sanchez-Vives & Slater, 2005). Slater ja kollegat ovat tarkentaneet tätä näkemystä käyttäjien reaktioista immersiiivisiin virtuaaliympäristöihin ehdottamalla, että läsnäolo ei ole ainoa tekijä, joka määrittelee, reagoiko yksilö realistisesti virtuaalisiin ärsykkeisiin (Slater, 2009).

Slater (2009) esitti hypoteesiin, jonka mukaan tämä *response-as-if-real* (RAIR) johtuu siitä, että samanaikaisesti tapahtuu kaksi havaintoharhaa: paikkailluusio (engl. *place illusion*, illuusio siitä, että olet todella siellä) ja uskottavuusilluusio (engl. *plausibility illusion*, illuusio siitä, että tapahtuvat tapahtumat todella tapahtuvat). Yhdistettynä immersion ja virtuaalisen kehon käsitteisiin, paikka- ja uskottavuusilluusio muodostavat käsitteellisen kehyksen selittämään, kuinka immersiiivinen virtuaalitodellisuus voi muuttaa meidän kokemustamme tilasta ja itsestämme (Slater, 2009).

Taulukko 2. Yhteenveto esitellyistä läsnäolon käsitteellisistä.

Läsnäolo sosiaalisena rikkautena	Tarkoittaa välineen kykyä tuottaa välittömän läheisyyden tunteen ihmistenvälisen viestinnän aikana. (Lombard & Ditton, 1997)
Läsnäolo realismina	Viittaa siihen, kuinka käyttäjä havaitsee virtuaaliympäristön ja sitä asuttavat hahmot realistisina. Voidaan erotella kaksi realismin muotoa: sosiaalinen- ja havainnollinen realismi. Sosiaalirealismilla tarkoitetaan sitä, missä määrin mediakuvaus on uskottava tai todenmukainen. Havainnollinen realismi viittaa siihen missä määrin välitetyt esineet näyttävät todellisen maailman vastineilta. (Lombard & Ditton, 1997)
Läsnäolo kuljetuksena	Viittaa havaintoilluusioihin, joihin liittyy reaalisten tai virtuaalisten objektien tilallinen uudelleensijoittelu. (Lombard & Ditton, 1997)
Läsnäolo immersiona	Toisinaan läsnäoloa pidetään käyttäjän immersion tuloksena. On mahdollista erottaa kaksi immersion muotoa: havainnollinen ja psykologinen immersio. Havainnollinen immersio saavutetaan korvaamalla reaali maailmassa esiintyvät ärsykkeet keinotekkoisten ärsykkeiden avulla. Läsnäolo psykologisena immersiona on mitattavissa oleva käsite perustuen virtuaaliympäristöön kohdistetun huomion määrään, todellisen maailman tapahtumien sijaan. (Lombard & Ditton, 1997)
Läsnäolo sosiaalisena toimijana välitetyssä ympäristössä	Läsnäolon kokemus voi liittyä yksilön reaktioihin selkeästi välitettyihin hahmoihin. (Lombard & Ditton, 1997)
Välitetyn ympäristön läsnäolo sosiaalisena toimijana	Käyttäjät saattavat vastata välitettyyn sisältöön samoin kuin toiseen ihmiseen. (Lombard & Ditton, 1997)

5.1 Paikkailluusio

Slaterin (2009) mukaan, paikkailluusio on käytännössä sama kuin läsnäolon subjektiivinen tuntemus, eli siellä olemisen kvalia siitä huolimatta, että tiedät ettei todella ole siellä. Selventäessään kuinka paikkailluusio liittyy järjestelmä immersioon, Slater (2003) käyttää metaforaa valon aallonpituusjakauman ja värin havaitsemisen välisestä suhteesta. Aivan kuten väri voidaan kuvata objektiivisesti sen aallonpituusjakauman perusteella, niin myös immersio voidaan kuvata objektiivisten ominaisuuksien, kuten kuvataajuuden, liikkeiden jäljityksen tarkkuuden tai näkökentän koon perusteella. Vaikka aallonpituusjakauma ja immersio ovat objektiivisesti kuvattavia, molemmat johtavat subjektiivisiin kokemuksiin: havaittuun väriin ja paikkailluusiin. Täten paikkailluusiota voidaan kuvata ihmisen reaktiona immersioon (Slater, 2003). Sensorimoottoristen kontingenssien (engl. *sensomotor contingencies*) kannalta tämä tarkoittaa, että paikkailluusio tapahtuu normaalien sensomotoristen kontingenssien vaihteluvälin funktiona (Slater 2009). Paikkailluusion on täysin mahdollista vaihdella yksilöiden välillä, vaikka nämä altistuisivat samoille järjestelmille (Slater, 2009). Esimerkiksi, yksi henkilö voi testata järjestelmän rajoja esimerkiksi tarkastelemalla ympäristön osia tarkemmin kuin toinen henkilö. Jos näyttöjen tarkkuus ei pysty selviytymään tällaisesta tarkasta tarkastelusta, paikkailluusio saattaa hävitä tälle henkilölle, sen säilyessä toisella henkilöllä.

5.2 Uskottavuusilluusio

Toisin kuin paikkailluusio, uskottavuusilluusio ei ole suora seuraus yksilön kyvystä havaita virtuaalista ympäristöä. Sen sijaan tämä havainnollinen illuusio syntyy sen seurauksena, mitä ihminen kokee tässä ympäristössä. Tarkemmin sanottuna uskottavuusilluusio ilmenee, kun tapahtumat koetaan todella tapahtuvan, huolimatta siitä tiedosta, että ne eivät tapahdu (Slater, 2009). Rovira ja muut (2009) kuvaavat, että uskottavuusilluusio voi olla riippuvainen kolmesta ehdosta:

- 1) Käyttäjän suorittamien toimintojen on tuotettava vastaavia reaktioita virtuaaliympäristössä (esim. virtuaalinen hahmo saattaa välttää silmäkontaktia ja astua sivuun, jos käyttäjä tuijottaa ja osoittaa aggressiivista kehonkieltä (Rovira ym., 2009)
- 2) Ympäristön tulisi reagoida suoraan käyttäjän kanssa, vaikka käyttäjä ei suorittaisi yllyttäviä toimintoja (esim. virtuaalinen hahmo saattaa reagoida käyttäjän läsnäoloon, vaikka käyttäjä ei lähesty tai huomio tätä hahmoa (Rovira ym., 2009)
- 3) Ympäristö ja sen sisällä tapahtuvien tapahtumien on oltava uskottavia. Toisin sanoen, niiden on vastattava käyttäjien tietämystä ja odotuksia, jotka ovat kertyneet eliniän aikana tapahtuneista vuorovaikutuksista (Rovira ym., 2009).

Erityisesti vaikuttaa siltä, että järjestelmän on vastattava käyttäjien odotuksia fysiikan laeista sosiaaliin normeihin ja tapoihin. Vaikka uskottavuusilluusio ei välttämättä ole identtinen läsnäolo realismina kanssa, niillä on jotain yhteisiä piirteitä. Illusion syntymiseksi vaaditaan, että mediakuvaus on uskottava tai todenkaltainen, koska se heijastaa tapahtumia, jotka tapahtuvat tai voivat tapahtua välittämättömässä maailmassa (Lombard ja Ditton, 1997).

5.3 Virtuaalinen keho

Slater (2009) kuvaa kehoa, ”toiminnan keskipisteeksi, jossa paikka- ja uskottavuusilluusio ovat sulautuneet” Ollessamme vuorovaikutuksessa fyysisen todellisuuden kanssa meille syötetään jatkuvasti informaatiota kehoistamme näön, kuulon ja muiden aistien avulla. Slater (2009) väittää, että tämä kyky havaita itseämme toimii konfirmaationa paikkailluusiolle. Toisin sanoen, jos pystymme havaitsemaan kehomme, meidän on oltava ”siellä”. Siksi kyky tarjota uskottava virtuaalinen keho immersiiivisten virtuaalijärjestelmien käyttäjille on olennaista paikkailluusion luomiseksi (Slater, 2009). Slater (2009) ehdottaa, että korrelaatio todellisen kehon asentoaistin ja virtuaalikehon

representaation välillä voi johtaa uskottavaan omistajuuden tunteeseen virtuaalikehölle. On kuitenkin tärkeää muistaa, että kyky havaita kehomme immerstiivisen virtuaalitodellisuuden sisällä on kaikkea muuta kuin itsestään selvää, koska se vaatii tarkkaa paikannusta ja multimodaliteettista stimulaatiota (Nilsson & Nordahl, 2016).

5.4 Läsnaolon mittaaminen

Slaterin (2004) mukaan, suuri haaste lasnaolotutkimuksessa on kysymys, kuinka lasnaoloa tulisi mitata. Yleisin lähestymistapa on käyttää kyselylomakkeita. Osallistujat suorittavat jonkun tehtävät virtuaaliympäristössä ja sen jälkeen vastaavat kyselylomakkeelle heidän kokemuksestaan. Kysymyksissä käytetään tavallisia asteikkoja, jotka ankkuroivat vastauksen kahden ääripään välille. Esimerkiksi 1 voi tarkoittaa "ei lasnaoloa" virtuaalisessa ympäristössä ja 7 tarkoittaa "täydellistä lasnaoloa". Varhaisimmat kyselylomakkeet on johdettu tarkkailemalla ja kuuntelemalla osallistujia haastatteluissa. Myöhemmät kyselylomakkeet on johdettu aikaisemmista tekijäanalyysitutkimuksista. (Slater, 2004)

Kyselypohjaiset lasnaolon arviointi menetelmät ovat osoittautuneet epävarmoiksi siinä mielessä, että aikaisempi informaatio voi muokata tuloksia. On myös todisteita, jotka ehdottavat, että tyyppilliset kyselylomakkeet eivät erotella lasnaoloa virtuaaliympäristön ja fyysisen todellisuuden välillä. Kyselylomakkeiden käyttöä on haastettu havainnoilla, että niillä ei voida välttää metodologista kiertävyyttä (engl. *methodological circularity*). Eli itse lasnaoloa koskevien kysymyksien esittäminen voi tapahtuman jälkeen johtaa siihen ilmiöön, jota itse kyselylomakkeen tulisi mitata Slater kertookin, että koska lasnaolon käsitettä ei ole vakiinnutettu kenenkään tutkijan toimesta tunnistettavaksi henkiseksi ominaisuudeksi tai mielentoiminnaksi, sen mittaaminen on ongelmallista. Ei ole todisteita, että tämä lasnaolon tila olisi olemassa tunnistettavan mentaalisen aktiviteetin tai attribuutin muodossa. Ja vaikka tällainen tunnistetta ominaisuus olisikin olemassa, ei sitä voitaisi tunnistaa käyttämällä tapahtuman jälkeisiä kyselyitä. Kysymällä

käyttäjiltä, kuinka läsnä he kokivat olevansa ei anna mitään tietoa tietyistä mielentiloista tai niihin liittyvistä käyttäytymismekanismeista ja psykologisista mekanismeista. (Slater, 2004)

Koska kyselylomakkeet ovat yksi yleisimmin käytetyistä mittareista läsnäolotutkimuksessa, niiden käyttöön liittyvät ongelmat ja epävarmuudet johtavat niitä hyödyntävien tutkimuksien arvon laskemiseen. Slateria (2004) kompaten, tutkijoiden tulisi löytää parempi tapa mitata tätä vaikeasti määriteltävää konseptia, jotta läsnäolotutkimus voisi kehittyä.

