

Mikko Mäntylä

VR-pahoinvoinnin syyt ja pahoinvoinnin välttäminen

Tietotekniikan kandidaatintutkielma

1. huhtikuuta 2021

Jyväskylän yliopisto

Informaatioteknologian tiedekunta

Tekijä: Mikko Mäntylä

Yhteystiedot: mantyla.mikko@iki.fi

Ohjaaja: Antti-Jussi Lakanen

Työn nimi: VR-pahoinvoinnin syyt ja pahoinvoinnin välttäminen

Title in English: VR sickness causes and sickness prevention

Työ: Kandidaatintutkielma

Sivumäärä: 22+0

Tiivistelmä: Virtuaalitodellisuus aiheuttaa monille pahoinvointia erilaisissa tilanteissa. Tämä pahoinvointi johtuu nykyään yhä useammin sovelluksen suunnittelullisista (esimerkiksi liikkumiskeinot virtuaalitodellisuusympäristössä) kuin teknologisista syistä (esimerkiksi latenssi, asennon tunnistus) (Porcino ym. 2016). Tässä kirjallisuuskatsauksessa tarkastellaan empiirisesti tutkittuja syitä pahoinvoinnin ilmenemiseen virtuaalitodellisuudessa sekä keinoja tällaisen pahoinvoinnin ehkäisemiseksi. Lopuksi kootaan yhteen tarkasteltujen lähteiden esille tuomat asiat, jotka tulee ottaa huomioon virtuaalitodellisuusympäristöjä rakennettaessa. Virtuaaliympäristössä koetun pahoinvoinnin taustalla on useita eri tekijöitä. Keskeisin pahoinvoinnin synnyttäjä virtuaalitodellisuudessa on se, että käyttäjän kuvitteellinen tunne omasta liikkeestään (vektio) ei vastaa tasapaino- ja liikeaistien aistiärsykkeistä tekemiä havaintoja. Tällöin aiheutuva aistiristiriita synnyttää pahoinvoinnin kokemuksen. Ongelmia voidaan ehkäistä esimerkiksi välttämällä tilanteita, joissa käyttäjä ei pysty hallitsemaan kameraa, testaamalla ympäristöjä ja erilaisia liikkumistapoja sekä asettamalla ympäristöön kiintopisteitä, joissa katse pystyy lepäämään. Ymmärtämällä pahoinvointiin johtavat ongelmat ja niiden syyt, pystytään suunnittelemaan VR-järjestelmiä ja -sovelluksia, joissa on määritetty pahoinvoinnin aiheuttamat haitalliset vaikutukset ja niiden kestot.

Avainsanat: virtuaalitodellisuus, pahoinvointi, VR-pahoinvointi, cyberpahoinvointi, liikesairaus

Abstract: Virtual reality causes sickness in different circumstances and with today's technology the reasons more often lie in design rather than in technology. This literature review

goes through previous research on virtual reality induced sickness and presents some base studies about preventing said sickness. At the end a basis for preliminary information required for creating virtual reality environments is formed from the cited sources. The most common source for sickness in virtual reality is when the user's self-image of movement (vection) doesn't match with the vestibular sensory output. This sensory conflict causes the motion sickness. VR-sickness can be prevented with design. Examples of effective design patterns include avoiding situations where the user cannot control the camera and creating fixed points in the environment for the user's eye to rest at. By understanding the problems and causes that lead to sickness, the duration and severity of sickness can be minimized.

Keywords: virtual reality, sickness, VR sickness, cyber sickness, motion sickness

Sisältö

1	JOHDANTO	1
2	VIRTUAALITODELLISUUS JA PAHOINVOINTI	3
	2.1 Virtuaalitodellisuus.....	3
	2.2 Pahoinvointi	5
	2.3 Pahoinvointi virtuaalitodellisuusympäristössä	7
3	SUUNNITTELULLISET JA OHJELMALLISET SYYT PAHOINVOINNILLE ...	10
4	YHTEENVETO.....	13
	LÄHTEET	15

1 Johdanto

Virtuaalitodellisuus aiheuttaa monille pahoinvointia erilaisissa tilanteissa. Tällaisia tilanteita ovat esimerkiksi virtuaalitodellisuusympäristössä olevan kiinteän objektin läpi käveleminen, tyhjän päälle käveleminen, matala kuvataajuus tai epäluonnolliset fysiikat (Jerald 2015). Aihe on kiinnostava, sillä VR-pahoinvointi on sekä merkittävä haaste virtuaalitodellisuustoteutuksissa. Pahoinvointia aiheuttava VR-ympäristö esimerkiksi kannustaa käyttäjänsä tottumaan ja muokkaamaan käytöstään välttääkseen pahoinvointia, mikä voi johtaa väärinoppimiseen. Tällainen havainto tehtiin tutkittaessa simulaattorilla lentämistä harjoittelevia lentäjiä (Kennedy ym. 1992), jotka välttääkseen simulaattoripahoinvointia rajoittivat päänsä kääntämistä harjoitellessaan. Mikäli tällainen opittu reaktio siirtyy myös simulaattorin ulkopuolella suoritettavaan toimintoon, väärinoppiminen ei vaaranna vain käyttäjää itseään, vaan voi myös vaarantaa muita ihmisiä. (Kennedy ym. 1992). Ymmärtämällä pahoinvointiin johtavat ongelmat ja niiden syyt pystytään suunnittelemaan VR-järjestelmiä ja -sovelluksia, joissa on minimoitu pahoinvoinnin aiheuttamat haitalliset vaikutukset ja niiden kestot.

Tutkielman muoto on kirjallisuuskatsaus, ja siinä käsitellään pääasiassa silmille puettavia silmikkonäyttöjä niiden viimeaikaisen kehityksen ja VR-laitteistojen keskuudessa merkittävän markkina-aseman vuoksi.

Työn tutkimuskysymykset ovat:

1. Mitkä asiat aiheuttavat pahoinvointia virtuaalitodellisuusympäristöissä?
2. Miten pahoinvointia pystytään ehkäisemään?

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen vastataan kartoittamalla empiirisesti tutkittuja syitä pahoinvoinnin ilmenemiseen virtuaalitodellisuudessa. Toiseen tutkimuskysymykseen vastataan selvittämällä, mitä aiemman tutkimuksen pohjalta jo tiedetään pahoinvoinnin ehkäisemisestä virtuaalitodellisuudessa. Näiden synteesinä muodostetaan kuva asioista, jotka tulee ottaa huomioon virtuaalitodellisuusympäristöjä rakennettaessa.

Tutkielmassa ei käsitellä laitteistoa pahoinvoinnin syynä tai vertailla eri laitteistoja ja niissä syntyvää pahoinvointia, koska modernit kaupalliset silmikkonäytöt eivät eroa toisistaan

tämän tutkimuksen kannalta merkittävästi ominaisuuksiltaan ja toteutuksiltaan.

Työ koostuu neljästä luvusta. Luvussa 2 käsitellään keskeisimpiä käsitteitä sekä virtuaalitodellisuudessa syntyvää pahoinvointia ilmiönä ja sen määritelmää. Luvussa 3 tarkastellaan tutkimuskirjallisuuden pohjalta suunnittelullisia ja ohjelmallisia ratkaisuita pahoinvoinnin syinä.

2 Virtuaalitodellisuus ja pahoinvointi

Tässä luvussa käsitellään tutkielman kannalta keskeisimpiä käsitteitä. Ensin tarkastellaan virtuaalitodellisuuden ja sen toteutukseen liittyviä käsitteitä, jonka jälkeen tarkastellaan matkapahoinvoinnin ja VR-pahoinvoinnin syntyyn olennaisesti liittyvää aistiritiriidan käsitettä ja pyritään muodostamaan kokonaiskuva aistiritiriidan vaikutuksista pahoinvoinnin syntymiselle. Tämän jälkeen tarkastellaan lähemmin pahoinvoinnin käsitettä ja pahoinvoinnin erilaisia ilmenemistyyppisiä.

2.1 Virtuaalitodellisuus

Virtuaalitodellisuus (engl. Virtual reality, jatkossa virtuaalitodellisuus tai VR) tai keinotodellisuus on teknologia, joka mahdollistaa virtuaalitodellisuusympäristöjen kokemisen.

Virtuaalitodellisuusympäristö (engl. Virtual environment, jatkossa virtuaalitodellisuusympäristö tai VR-ympäristö) on tietokonetuotettu, digitaalinen ympäristö, jonka voi kokea ja jonka kanssa voi vuorovaikuttaa oikean maailman kaltaisesti. Ihanteellinen VR-ympäristö sallisi käyttäjänsä kävellä fyysisesti tilassa ja koskettaa objekteja kuin ne olisivat aitoja ja saavuttaa näin todentuntuisen immersion (Milgram ja Kishino 1994). Toistaiseksi tällaisia VR-ympäristöjä ei ole saatavilla kuluttajakäyttöön.

Sherman ja Craig (2002, s. 6) esittelevät neljä avainelementtiä, jotka määrittelevät virtuaalitodellisuutta: virtuaalimaailma, immersio, aistipalaute sekä interaktiivisuus. **Virtuaalimaailma** on virtuaalitodellisuuden sisältö, osa virtuaalitodellisuusympäristöstä, joka on olemassa, vaikka kukaan ei olisi kokemassa sitä – kuten elokuvan käsikirjoitus on irrallinen elokuvan esityksestä. Virtuaalimaailma voi olla esimerkiksi toisinnos historiallisesta hetkestä tai vielä rakentamattomasta rakennuksesta.