6 ÄÄNEN VAIKUTUS IMMERSIOON JA LÄSNÄOLOON

Tässä kappaleessa esittelen ääneen ja äänentoistojärjestelmiin liittyviä teknologioita, ominaisuuksia ja ratkaisuja, sekä tutkin kuinka nämä voivat vaikuttaa järjestelmän immersioon. Järjestelmä immersio kuvattiin olevan riippuvainen siitä, missä määrin järjestelmä pystyy seuraamaan käyttäjien liikkeitä ja tarjoamaan tarkkaa asianmukaista palautetta mahdollisimman monessa modaliteetissa. Tämän jälkeen tutkin kuvattujen äänen ominaisuuksien suhdetta auditiivisesti indusoiuihin paikkailluusiioihin, uskottavuusilluusiioihin, ja virtuaalisen kehon omistajuuden tunteeseen, jotka ovat olennaisia läsnäolon tunteen kokemisessa.

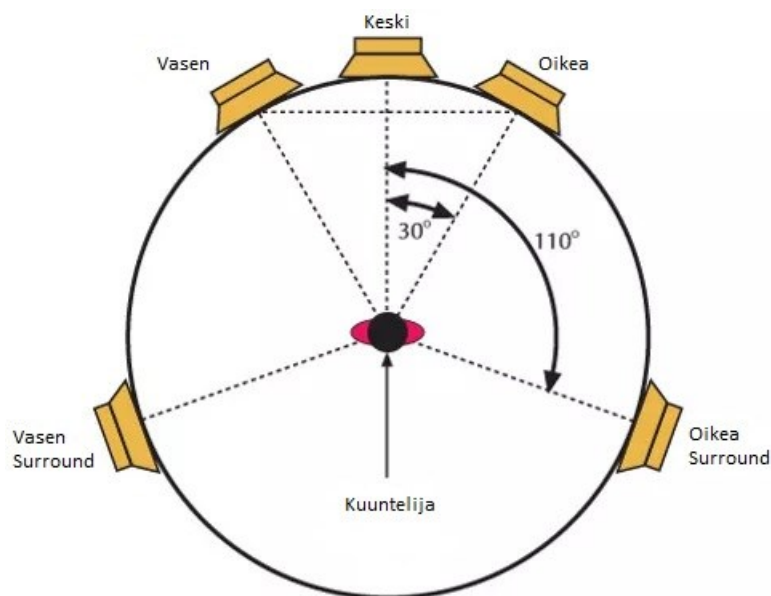
6.1 Ääneen liittyvät teknologiat

Larsson ja muut (2010) toteavat, että auditiivisten ympäristöjen tilallisten ominaisuuksien tärkeys on huomattu jo silloin, kun ensimmäiset stereojärjestelmät rakennettiin 1930-luvulla. Kirjalijat myös huomauttavat, että tilallisen äänentoiston tavoitteena on luoda kuva käyttäjää ympäröivästä auditiivisesta ympäristöstä 3D-tilassa, jäljittelemällä siten auditiivista todellisuutta (Larsson ym., 2010). Täten voidaan todeta, että tilaäänen renderöinnillä ja immersiiivisillä virtuaalijärjestelmillä on yhteinen tavoite tuottaa illuusiota paikasta ja uskottavuudesta. On mahdollista erottaa kaksi erityyppistä toimitustapaa tilalliselle äänelle, äänikenttäkohtaiset menetelmät (Rumsey, 2001) ja päähän liittyvät menetelmät (Begault, 1994).

6.1.1 Äänikenttäkohtaiset toimitusmenetelmät

Kenttäkohtaiset menetelmät perustuvat monikanavaisiin äänentoistojärjestelmiin äänikentän luomiseksi, jonka sisällä ääni on spatialisoitu luonnollisella tavalla. Kaiuttimien määrä määrää tämän alueen koon, jota kutsutaan myös ”ihannepisteeksi” (ks. kuva 3.) (Larsson ym., 2010). Kuvaillessaan, kuinka tällaiset järjestelmät helpottavat

äänen spatialisoitumista, Shinn-Cunningham ja Shilling (2002) selittävät, että jokaiseen korvaan milloin tahansa saapuva akustinen kokonaissignaali määritetään yksinkertaisesti ympäristön yksittäisistä äänilähteistä peräisin olevien signaalien summalla. Täten, muuttamalla ryhmän kaiuttimista tuotettujen signaalien ominaisuuksia, on mahdollista vaikuttaa spatiaalisiin äänivihjeisiin. Näitä ovat binauraaliset (kaksikorvaiset) vihjeet, kuten korvien väliset aikaerot, korvien väliset intensiteetti erot ja kaiuttomat etäisyysvihjeet, kuten äänen spektri (Shinn-Cunningham & Shilling, 2002). Tämä prosessi ei ole kuitenkaan helppo, koska kenttäpohjaiset menetelmät eivät salli kumpaankin korvaan saapuvien signaalien manipulointia täysin toisistaan riippumatta. Kaiuttimien sijoittelu ja huoneakustiikka ovat siksi välttämättömiä, jos halutaan käyttää tällaista menetelmää (Shinn-Cunningham & Shilling, 2002). Larsson ja muut (2010) toteavat, että ääntä on mahdollista spatialisoida entistä luonnollisemmin kanavien lukumäärän kasvaessa ja käyttämällä hienostuneempia spatiaalisia renderöintimentelmiä, kuten ambisonics-tekniikkaa (Gerzon, 1985), vektoripohjaista amplitudipanorointia (Pulkki, 1997), ja aaltokenttäsynteesiä (Horbach ym., 2002).



Kuva 3. Ihannepisteen sijainti 5.1 Surround järjestelmässä.

6.1.2 Pääkohtaiset toimitusmenetelmät

Toisin kuin kenttäpohjaiset menetelmät, pääkohtaiset äänen renderöintimenetelmät, tai binauraaliset järjestelmät mahdollistavat kumpaankin korvaan saapuvan äänen hallinnan. Hallinta mahdollistetaan tyypillisesti kuulokkeilla, jotka eristävät kummallekin korvalle tarkoitettun signaalin, rajoittaen siten ylikuulumista (engl. *crosstalk*) (Larsson ym, 2010). Tarkempien binauraalisten vihjeiden hallinnan lisäksi, ei-toivotut äänet, kuten kaiut (engl. *echo*) ja jälkikaiunta (engl. *reverberation*) eivät pääse kuuntelijan korviin. Kuulokkeiden käytöllä voi olla myös huonoja puolia, sillä käyttäjä voi kokea kuulokkeet häiritsevinä (Shinn-Cunningham & Shilling, 2002). Shinn-Cunningham ja Shilling erottelivat kolme erityyppistä kuulokesimulaatiota: dioottiset näyttölaitteet, dikotiset näyttölaitteet ja spatialisoitu ääni.

Ensin mainittu tarkoittaa yksinkertaisesti identtisten signaalien toistamista molemmilla kanavilla. Tämä voi johtaa ns. pään sisäiseen lokalisaatioon (Plenge, 1974), koska kuuntelija kokee, että kaikki äänilähteet sijaitsevat pään sisällä (Shinn-Cunningham & Shilling, 2002). Tätä ilmiötä kutsutaan lateralisatioksi (engl. *lateralization*) (Plenge, 1974).

Toiseksi Shinn-Cunningham ja Shilling (2002) viittaavat dikotisiksi näyttölaitteiksi stereosignaaleja, jotka sisältävät vain taajuusriippuvaista korvienvälistä intensiteettiä tai aikaeroa. He kuvaavat tämän tyyppistä näyttölaitetta hyvin yksinkertaisena, koska vaikutus voidaan saavuttaa skaalaamalla ja viivästyttämällä kumpaankin korvaan saapuvaa signaalia. Aivan kuten dioottisissa näyttölaitteissa, tämä ei mahdollista äänilähteiden asianmukaista spatialisointia, koska kuuntelijat saattavat tuntea, että äänet vain liikkuvat pään sisällä korvasta toiseen. (Shinn-Cunningham & Shillin, 2002)

Lopuksi spatialisoitu ääni mahdollistaa suurimman osan todellisessa maailmassa esiintyvien tilavihjeiden renderöimisen. Tämä saavutetaan suodattamalla äänisignaali ja muuntamalla se siten, että jäljitellään akustista signaalia, joka on ollut vuorovaikutuksessa kuuntelijan vartalon, pään ja ulkokorvien kanssa (Shinn-Cunningham

ja Shilling, 2002; Larsson ym., 2010). Tämä muutos saavutetaan ns. päähän liittyvien siirtofunktioiden (engl. *head-related transfer functions, HRTFs*) avulla. Ihannetapauksessa tulisi käyttää kuuntelijalle ainutlaatuista HRTF:ää, mutta koska tällainen tilanne olisi hyvin epäkäytännöllinen, käytetään usein yleistettyä HTRF:ää (Larsson ym., 2010).

6.2 Immersiivisen äänijärjestelmän ominaisuuksia

Spatiaalisissa äänentoistojärjestelmissä tulisi ensisijaisesti ottaa huomioon:

- 1) Onko järjestelmä tarkoitettu äänentoistoon vain yhdestä sijainnista, vai tulisiko kuuntelijan olla mahdollista vaihtaa hänen sijaintiaan käyttämättä päänsuurantaa ja vastaavaa äänimaailman uudelleensyntetisointia?
- 2) Kuinka suuri kuuntelualue vaaditaan?
- 3) Järjestelmän monimutkaisuus ja kustannukset
- 4) Onko huoneessa, jossa järjestelmää käytetään, ei-toivottuja akustisia ominaisuuksia (esim. huoneen jälkikaiunta, ulkoinen melu, jne.)?
- 5) Minkä tyyppistä visuaalista renderöinti- tai esitysjärjestelmää käytetään äänijärjestelmän kanssa. (Larsson ym., 2010)

Stationaaristen visuaalisten järjestelmien asetukset yleensä rajoittavat käytettyjen kaiuttimien lukumäärää ja kokoonpanoa, mikä vähentää merkittävästi spatiaalisen äänijärjestelmän ominaisuuksia. Kuulokkeiden käytössä sen sijaan käyttäjä tietää varmasti, että ääni välitetään kuulokkeiden kautta. Vertailua kuulokkeiden ja kaiuttimien vaikutuksesta tiläänneen ja läsnäolon tunteeseen ei ole tiedettävästi tehty, pois lukien Sandersin ja Scorgien (2002) tutkimus, jossa ei käytetty asianmukaista binauraalista synteisiä kuulokkeiden toisto-olosuhteissa. Täten tutkimuksessa ei saatu riittävää käsitystä ääniperäisen paikannuksen tarkkuuden merkityksestä läsnäolon tunteen syntymiseen (Larsson ym., 2010).

On tutkittu, että erityisesti suljettujen ja korviensisäisten kuulokkeiden käyttö johtaa kohotettuun kuuloon liittyvään itsetietoisuuteen samalla tavalla kuin korvatulppien käyttö, ja täten vaikuttaa negatiivisesti läsnäolon tunteeseen (Murray, Arnold & Thornton, 2000; Porschmann, 2001). Jo pelkkä kontakti korvan ja kuulokkeen välillä voi signaloida käyttäjälle, että tulevat äänet eivät ole aitoja, täten heikentäen läsnäolon tunnetta. Binauraalinen synteesi voi myös johtaa korkeaan auditiivisen renderöinnin päivitysnopeuteen ja alhaisempaan ulkoistamisen tunteeseen. Kuulokkeiden äänentoiston positiivisia piirteitä on, että niitä voidaan käyttää kannettaviin sovelluksiin, kuten AR-järjestelmiin, ja että kuuntelutilan akustiset ominaisuudet ovat vähemmän kriittisiä (Larsson ym., 2010).

Ottaen huomioon aikaisemmin esitettyjä äänikenttä- ja pääkohtaisten toimitus- ja renderöintimenetelmien liittyviä heikkouksia ja vahvuuksia, nykyaikaiset IVR-järjestelmät ovat alkaneet hyödyntämään ”off-ear” kuulokkeita (Valve, 2020). Tällaiset kuulokkeet eivät lepää korvien päällä tai ympärillä, vaan jo valmiiksi päässä pidettävä järjestelmä mahdollistaa kuulokkeiden ”leijumisen” korvien läheisyydessä. Off-ear kuulokkeiden käyttö parantaa käyttömukavuutta, ja vähentää aiemmin mainittuja ongelmia kuuloon liittyvän itsetietoisuuden kanssa.



Kuva 4. Off-ear kuuloke Valven Index virtuaalitodellisuusjärjestelmässä. (Valve, 2020)

6.3 Immersiivisen äänen ominaisuuksia

Koska spatiaalisilla ominaisuuksilla on mahdollisesti suuri vaikutus läsnäolon tunteeseen, tarkka synteesi huoneen akustiikasta on erittäin tärkeää spatiaaliselle äänelle virtuaaliympäristöissä (Larsson ym., 2010). Lisäksi reaaliaikaiset muutokset auditiivisessa ympäristössä, jotka heijastavat käyttäjän tai äänenlähteen liikettä voi olla välttämätöntä läsnäolon tunteen luomisessa (Durlach & Mavor, 1995). Akustisia ennustealgoritmeja, jotka simuloivat aikaisia ääniheijastuksia (<100ms) ja hajakaiuntakenttiä (engl. *diffuse reverberation field*) reaaliajassa kutsutaan usein virtuaaliakustiikoiksi (Larsson ym., 2010). Reaaliaikaisessa auralisoinnissa käytetään yleensä kahta strategiaa:

- 1) fysiikkapohjaista lähestymistapaa, jossa geometriset akustiikkatekniikat mukautetaan vastaamaan alhaisia syöte-tuloste viivevaatimuksia (Savioja, Huopaniemi, Lokki & Väänänen, 1999), tai
- 2) havainnollista lähestymistapaa, jossa luodun kuuntelijan attribuutit, kuten huoneen verhoaminen ovat tärkeitä huolenaiheita (Jot & Warusfel, 1995).

Monimutkaisten ja korkealaatuisten huoneakustiikkojen sekä, auditiivisten tilojen renderöinti reaaliajassa vaativat yhä omistettuja moniprosessorijärjestelmiä tai hajautettuja laskentajärjestelmiä (Larsson ym., 2010). Ongelma useiden äänilähteiden simuloimisessa tehokkaasti asianmukaisten huoneakustiikkojen kanssa on yhä yksi iso ratkaisematon ongelma virtuaalisissa akustiikkasovelluksissa (Durlach & Mavor, 1995). Yleinen lähestymistapa synteesiresurssien mukauttamiseksi on käyttää automaattista etäisyyspoimintaa (engl. *distance-culling*), mikä tarkoittaa, että etäisimpiä äänilähteitä ei renderöidä (Larsson ym., 2010). Kuultavia vääristymiä voi syntyä, kun suuri määrä äänilähteitä on lähellä kuuntelijaa ja äänet edustavat yhtä suurta kohdetta, kuten autoa (Larsson ym., 2010). Laajentamalla havainnollisen lähestymistavan filosofiaa ja ottamalla huomioon kuulojärjestelmät alueelliset peittovaikutukset (Faller & Baumgarte, 2003; Breebaart, van de Par, Kohlrausch & Schuijers, 2005), voidaan tuottaa vain havainnollisesti merkityksellistä tietoa, mikä tukee suurta määrää lähteitä (Tsingos, Gallo & Drettakis, 2003).

6.4 Äänen vaikutus paikkailluusiioon

Kuten paikkailluusiio kappaleessa mainittiin, Slaterin (2003) mukaan paikkailluusiota voidaan ajatella ihmisen reaktiona immersioon. Seuraavassa osiossa esittelen olemassa olevia tutkimuksia liittyen äänen rooliin paikkailluusiion luomisessa. Larsson ja muut (2010) kuvailivat neljä äänen ominaisuutta, jotka voivat vaikuttaa paikkailluusiion ja läsnäolon tunteeseen: spatiaaliset ominaisuudet, auditiivinen taustatekijä, johdonmukaisuus modaliteettien sisällä ja välillä, ja laatu sekä sisältö.

6.4.1 Spatiaaliset ominaisuudet

Koska kuuloaistin spatiaalinen tarkkuus on heikompi kuin näkö- ja asentoaistin, voisi luulla, että se on merkityksetön paikkailluusion suhteen, joka on luonnostaan spatiaalinen illuusio (Shinn-Cunningham & Shillin, 2002). Vaikka spatiaalisesta kuulosta puuttuu näkö- ja asentoaistin tarkkuus, se on silti tärkeä ympäröivän ympäristön havaitsemiseksi. Evoluution näkökulmasta kuulon yksi vanhimmista ja olennaisimmista toiminnoista oli hälyttää kuuntelijaa. Kyky kuulla ja paikantaa potentiaaliset saalistajat sekä saaliit ennen kuin ne astuvat kuuntelijan näkökenttään antoi kilpailullisen edun (Hermann & Ritter, 2004). Sen lisäksi, että ääni tarjoaa tietoa näkökenttämme ulkopuolella olevasta ympäristöstä, se vaikuttaa myös näkyvien ja konkreettisten esineiden ja tapahtumien havaitsemiseen. Ventrilokvisti-ilmiö (auditiivinen illuusio, jossa äänen havaitaan virheellisesti tulevan lähteestä, jonka nähdään liikkuvan tilanteeseen sopivasti, kun se oikeasti tulee jostain näkemättömästä lähteestä) on yksi esimerkki siitä, kuinka yhden modaalisuuden ärsykkeet voivat vaikuttaa toisen alueen tilahavaintoihin. Joten tarkkuuden rajoituksista huolimatta, spatiaalinen kuulo on tärkeä, kun havaitsemme tilaa.

Larsson ja muut (2010) tutkimuksessaan esittivät empiiristä näyttöä siitä, että äänen tilaominaisuudet vaikuttavat positiivisesti paikkailluusion. Hendrix ja Barfield (1996) kuvaavat kahta tutkimusta, joissa tutkittiin kuinka spatialisoitu ääni vaikuttaa läsnäolon tunteen kokemiseen. Yhdessä tutkimuksessa he vertasivat äänettämiä virtuaalisia ympäristöjä ympäristöihin, joissa on spatialisoitua ääntä. Toisessa tutkimuksessa he vertasivat ympäristöjä, jotka sisälsivät auditiivisiä vihjeitä, jotka olivat joko spatialisoituja tai ei. Tulokset osoittivat, että osallistujilla, jotka olivat äänettämissä ympäristöissä, oli pienempi todennäköisyys kokea läsnäolon tunnetta (Hendrix & Barfield, 1996). Spatialisoituja ääniä pidettiin realistisempina ja niiden katsottiin olevan lähtöisin ympäristössä olevista lähteistä (Hendrix & Barfield, 1996). Myös huoneen akustiikan vihjeet ja binauraalinen simulointi voi vaikuttaa positiivisesti läsnäolon tunteeseen (Larsson, Västfjäll & Kleiner, 2003, 2007). Yksi tutkimus osoitti, että

virtuaaliympäristöissä, joissa ei ole visuaalisuutta, huoneakustiikan vihjeiden esittäminen oli selvästi parempi kuin kaiuttomien esityksien käyttäminen (engl. *anechoic representations*) (Larsson, Västfjäll & Kleiner, 2007). Toinen tutkimus paljasti myös, että audiovisuaalinen virtuaaliympäristö, joka sisälsi binauraalista simulaatiota aiheutti huomattavasti voimakkaamman läsnäolon tunteen kuin, ympäristöt, jotka sisälsivät stereoäänen jäljentämistä. Molemmat ympäristöt sisälsivät huoneakustiikka vihjeitä (Larsson, Västfjäll & Klenner 2003).

6.4.2 Auditiivinen tausta

Yksi syy miksi auditiivinen modaaliteetti voi olla ratkaisevan tärkeä läsnäolon tunteen luomisessa, on, että sitä ei koskaan ”sammuteta”. Larsson ja muut (2010) kuvaavat auditiivisen ympäristön relatiivista ominaisuutta, joka voi vaikuttaa läsnäolon tunteeseen, niin sanottua auditiivista taustaa (engl. *auditory background*). Auditiivinen tausta voidaan ymmärtää auditiivisen informaation jatkuvana virtana, joka saapuu korviimme ja täten luo auditiivisen taustan havainnoille, jota sillä hetkellä koemme. Tämä tausta voi esimerkiksi sisältää ääniä kuten kellon tikitystä, lehtien havinaa, omiemme tai toisten askeleiden ääniä. (Larsson ym., 2010; Ramsdell, 1978). Hendrixin ja Barfieldin (1996) tutkimus osoittaa, että hiljaisuus vaikuttaa negatiivisesti läsnäolon kokemukseen. Tämä myös antaa uskottavuutta väitteelle, että auditiivisella taustalla on positiivinen vaikutus läsnäolon kokemukselle (Nordahl & Nilsson, 2014). Murray ja muut (2000) järjestivät kokeen, jossa yksilöt suorittivat sarjan tuttuja tehtäviä, joissa heidän kuulonsa oli peitetty korvakuulokkeiden avulla. Heidän kokemuksensa aistien puutteesta arvioitiin itseraporttien avulla. Tulokset osoittivat, että auditiivinen tausta on tärkeä ympäristöön ankkuroidulle läsnäolon tunteelle, eli toisin sanoen tunteelle, että olemme osa ympäristöä (Murray, Arnold & Thornton, 2000).

6.4.3 Laatu ja sisältö

Kolmas äänen ominaisuuden kategoria, joka voi vaikuttaa läsnäolon tunteeseen on laatu ja sisältö (Larsson ym., 2010). Ozawa ja muut (2003) altistivat osallistujia ekologisten

äänten binauraalisiin representaatioihin tarkoituksenaan selvittää, kuinka äänen laatu, informaatio ja lokalisointi vaikuttivat itseraportoituihin läsnäolon luokituksiin. Informaatiolla ja lokalisaatiolla vaikutti olevan suurin vaikutus. Lisäksi Larsson ja muut (2010) raportoivat tutkimustuloksista, jotka osoittavat, että äänenpainetaso muutokset saattavat vaikuttaa läsnäolon tunteeseen. Yksi tutkimus osoitti, että basson lisääminen ralliauto videosekvenssiin synkronoidun äänen kanssa lisäsi läsnäolon tunnetta (Freeman ja Lessiter, 2001). Samoin Ozawa ja Miyasaka (2004) osoittivat skenaariossaan, että auton sisällä ollessamme kuulemaamme ääneen verrattava ääni, tuotti korkeamman läsnäolon tunteen, kun sen äänenpainetaso oli korkeimmillaan. Tätä voidaan pitää osoituksena siitä, että korkeammat äänenpainetasot synnyttivät sensaation, että virtuaaliauto tärisisi (Larsson ym., 2010). Kiistämättä näiden tutkimuksien tuloksia, Nordahl ja Nilsson (2014) lisäsivät yhden varoittavan huomautuksen: edellä esitettyjen läsnäolonäkemyksen perusteella muoto ja sisältö tulisi erotella selvästi toisistaan, kun kyse on tekijöistä, jotka vaikuttavat läsnäolon tunteeseen. Läsnäolon tunne on medianmuodon eikä sisällön tuote. Tämä ei tarkoita, ettei sisällöllä olisi vaikutusta, vaan se merkitsee, että paikkailluusiolla ei ole mitään tekemistä sen kanssa, pitääkö käyttäjä tapahtumia mielenkiintoisina tai mielikuvia herättävinä (Nordahl & Nilsson, 2014). On kuitenkin tärkeää, että esitetty sisältö vastaa visuaalisen sisällön luomia odotuksia. Toisin sanoen, on tärkeää, että sisältö on johdonmukainen muiden aistien vastaanottamien ärsykkeiden kanssa (Chueng & Marsden, 2002).

6.4.4 Sisäinen ja monimuotoinen johdonmukaisuus

Ihmisen elämä on luonnostaan multimodaliteettista. Koemme ympäröivän maailman useiden aistikanavien avulla. Yhteneväisen tai epäyhteneväisen tiedon esittäminen samanaikaisesti kahden tai useamman modaliteetin kautta voi vaikuttaa positiivisesti tai negatiivisesti havaintoomme ja tiedonkäsittelyymme (Kohlrausch & van de Par, 1999). Tämä multimodaliteetti täytyy ottaa huomioon aina kun käsittelemme ihmisen ja tietokoneen välistä vuorovaikutusta (Pai, 2005; Lederman & Klatzky, 2001). Larsson ja

muut (2010) huomauttavat, että visuaalisen ja auditiivisen modaliteetin välinen yhdenmukaisuus on toistuva teema läsnäolotutkimuksessa.

Seuraavien tekijöiden uskotaan vaikuttavan läsnäoloon: toimitettujen ärsykkeiden tilaominaisuuksien välinen yhdenmukaisuus (Larsson ym., 2007), missä määrin audiovisuaaliset ärsykkeet edustavat samaa tilaa (Ozawa ym., 2003), ja visuaalisesti indusoitujen odotusten ja esitettyjen äänien välinen yhtenevyysaste (Chueng & Marsden, 2002). Storms ja Zyda (2000) ovat suorittaneet tutkimuksen, joka viittaa siihen, että yhden modaliteetin ärsykkeiden laatu saattaa vaikuttaa toisen havaittuun laatuun. He näyttivät henkilöille vaihtelevan laatuista kuvia näytöltä ja henkilöt saivat samalla vaihtelevan laatuista auditiivista palautetta kuulokkeista. Visuaalisen ärsykkeen laatua muutettiin vaihtelemalla pikseliresoluutiota ja auditiivisen ärsykkeen laatua muutettiin vaihtelemalla näytteenottotaajuutta (engl. *sampling frequency*). Lisäksi Gaussian valkoisen kohinan tasoja vaihdeltiin molemmissa ärsyketyypeissä. Tulokset vahvistavat, että auditiivisen ärsykkeen laatu voi vaikuttaa visuaalisen ärsykkeen havaittuun laatuun ja päinvastoin (Storms & Zyda, 2000). Lopuksi yhdenmukaisuus yhden modaliteetin sisällä voi vaikuttaa myös immerstiivisen virtuaalitodellisuusjärjestelmien kokemuksiin, mukaan lukien läsnäolon tunteeseen (Larsson ym., 2010). Nordahl ja Korsgaard (2008) löysivät, että semanttinen yhdenmukaisuus auditiivisen palautteen ja auditiivisen ympäristön välillä voi vaikuttaa auditiivisen ympäristön tunnistamiseen. Tämä konsepti huomattiin, kun he arvioivat heidän luomaa fysiikkaan perustuvaa äänisynteesimootoria. Syntetisoidut äänet oli reaaliajassa tuotettuja askelien ääniä kiinteällä ja aggregoidulla pinnalla. Luotu ääni perustui osallistujien maahan kohdistamaan voimaan heidän kävellessä. Järjestelmän arviointi osoitti, että osallistujat pitivät joissain tapauksissa helpompana tunnistaa simuloitua pintamateriaalia, kun tämä materiaali oli yhdenmukainen esitetyn auditiivisen kontekstin kanssa (Nordahl & Korsgaard, 2008). On myös osoitettu, että auditiivinen palaute voi olla parempi kuin haptiset ärsykkeet samantyyppisissä askelien ääniin perustuvissa tunnistustehtävissä (Nordahl & Korsgaard, 2010). Näyttää myös siltä, että yhdenmukaisuus modaliteettien välillä voi myös vaikuttaa auditiivisiin uskottavuusilluusioihin (Nordahl & Nilsson, 2014).

6.5 Äänen vaikutus uskottavuusilluusion

Toisin kuin visuaalinen ärsyke, ääni on luontaisesti ajallinen. Larsson ja muut (2010) kuvailivat asiaa näin:

Vaikka todellinen tai virtuaalinen visuaalinen kohtaaminen voi olla täysin staattinen, ääni on luonteeltaan jatkuvasti jatkuva ja elävä; se kertoo meille, että jotain tapahtuu (Larsson ym., 2010).

Täten voidaan olettaa, että auditiivisella modaliteetilla voi olla tärkeä rooli uskottavuusilluusion luomisessa. Kuitenkin täytyy huomioida, että vaikka tapahtumat vaikuttavat tapahtuvan, ei se tarkoita, että ne koettaisiin uskottaviksi (Nordahl & Nilsson, 2014). Esimerkiksi vaikka monien elokuvien ja tietokonepelien narratiivit tapahtuvat ja etenevät ajassa, kuvitteellisten hahmojen suorittamia tapahtumia ja toimia ei tarvitse nähdä uskottavina. IVR-tekniikkaa voidaan käyttää myös tällaisten epätodennäköisten tapahtumien ja toimien simulointiin (Nordahl & Nilsson, 2014). Uskottavuusilluusion syntymiseksi immerstiivisen virtuaalitodellisuusjärjestelmän tuli täyttää vähintään kolme kriteeriä:

- 1) Käyttäjän suorittamien toimintojen on tuotettava korreloivia reaktioita virtuaaliympäristössä
- 2) Ympäristön tulisi reagoida suoraan käyttäjän kanssa, vaikka käyttäjä ei suorittaisi yllyttäviä toimintoja
- 3) Ympäristö ja sen sisällä tapahtuvien tapahtumien on oltava uskottavia ja vastata käyttäjän odotuksia. (Nordahl & Nilsson, 2014)

Jos IVR sisältää muita aktiivisia itsenäisiä tai toisen käyttäjän hallitsemissa toimijoita, niiden toimet ja reaktiot tulisi luonnollisesti välitettävä todenmukaisella tavalla (Nordahl & Nilsson, 2014). Puheen ymmärrettävyydellä ja hienovaraisilla auditiivisilla vihjeillä, kuten äänensävyyn muutoksilla voi olla suuri merkitys, jotta vuorovaikutus vaikuttaisi uskottavalta (Nordahl & Nilsson, 2014). Lisäksi koska uskottavuusilluusion riippuu siitä, että virtuaaliympäristön tapahtumat vastaavat käyttäjän odotuksia, visuaalisesti

indusoitujen odotusten ja esitettyjen äänien välinen yhdenmukaisuusaste voi olla merkittävä tekijä uskottavuusilluusiolle (Chueng & Marsden, 2002). Samoin näyttää todennäköiseltä, että konsistenssi auditiivisessa modaliteetissa voi vaikuttaa uskottavuusilluusioon (Nordahl & Nilsson, 2014). Läsnaoloon vaikuttavia tekijöitä uskotaan olevan johdonmukaisuus yksittäisten äänien ja yleisen auditiivisen kontekstin välillä, sekä äänen luonteen ja spatialisoitumisen vastaavuus (Larsson ym., 2010). Ramsdell (1978) esitteli käsitteen psykologinen kytkentä (engl. *psychological coupling*). Psykologisella kytkennällä tarkoitetaan ilmiötä, joka tapahtuu, kun yksilö tuntee olevansa kykenevä vaikuttamaan ympäröivään ympäristöön ja siten ottamaan aktiivisen osallistujan roolin. Ääniympäristön havaitsemisen uskotaan vaikuttavan tähän ilmiöön (Ramsdell, 1978).

6.5.1 Virtuaalikehon omistus

Virtuaalisen kehon "omistaminen" (engl. *body ownership*) voi ilmetä seurauksena korrelaatiosta varsinaisen kehon asentoaistin ja virtuaalisen kehon näkyvyyden välillä. Illusion ei tarvitse kuitenkaan olla vain asentoaistin ja visuaalisten ärsykkeiden seuraus (Nilsson & Nordahl, 2014). On osoitettu, että visuaalisen ja taktiilisen stimulaation yhdistelmä voi tuottaa kehon omistajuuden. (Slater ym., 2008). Myös aivo/tietokone rajapintoja on käytetty luomaan heikompia variaatioita kehoilluusiosta (Slater ym., 2008). Kappaleessa 6.2 mainittu tutkimus korvatulppien käytön vaikutuksesta arkipäiväisien tehtävien tekoon (Murray, Arnold & Thornton, 2000) näyttää tarjoavan joitain olennaisia päätelmiä. Tutkimuksen osallistujilta estettiin kuuloaisti, joka johti vahvistuneeseen itsetajuntaan ja heikentyneeseen läsnäolon tunteeseen. Larsson ja muut (2010) implikoivat, että itse luodut auditiiviset äänet voivat negatiivisesti vaikuttaa paikkailluusioon. Täytyy kuitenkin ottaa huomioon, ettei itse luodut äänet aina vaikuta negatiivisesti paikkailluusioon tai, että kehonomistajuus ja paikkailluusio olisivat jotenkin yhteensopimattomia. Nordahl (2005) raportoikin tutkimuksen tuloksia, jotka osoittavat, että käyttäjän kehon ja ympäristön välisestä kanssakäymisestä syntyneet itse luodut äänet voivat vaikuttaa positiivisesti läsnäolon tunteeseen. Tutkimuksessa verrattiin

käyttäjien kokemuksia immerstiivisen virtuaalitodellisuusjärjestelmän käytöstä, jossa toiselle kuului askelen äänet käyttäjän kävellessä, ja toiselle ei kuulunut mitään auditiivista palautetta. Tulokset osoittivat, että askelten äänien kuuluessa syntyi huomattavasti vahvempia läsnäolon tunteita (Nordahl, 2005). Täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että auditiivisen palautteen puutteella on merkittävä negatiivinen vaikutus läsnäoloon, kuten osoitettu Hendrixin ja Barfieldin (1996) tutkimuksessa.

Toinen relevantti tutkimus on Nordahlin (2006), jossa hän tutki miten eri auditiivisen palautteen yhdistelmät vaikuttavat käyttäjän liikkeisiin ja läsnäolon tunteeseen. Ajateltiin, että IVR-järjestelmiä käyttävien käyttäjien vähäisten pään- ja kehonliikkeiden olevan ongelmallista. Nordahl (2006) ehdotti, että tämä ongelma saattaa lievittyä auditiivisten vihjeiden lisäämisen avulla. Tutkimus ei osoittanut, että läsnäolon tunne lisääntyisi. Sen sijaan tutkimuksessa huomattiin, että käyttäjät liikkuvat enemmän, kun IVR ympäristössä oli auditiivisia vihjeitä kuten äänimaisema (engl. *soundscape*), spatiaalisesti liikkuvia äänilähteitä ja auditiivisia itseluotuja ääniä, eli tässä tapauksessa omien askelten äänet (Nordahl, 2006). Täten vaikuttaisi, että itse luodut äänet, kuten oman äänen ääni (Porschmann, 2001) ja askelten ääni voivat vaikuttaa positiivisesti käyttäjän luontaiseen käyttäytymiseen ja paikkailluuteen, jos nämä äänet ovat valittu ja toimitettu tavalla, joka vastaa käyttäjän odotuksia.

7 TULOKSET

Ensimmäinen tutkimuskysymyksistä pohti äänen vaikutusta immersioon ja läsnäoloon virtuaaliympäristöissä. Immersiivisten virtuaalijärjestelmien arvo suurelta osin perustuu niiden kykyyn saada ihmiset tuntemaan ja käyttäytymään kuin he todella olisivat virtuaalisen ympäristön sisällä, eli luomaan läsnäolon tunteen käyttäjissä. Äänellä onkin merkittävä vaikutus tämän reaktion luomisessa käyttäjissä. Slaterin (2009) hypoteesin mukaan tämä käyttäjien reaktio ja käyttäytyminen kuin he oikeasti olisivat virtuaaliympäristössä (*engl.* response-as-if-real) syntyy kahden havaintoharhan, paikka- ja uskottavuusilluusion tuloksena.

Paikkailluusio on käytännössä sama kuin läsnäolon subjektiivinen kokemus (Slater, 2009), eli tunne siitä, että todella olet läsnä virtuaaliympäristössä. Lombardin ja Dittonin (1997) esittämästä kuudesta läsnäolon käsitteellistämistä paikkailluusio voidaan liittää heidän käsitteeseensä läsnäolosta kuljetuksena (Nordahl & Nilsson, 2014). Läsnäolo kuljetuksena on myös näistä käsitteellistämistä parhaiten soveltuva kuvaamaan immersiiivisen virtuaalijärjestelmän käytöstä syntyvää läsnäolon tunnetta, koska se on yhdenmukainen immersiiivisten virtuaalijärjestelmien käyttötarkoituksen kanssa. Pelkät auditiiviset ärsykkeet itsessään ei välttämättä riitä saamaan käyttäjää uskomaan olevansa ympäristössä läsnä, mutta äänellä on välttämätön rooli ympäristön havaitsemisessa. Hendrix ja Barfield (1996) osoittivatkin tutkimuksessaan, että äänen puuttuminen vaikuttaa negatiivisesti läsnäolon kokemukseen. Tähän liittyy äänen jatkuva esiintyminen elämässämme, sekä se, että kuuloaistiamme ei pysty ”sammuttamaan”. Jos virtuaaliympäristöstä puuttuu auditiivinen tausta, eli auditiivisen informaation jatkuva virta (esimerkiksi ympäristössä taustalla olevien lehtien havinaa), se heikentää illuusiota siitä, että todella olisimme ympäristössä läsnä (Hendrix & Barfield, 1996; Murray ym., 2000; Nordahl & Nilsson, 2014).

Uskottavuusilluusio, eli virtuaaliympäristön ja sen tapahtumien kokeminen uskottavina, sekä todella tapahtuvina, on toinen merkittävä havaintoharha läsnäolon tunteen

luomisessa. Kuten aikaisemmassa kappaleessa mainittiin, ääni on elämässämme jatkuvasti läsnä, joten sen puuttuminen virtuaalisesta ympäristöstä välittömästi tekisi ympäristöstä ja sen tapahtumista vähemmän uskottavia. Mutta, kuten Nordahl ja Nilsson (2014) huomio, pelkkä äänen läsnäolo ei tarkoita, että ympäristö ja sen tapahtumat koettaisiin uskottaviksi. Uskottavuusillusion syntymiseksi tulisi virtuaaliympäristössä tehtyjen toimintojen tuottaa korreloivia reaktioita, sekä tapahtumien, reaktioiden ja äänimaailman tulisi vastata käyttäjän reaali maailman kokemusten perusteella luotuja odotuksia (Nordahl & Nilsson, 2014). Äänen kohdalla tämä tarkoittaa, että käyttäjien tekemien toimintojen tulisi luoda odotuksien- ja johdonmukaisia ääniä (Chueng & Marsden, 2002; Nordahl & Korsgaard, 2008; Larsson ym., 2010). Esimerkiksi käyttäjän kävellessä eri pinnoilla tulisi kuulua askelten äänet, sekä askelten äänen mahdollisesti muuttua pinnan materiaalin mukaan uskottavuuden luomiseksi. Jos virtuaaliympäristössä ollaan vuorovaikutuksessa muiden keinoitekoisten toimijoiden kanssa, puheen ymmärrettävyydellä ja hienovaraisilla auditiivisilla vihjeillä, kuten äänensävyyn muutoksilla on myös vaikutus vuorovaikutuksen uskottavuuteen (Nordahl & Nilsson, 2014).

Tässä työssä päädyttiin tukemaan Slaterin (2003) näkemystä immersioista. Hän ehdottaa, että immersion termi tulisi varata kuvaamaan vain sitä, mitä teknologia tarjoaa objektiiviselta kannalta ja tätä käsitettä kuvaamaan hän loi termin järjestelmä immersio. Immersiota tulisi käsitellä vain objektiivisesti mitattavana järjestelmän ominaisuutena, eikä käyttäjän subjektiivisena kokemuksena ja reaktiona järjestelmän käyttämiseen (Slater, 2003). Täten ääni vaikuttaa immersioon vain virtuaalijärjestelmän äänentoistojärjestelmän ja sitä kautta toistettavan äänen ominaisuuksien kautta. Näiden ominaisuuksien vaikutusta tutkin toisessa tutkimuskysymyksessäni.

Toinen tutkimuskysymykseni pohti äänen ja äänentoistojärjestelmien ominaisuuksien vaikutusta immersioon ja läsnäoloon. Paikka- ja uskottavuusilluusio asettavat tiettyjä vaatimuksia äänen ja äänentoistojärjestelmän ominaisuuksille. Yhtenäinen tekijä

kaikissa näissä ominaisuuksissa on, että ne tekevät äänestä todenmukaisempaa, eli täten tehden äänestä enemmän reaali maailman meille luomien odotuksiemme mukaista.

Yksi oleellisimmista ominaisuuksista todenmukaisuuden kannalta vaikuttaa olevan äänen tilaominaisuudet (Durlach & Mavor, 1995; Hendrix & Barfield, 1996; Larsson ym., 2003, 2007; Larsson ym., 2010), eli toistetun äänen tulisi vaikuttaa olevan lähtöisin ympäristöstä olevista lähteistä. Kuten Larsson ja muut (2010) toteavat, tilallisen äänentoiston tavoitteena on luoda kuva käyttäjää ympäröivästä auditiivisesta ympäristöstä, jäljittelemällä siten auditiivista todellisuutta. Täten voidaankin todeta, että tilaäänellä ja immersiiivisillä virtuaalijärjestelmillä on yhteinen tavoite tuottaa luoda paikka- ja uskottavuusilluusiota. Järjestelmän kannalta tämä tarkoittaa, että sen tulisi kyetä toistamaan tilaääntä, eli sen tulisi olla vähintään stereo- tai binauraalinen järjestelmä. Äänentoistojärjestelmissä kaiuttimien ja kanavien lukumäärä vaikuttaa sen kykyyn toistaa spatialisoitua ääntä (Larsson ym., 2010). Toistettavalle äänelle tämä tarkoittaa, että sen tulisi simuloida ympäristön akustiikkaa, sekä heijastaa käyttäjän tai äänilähteen liikkeiden aiheuttamia muutoksia äänessä ja sen havaitsemisessa. Larsson ja muut (2007), sekä Ozawa ja muut (2003) toivat tutkimuksissaan esille, että se missä määrin toimitettujen ärsykkeiden tilaominaisuudet ovat yhdenmukaisia ja edustavat visuaalisen ärsyksen kanssa samaa tilaa, vaikuttavat läsnäolon kokemukseen. Nämä tulokset edelleen vahvistavat näkemystä, että virtuaaliympäristön äänen tulisi vastata käyttäjän odotuksia uskottavuusilluusion syntymiseksi.

Kuulokkeiden käyttö äänentoistojärjestelmänä tuo esiin yhden läsnäoloa heikentävän ominaisuuden. On tutkittu, että erityisesti suljettujen ja korviensisäisten kuulokkeiden käyttö johtaa kohotettuun kuuloon liittyvään itsetietoisuuteen, joka vaikuttaa negatiivisesti läsnäoloon (Murray ym., 2000; Porschmann, 2001). Jo pelkkä kontakti kuulokkeen ja korvan välillä voi signaloida käyttäjälle, että tulevat äänet eivät ole aitoja. Korvien läheisyydessä leijuvien off-ear kuulokkeiden käyttö voi poistaa itsetietoisuuteen liittyvät ongelmat, sekä parantaa järjestelmän käyttömukavuutta (Valve, 2020).

Äänentoistojärjestelmän ja äänen laatu sekä sisältö, ovat tekijöitä, jotka vaikuttavat kaikkien ominaisuuksien kykyyn luoda läsnäolon tunnetta. Mitä paremmin äänentoistojärjestelmä kykenee toistamaan todenmukaista ääntä, sitä immersioivemmäksi se voidaan luokitella. On tärkeää, että äänentoistojärjestelmä kykenee toistamaan eri taajuuksia mahdollisimman todenmukaisesti, eli muuntamatta ja "värittämättä" ääntä. Matalataajuuksinen basso ja keskikorkeat taajuudet ovat merkittäviä auditiiviseen läsnäoloon vaikuttavia tekijöitä (Ozawa & Miyasaka, 2004; Larsson ym., 2010). Jos äänentoistojärjestelmä muuntaa näitä taajuuksia, voi se heikentää käyttäjän kykyyn paikallistaa ääntä ja järjestelmän immersiota. Mitä paremmin taas äänen eri ominaisuudet pystyvät mallintamaan todenmukaista ääntä, sitä paremmin se pystyy saamaan aikaan uskottavuusilluusiota. Tilaominaisuuksien laatu, kuten mm. ympäristön akustiikan simuloinnin tarkkuus, sekä äänen informaation ja lokalisoinnin laatu edesauttavat äänen todenmukaisuutta (Ozawa ym., 2003; Larsson ym., 2003, 2007, 2010), näin vaikuttaen positiivisesti uskottavuusilluusioon.

Kaiken kaikkiaan, merkittävin läsnäoloon ja immersioon vaikuttava äänellinen ominaisuus on sen todenmukaisuus. Tämä johtuu paikka- ja uskottavuusilluusion syntymiseen vaadittavista edellytyksistä. Mitä paremmin äänentoistojärjestelmä pystyy toistamaan todenmukaista ääntä ja mitä paremmin toistettavan ääni muistuttaa sisällöltään, sekä ominaisuuksiltaan reaali maailmassa kuultavaa ääntä, sitä immersioivemmäksi järjestelmä voidaan luokitella auditiiviselta kannalta, ja sitä paremmin se kykenee luomaan läsnäolon tunteen. Mahdollisimman immersioivisen järjestelmän luomiseksi tulisi immersio ottaa huomioon kaikissa vaiheissa äänisisällön luomisesta, sen toistoon ohjelmistomootorissa, ja äänentoistojärjestelmän ominaisuuksissa.

8 YHTEENVETO

Tässä työssä tutkittiin äänen vaikutusta immersion ja läsnäolon tunteeseen virtuaaliympäristöissä. Työ aloitettiin avaamalla tutkimuksen kannalta oleelliset käsitteet, kuten virtuaaliympäristö, immersio ja läsnäolo. Immersiosta ja läsnäolosta esiteltiin eri käsitteellistämisiä. Esittelin myös läsnäolon tunteen syntymisen kannalta olennaiset havaintoharhat paikkailluusio ja uskottavuusilluusio. Kävin myös lyhyesti läpi ongelmallisen tekijän liittyen läsnäolotutkimuksessa käytettäviin kyselylomakkeisiin. Tämän jälkeen tutkin äänen ja äänentoistojärjestelmien ominaisuuksia ja niiden suhdetta järjestelmän immersion. Lopuksi tutkin äänen ominaisuuksien vaikutuksia paikkailluusiioon, uskottavuusilluusiioon, ja auditiivisesti indusoituun kehon omistajuuteen.

Jotta vältettäisiin immersion ja läsnäolon käsitteiden epämääräinen ja keskenään vaihtokelpoinen käyttö, immersiota olisi hyvä ajatella vain objektiivisesti mitattavana järjestelmän ominaisuutena. Tällöin läsnäoloa voidaan käyttää kuvaamaan immersiiivisen järjestelmän käytöstä syntyvää subjektiivista tunnetta. Immersiivisessä järjestelmässä luodun immersion taso riippuu siitä, missä määrin järjestelmä pystyy seuraamaan käyttäjien liikkeitä ja tarjoamaan asianmukaista palautetta mahdollisimman monessa modaliteetissa.

Kuudesta Lombardin ja Dittonin (1997) esittelystä läsnäolon käsitteellistämisestä läsnäolo kuljetuksena on parhaiten soveltuva, kun kuvataan immersiiivisen virtuaalitodellisuusjärjestelmän (IVR) käytöstä syntyvää läsnäolon tunnetta. Tämä määritelmä on yhdenmukainen IVR-järjestelmien käyttötarkoituksen kanssa, koska IVR-järjestelmän arvo perustuu suurelta osin kykyyn saada ihmiset tuntemaan ja käyttäytymään kuin he todella olisivat virtuaalisen ympäristön sisällä. Slater (2009) ehdottaa, että tämä käytös johtuu kahdesta havainnollisesta illuusiosta:

Jos olet siellä (paikkailluusio) ja mitä näyttää tapahtuvan, tapahtuu todella (uskottavuusilluusio), niin tämä tapahtuu sinulle! Siksi todennäköisesti vastaat kuin se olisi totta (Slater, 2009).

Paikkailluusio on olennaisesti sama kuin läsnäolon subjektiivinen tunne immersiiivisen virtuaalijärjestelmän sisällä. Kuvattiin, että auditiiviset ärsykkeet voivat vaikuttaa paikkailluusiioon monin tavoin. Larsson ja muut (2010) mukaan on olemassa ainakin neljä auditiivisen tekijän luokkaa, jotka voivat vaikuttaa läsnäoloon: äänen tilaominaisuudet, auditiivinen tausta, modaliteettien välinen johdonmukaisuus sekä äänen laatu ja sisältö. Mitä enemmän virtuaaliympäristön auditiivinen komponentti muistuttaa sitä mitä käyttäjä odottaisi kokevan aikaisempien kokemuksiensa perusteella, sitä voimakkaampi on äänen vaikutus paikkailluusion.

Uskottavuusilluusiota voidaan kuvata illusiona, joka syntyy, kun virtuaaliset tapahtumat koetaan todella tapahtuvina, huolimatta siitä, että tiedämme että ne eivät todella tapahdu. Jokapäiväisessä elämässä meitä ympäröi jatkuva auditiivisen informaation virta, eli auditiivinen tausta, joka osoittaa, että ympäristö koetaan elävänä. Tämän vuoksi virtuaaliympäristön tulisi sisältää ääntä, jotta se voidaan kokea uskottavana. Kuten paikkailluusiossa, käyttäjien odotuksiin vastaamisella on merkittävä vaikutus myös uskottavuusilluusiioon.

Kyky tarjota virtuaalinen keho virtuaalijärjestelmien käyttäjille on olennaista paikkailluusion luomisen kannalta. Todettiin, että korrelaation asentoaistin ja yhden tai useamman modaliteetin välillä voi synnyttää omistajuuden tunteen virtuaalikehosta. Vaikka tällaisia illuusioita on ensisijaisesti saatu aikaan visuaalisten ärsykkeiden avulla, myös auditiiviset ja haptiset modaliteetit voivat saada aikaan samantapaisia illuusioita, tai vähintään vahvistaa visuaalisesti luotuja illuusioita.

Työssä eroteltiin kahden tilallisen äänen toimitusmenetelmän välillä: äänikenttäkohtaisen ja pääkohtaisen. Nämä kaksi yhdistettynä ääntä luovaan

ohjelmistoon, määrittelevät ainutlaatuisen tavan upottaa käyttäjä ääneen. Vaikuttaakin siltä, että uskottava auditiivinen immersio saavutetaan vain ohjelmiston ja laitteiston yhtäaikaisella toiminnalla. Sen määrittelemisen, mihin raja tulisi piirtää laitteiston ja ohjelmiston vastuun välillä immerstiivisen äänen luomiseksi, vaatii koko ääniketjun kokonaisvaltaista pohdintaa. Mitä paremmin immersio on otettu huomioon kaikissa vaiheissa äänisisällön luomisesta, sen toistoon ohjelmistomoottorissa, ja kaikissa äänentoistojärjestelmän laitteiston ominaisuuksissa, sitä immersivisemmäksi äänen ominaisuudet voi saada.

Koska äänen tilaominaisuuksilla on tutkimuksien perusteella kriittinen vaikutus läsnäolon tunteen luomisessa, tulisi immersivisen virtuaalijärjestelmän äänentoistojärjestelmän kyetä toistamaan spatialisoitua ääntä, eli sen tulisi olla vähintään stereo- tai binauraalinen järjestelmä. Äänentoistojärjestelmän tulisi myös kyetä toistamaan todenmukaisesti, eli muokkaamatta, matalia ja keskikorkeita taajuuksia. Matalia taajuuksia esiintyy usein peli- ja viihdesisällössä mm. räjähdysten ja musiikin muodossa. Matalataajuuksinen basso on tärkeä koon ja mittakaavan tunteen välittämässä ja visuaalisen immersion ehostamisessa. Binauraaliset simulaatiot taas turvautuvat hienovaraisiin muutoksiin tonaliteetin sävyssä keskikorkeilla taajuuksilla äänilähteen sijainnin ilmaisemiseksi. Jos äänentoistojärjestelmä muuntaa tai ”värittää” näitä taajuuksia, se voi heikentää käyttäjän kykyä paikallistaa ääntä.

Käyttämällä off-ear kuulokkeita, virtuaalijärjestelmät voivat välttää äänikenttä- ja pääkohtaisissa toimitusmenetelmissä havaittuja, immersioon vaikuttavia heikkouksia. Toisin kuin suljetut tai korvan sisäiset kuulokkeet, off-ear kuulokkeet eivät ole korvan kanssa kontaktissa, vaan leijuvat niiden läheisyydessä. Tämä eliminoi mukavuuteen liittyvät ongelmat, ja suljettujen tai korviensisäisten kuulokkeiden käytöstä johtuvat kuuloon liittyvät kohonneen itsetietoisuuden ongelmat. Jo pelkkä kontakti korvan ja kuulokkeen välillä voi signaloida käyttäjälle, että tulevat äänet eivät ole aitoja, täten heikentäen läsnäolon tunnetta.

Ensimmäinen tutkimuskysymyksistä pohti äänen vaikutusta koettuun immersiiivisyyteen ja läsnäolon tunteeseen virtuaaliympäristöissä. Ääni vaikuttaa läsnäolon tunteeseen paikka- ja uskottavuusilluusion kautta. Nämä aistiharhat ovat oleellisia läsnäolon tunteen luomisessa. Koska ääni on elämässämme jatkuvasti läsnä, sen puute virtuaaliympäristöistä merkittävästi heikentäisi uskottavuusilluusiota.

Toinen tutkimuskysymyksistä pohti äänen ja äänentoistojärjestelmien ominaisuuksien vaikutusta immersioon ja läsnäoloon. Läsnäolon kannalta oleellisimmat äänen ominaisuudet liittyvät käyttäjien odotuksien vastaamiseen. Paikka- ja uskottavuusilluusion luomiseksi tulisi äänen vastata virtuaaliympäristöissä sitä mitä odottaisimme reaali maailmassa kuuluvalta ääneltä. Tämän asettaa äänen ominaisuuksille tiettyjä vaatimuksia, jotta se voidaan kokea uskottavana ja todenmukaisena. Äänellä tulisi olla tilaominaisuuksia, jotta ympäristössä ilmenevät äänet koettaisiin syntyvän ympäristössä, eikä vain oman päämme sisällä. Tämä vaatii, että virtuaalijärjestelmän äänentoistolaitteisto kykenee toistamaan tilääntä. Myös äänen laadulla ja järjestelmän kyvyllä toistaa tiettyjä taajuuksia, voi olla hienovaraisia vaikutuksia läsnäolon tunteeseen. Virtuaalisessa ympäristössä esitetyn tiedon tulisi myös olla yhtenäistä ja johdonmukaista eri modaaliteettien välillä uskottavuusilluusion ehostamiseksi. Käyttäjien tekemien toimintojen ja liikkeiden tulisi luoda korreloivia ja odotuksienmukaisia reaktioita ja ääniä virtuaaliympäristössä.

Immersioon ja läsnäoloon liittyvää tutkimusta heikentää yleisen yksimielisyyden puute näiden käsitteiden merkityksestä. Yhteneväisten ja yksimielisten määritelmien aikaan saaminen olisi merkittävä edistys läsnäolon ja immersion tutkimuksen alalla ja olisi tärkeä tulevaisuuden tutkimuksien aihe. Myös ongelmat läsnäolon mittaamisessa käytettävissä kyselylomakkeiden validiteetissa voivat heikentää alalla tehtyjen tutkimuksien arvoa. Yksi tärkeä tulevaisuuden tutkimuksen aihe olisi kehittää parempi mittari tämän vaikeasti määriteltävän käsitteen mittaamiseen.

Virtuaalijärjestelmien teknologia on kehittynyt merkittävästi viime vuosina ja uusia ratkaisuja järjestelmille kehitetään jatkuvasti. Teknologian kehittyminen alleviivaa tarpeen uusille tutkimuksille näiden kehityksien vaikutuksista virtuaalijärjestelmiin, sekä järjestelmien käytöstä syntyville kokemuksille ja tunteille. Erityisesti muiden kuin visuaalisen modaliteetin vaikutusta virtuaalijärjestelmien käyttökokemukseen, sekä siihen liittyviin konsepteihin kuten läsnäoloon, olisi hyvä tutkia enemmän.

Tämän työn tuloksena löydettiin tukevia näkemyksiä Slaterin (2009) esittämälle hypoteesille paikka- ja uskottavuusilluusion merkityksestä läsnäolon tunteen luomiselle. Tämä työ myös yhä vahvistaa näkemystä äänen oleellisesta merkityksestä näiden havaintoharjojen syntymiselle, tukien näkemystä äänen kriittisestä roolista immersiiivisissä virtuaalijärjestelmissä. Käytännössä tämä tarkoittaa, että virtuaalijärjestelmää ja virtuaaliympäristöä suunnitellessa, tulisi immersio ottaa huomioon kaikissa äänen ja äänentoistojärjestelmän ominaisuuksissa, sekä sisällössä. Työssä myös pyrittiin osoittamaan immersion ja läsnäolon käsitteiden vakiinnuttamisen, sekä validin läsnäolon mittarin kehittämisen tärkeyttä virtuaalijärjestelmiin ja virtuaaliympäristöihin liittyvässä tutkimuksessa.

LÄHDELUETTELO

Adams, E., & Rollings, A. (2006). *Fundamentals of Game Design*. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, Upper Saddle.

Arsenault, D. (2005). Dark Waters: Spotlight on immersion. *Game-On North America Conference Proceedings*, 50-52.

Begault, D. R. (1994). *3D-Sound for Virtual Reality and Multimedia*. Boston: AP Professional.

Biocca, F. (1997). The Cyborg's Dilemma: Embodiment in Virtual Environments. *Proceedings Second International Conference on Cognitive Technology Humanizing the Information Age*, 12-26.

Breebart, J., van de Par, S., Kohlrausch, A., & Schuijers, E. (2005). Parametric Coding of Stereo Audio. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*.

Chuang, P., & Marsden, P. (2002). Designing Auditory Spaces to Support Sense of Place: The Role of Expectation. *Proceedings of the CSCW Workshop: The Role of Place in Shaping Virtual Community*. New Orleans, LA.

Csikszentmihalyi, M. (1990). *Flow: The psychology of optimal experience*. New York, NY, USA: Harper & Row.

Durlach, N., & Mavor, A. (1995). *Virtual Reality: Scientific and Technological Challenges*. Washington DC: National Academy Press.

Ellis, S.R. (1991). Nature and Origins of Virtual Environments: A Bibliographical Essay. *Computing Systems in Engineering*, 2: 4, 321-347.

Ellis, S.R. (1994). What are Virtual Environments? *IEEE Computer Graphics and Applications*, 14: 1, 17-22.

Ermi, L., & Mäyrä, F. (2005). Fundamental Components of the Gameplay Experience: Analysing Immersion. Teoksessa: *Worlds in play: International perspectives on digital games research*, 15–27. Toim. S. D. de Castell, J. Jenson. New York, NY, USA: Peter Lang Publishing.

Faller, C., & Baumgarte, F. (2003). Binaural Cue Coding – Part 2: Schemes and Applications. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, 11:6, 520-531.

Freeman, J., & Lessiter, J. (2001). Here, There, and Everywhere: The Effects of Multi-Channel Audio on Presence. *Proceedings of the 2001 International Conference on Auditory Display*, 231-234. Espoo, Finland.

Gerzon, M. (1985). Ambisonics in Multichannel Broadcasting and Video. *Journal of the Audio Engineering Society*, 33: 11, 859-871.

Hendrix, C. M., & Barfield, W. (1996). The Sense of Presence Within Auditory Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 5: 3, 290-301.

Herman, T., & Ritter, H. (2004). Sound and Meaning in Auditory Data Display. *Proceedings of the IEEE*, 92: 4, 730-741.

Horbach, U., Corteel, E., Pellegrini, R., & Hulsebos, E. (2002). Real-time Rendering of Dynamic Scenes Using Wave Field Synthesis. *Multimedia and Expo, 2002. ICME '02 Proceedings*, 1, 517-520.

Ijsselsteijn, W. (2000). Presence: concept, determinants, and measurement. *Proceedings of SPIE*, 520-529.

Jot, J., & Warusfel, O. (1995). A Real-Time Spatial-Sound Processor for Music and Virtual-Reality Applications. *Proceedings International Computer Music Conference*, 294-295.

Kohlrausch, A., & van de Par, S. (1999). Auditory-Visual Interaction: From Fundamental Research in Cognitive Psychology to (Possible) Applications. *Proceedings of SPIE*, 3644: 4.

Larsson, P., Västfjäll, D., & Kleiner, M. (2003). On the Quality of Experience: A Multi-Modal Approach to Perceptual Ego-Motion and Sensed Presence in Virtual Environments. *Proceedings of the First ITRW on Auditory Quality of Systems*. Germany: Akademie Mont-Cenis.

Larsson, P., Västfjäll, D., Olsson, P., & Kleiner, M. (2007). When what you see is what you hear: Auditory-Visual Integration and Presence in Virtual Environments. *Proceedings of the 10th Annual International Workshop on Presence*, 25-27. Barcelona, Spain.

Larsson, P., Väljamäe, A., Västfjäll, D., Tajadura-Jimenez, A., & Kleiner, M. (2010). Auditory-induced Presence in Mixed Reality Environments and Related Technology. *Human-Computer Interaction*, 1, 143-163.

Lederman, S., & Klatzky, R. (2001). Designing Haptic and Multimodal Interfaces: A Cognitive Scientist's Perspective. *Proceedings of the Collaborative Research Centre*, 71-80. Munich: Technical University of Munich.

Lombard, M., & Ditton, T. (1997). At the Heart of it All: The Concept of Presence. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 3: 2, 20.

Lombard, M., & Jones, M. (2007). Identifying the (Tele)Presence Literature. *PsychNology Journal*, 5: 2, 197-206.

Louis, T., Troccaz, J., Rochet-Capellan, A., & Berard, F. (2019). Is it Real? Measuring the Effect of Resolution, Latency, Frame rate and Jitter on the Presence of Virtual Entities. *ISS '19: Proceedings of the 2019 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces*, 5-16.

Murray, J. (1997). *Hamlet on the Holodeck: The Future of Narrative in Cyberspace*. New York, NY, USA: Free Press.

McMahan, A (2003). Immersion, engagement, and presence: A method for analyzing 3-D video games. Teoksessa: *The Video Game Theory Reader*, 67-86. Toim. Bernard Perron, Mark J.P Wolf. New York: Routledge. ISBN 978-041-59-6579-8

Minsky, M. (1980). Telepresence. *Omni Magazine*, 45-51. Saatavilla:
<https://web.media.mit.edu/~minsky/papers/Telepresence.html>

Muhlbach, L., Bocker, M., & Prussog, A. (1995). Telepresence in Video Communications: A Study on Stereoscopy and Individual Eye Contact. *Human Factors*, 37: 2, 290-305.

Murray, C. D., Arnold, P., & Thornton, B. (2000). Presence Accompanying Induced Hearing Loss. Implications for Immersive Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 9: 2, 137-148.

Nakamura, J., & Csikszentmihalyi, M. (2005). The Concept of Flow. Teoksessa: *Handbook of positive psychology*, 89-105. Toim. C. R. Snyder, S. J. Lopez. Oxford, UK: Oxford University Press.

NASA (2014). The Virtual Interface Environment Workstation (VIEW) [online]. Saatavissa:

https://www.nasa.gov/ames/spinoff/new_continent_of_ideas/

Nordahl, R. (2005). Self-Induced Footstep Sounds in Virtual Reality: Latency, Recognition, Quality and Presence. *Proceedings of Presence 2005: The 8th Annual International Workshop on Presence*, 353-355. London: University College, London.

Nordahl, R. (2006). Increasing the Motion of Users in Photo-Realistic Virtual Environments by Utilising Auditory Rendering of the Environment and Ego-motion. *Proceedings of Presence 2006: The 9th Annual International Workshop on Presence*, 57-62.

Nilsson, N., Nordahl, R., & Serafin, S. (2016). Immersion Revisited: A Review of Existing Definitions of Immersion and Their Relation to Different Theories of Presence. *Human Technology*, 12: 2, 108-134.

Nordahl, R., & Nilsson, N. (2014). The Sound of Being There: Presence and Interactive Audio in Immersive Virtual Reality. *The Oxford Handbook of Interactive Audio*, 13, 213-233.

Nordahl, R., & Korsgaard, D. (2008). On the Use of Presence Measurements to Evaluate Computer Games. *Proceedings of Presence 2008: The 11th Annual International Workshop on Presence*, 174-177. Padua: Cooperative Libreria Universitaria Padova.

Nordahl, R., & Korsgaard, D. (2010). Distraction as a Measure of Presence: Using Visual and Tactile Adjustable Distraction as a Measure to Determine Immersive Presence of Content in Mediated Environments. *Virtual Reality*, 14: 1, 27-42.

Ozawa, K., Chujo, Y., Suzuki, Y., & Sone, T. (2003). Psychological Factor Involved in Auditory Presence. *Acoustical Science and Technology*, 24: 1, 42-44.

Ozawa, K., & Miyasaka, M. (2004). Effects of Reproduced Sound Pressure Levels on Auditory Presence. *Acoustical Science and Technology*, 25: 3, 207-209.

Pai, D. (2005). Multisensory Interaction: Real and Virtual. *Robotics Research*, 15, 489-498.

Plenge, G. (1974). On the Differences between Localization and Lateralization. *Journal of the Acoustical Society of America*, 56: 944.

Porschmann, C. (2001). One's Own Voice in Auditory Virtual Environments. *Acustica*, 87: 3, 378-388.

Pulkki, V. (1997). Virtual Sound Source Positioning Using Vector Base Amplitude Panning. *Journal of the Audio Engineering Society*, 45: 6, 456-466.

Ramsdell, D. (1978). The Psychology of the Hard-of-hearing and Deafened Adult. Teoksessa: *Hearing and Deafness*, 499-510. Toim. H. Davis, S. R. Silverman. New York: Holt, Rinehart and Winston.

Rovira, A., Swapp, D., Spanlang, B., & Slater, M. (2009). The Use of Virtual Reality in the Study of People's Responses to Violent Incidents. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 3: 59.

Ryan, M.L. (2003). *Narrative as Virtual Reality: Immersion and Interactivity in Literature and Electronic Media*. Baltimore, MD, USA: The Johns Hopkins University Press. ISBN 0801877539.

Ryan, M.L. (2008). Interactive narrative, plot types, and interpersonal relations. Teoksessa: *Interactive storytelling*, 6-13. Toim. U. Spierling, N. Szilas. Berlin, Germany: Springer-Verlag.

Rumsey, F. (2001). *Spatial Audio*. Oxford: Focal Press.

Saariluoma, P. (2005). Explanatory frameworks for interaction design. Teoksessa: *Future interaction design*, 69-83. Toim. A. Pirhonen. London, UK: Springer.

Sanchez-Vivez, M., & Slater, M. (2005) From Presence to Consciousness Through Virtual Reality. *Nature reviews Neuroscience*, 6: 4. DOI: 10.1038/nrn1651

Sanders, R., & Scorgie, M. (2002). The Effects of Sound Delivery Methods on a User's Sense of Presence in a Virtual Environment. Monterey, California, Naval Postgraduate School. Diplomityö.

Savioja, L., Huopaniemi, J., Lokki, T., & Väänänen, R. (1999). Creating Interactive Virtual Acoustic Environments. *Journal of the Audio Engineering Society*, 47:9, 675-705.

Shinn-Cunningham, B., & Shilling, R. D. (2002). Virtual Auditory Displays. Teoksessa: *Handbook of Virtual Environment Technology*, 65-92. Toim. K. Stanney. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

Sheridan, T. (1992). Musings on Telepresence and Virtual Presence. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 1: 1, 120-126.

Slater, M. (1999). Measuring presence: A response to the Witmer and Singer presence questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 8: 5, 560-565.

Slater, M. (2003). *A note on presence terminology*. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://pdfs.semanticscholar.org/ed27/7f9067a0b6aadd90c055d31aecc8ab92aa2f.pdf>

Slater, M. (2004). How Colorful Was Your Day? Why Questionnaires Cannot Assess Presence in Virtual Environment. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 13: 4, 484-493.

Slater, M. (2009). Place Illusion and Plausibility Can Lead to Realistic Behaviour in Immersive Virtual Environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences*, 364, 3549-3557.

Slater, M., Marcos, D. P., Ehrsson, H., & Sanchez- Vives, M. (2008). Towards a Digital Body: The Virtual Arm Illusion. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2: 6.

Slater, M., Lotto, B., Arnold, M.M., & Sanchez-Vivez, M. (2009). How we Experience Immersive Virtual Environments: The Concept of Presence and its Measurement. *Anuario de Psicologia*, 2, 193-210.

StarVR (2020). StarVR - Products Specifications [online]. Saatavissa:
<https://www.starvr.com/product/>

Stevens, B., & Jerrams-Smith, J. (2001). The Sense of Object-Presence with Projection-Augmented Models. *Haptic Human-Computer Interaction*, 194-198. Berlin: Springer.

Storms, R., & Zyda, M. (2000). Interactions in Perceived Quality of Auditory-Visual Displays. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 9: 6, 557-580.

Toracco, R. (2005). Writing Integrative Literature Reviews: Guidelines and Examples. *Human Resource Development Review*, 4: 3, 356-367. DOI: 10.1177/1534484305278283

Tsingos, N., Gallo, E., & Drettakis, G. (2003). Perceptual Audio Rendering of Complex Virtual Environments. *INRIA, Rapport de recherche*, 4734.

Valve (2020). Ear Speakers – Research, Design, and Evolution [online]. Saatavilla:
<https://www.valvesoftware.com/en/index/deep-dive/ear-speakers>

Witmer, B. G., & Singer, M. J. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 7: 3, 225–240.

Zahorik, P., & Jenison, R.L. (1998) Presence as Being-in-the-World. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 7: 1, 78-89.

Zhao, S. (2003). Toward a Taxonomy of Copresence. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 12: 5, 445-455.