Immersion tarkoittaa läsnäolon tunnetta, eli tässä tapauksessa VR-kokemukseen uppoutumista. Stanney ja Salvendy (1998) toteavat läsnäolon VR-ympäristössä tarkoittavan käyttäjän kykyä ilmaista itseään osana virtuaalimaailmaa fyysisen maailman sijaan. Sherman ja Craig (2002, s. 9) jakavat immersion fyysiseen ja psyykkiseen immersion (engl. physical

and mental immersion), joista jälkimmäiseen yleensä viitataan puhuttaessa immersioista. Esimerkiksi immersion kokeminen fiktiivistä kirjaa lukiessa olisi tämän jaon mukaan psykkinen tason immersio. Psykkinen immersio on syvän uppoutuneisuuden tila, jossa kokija tuntee olevansa aidosti mukana tilanteessa. Fyysinen immersio tarkoittaa Shermanin ja Craigin (2002, s. 9) mukaan VR-ympäristössä olemisen kokemista ja aistinvaraista vuorovaikutusta virtuaalimaailman kanssa. Sherman ja Craig (2002, s. 8) kuvailevat fyysisen immersion olevan virtuaalitodellisuuden välttämätön komponentti.

Virtuaalimaailman havainnoimiseksi ja immersion luomiseksi tarvitaan **aistipalaute**, joka virtuaalitodellisuudessa on usein ensisijaisesti visuaalista. VR-laitteisto tuottaa suoran aistipalautteen (kuvan) käyttäjälle perustuen tämän fyysiseen asentoon. Tyypillinen VR-laitteisto seuraa käyttäjän pään sijaintia, asentoa sekä vähintään yhtä kättä tai kädessä olevaa ohjainta. Aistipalaute voi tulla myös haptisesti eli tuntoaistin kautta tai auditiiivisesti. Haptinen palaute toteutetaan yleensä ohjaimen sisäisillä pienillä moottoreilla, jotka tuottavat värinää vuorovaikutustilanteissa, kuten käyttäjän tarttuessa VR-ympäristön objektiin. Monimutkaisempi haptinen palaute voi olla myös esimerkiksi lämpötilan tai paineen tuntoa (Okamura 2009). Auditiiivinen, eli kuuloaistin kautta tuleva, palaute toteutetaan tyypillisesti kuulokkeilla, ja sen on todettu vaikuttavan tehostavasti visuaaliseen havainnointikykyyn (Cunio, Dommett ja Houpt 2019).

Interaktiivisuus on käyttäjän kyky vuorovaikuttaa virtuaalimaailman kanssa. Yksinkertaisimmillaan virtuaalitodellisuudessa interaktiivisuus kattaa vähintään käyttäjän pään liikkeiden välittymisen virtuaalimaailmaan, jossa käyttäjän silmiä vastaavan kameran asento muuttuu vastaamaan käyttäjän asentoa. Monimutkaisempi interaktiivisuus sisältää mahdollisuuden muokata maailmaa, esimerkiksi vääntämällä valokatkaisijaa, poimimalla ja heittämällä palloa tai liikkumalla virtuaalimaailmassa. Monet VR-kokemukset rakentuvat staattisista maailmoista, joita käyttäjä ei voi muuttaa, mutta toiset taas ovat dynaamisempia ja sallivat maailman muokkaamisen. Virtuaalimaailmassa pelaajat saattavat vuorovaikuttaa myös toistensa kanssa pelihahmojensa kautta, esimerkiksi joukkueena tai vastustajina. Virtuaalitodellisuutta ja interaktiivisuutta voidaan hyödyntää myös suunnittelussa: vielä toteuttamattomassa tilassa voi vierailta ja kokeilla esimerkiksi hyllyjen korkeutta tai kirurgista toimenpidettä voi seurata kirurgin näkökulmasta. (Sherman ja Craig 2002, s. 11-13)

Silmikkonäyttö (engl. Head Mounted Device, jatkossa silmikkonäyttö tai HMD) on silmille puettava näyttölaite, joka sisältää sensoreita pään asennon seuraamista varten. Modernit kaupalliset VR-ympäristöt on suunniteltu silmikkonäytöillä seurattavaksi. Tutkielmassa käsitellään pääosin modernien silmikkonäyttöjen kanssa esiintyvää pahoinvointia. Osa väittämistä pätee myös muunkin tyyppisiin virtuaaliodellisuus- ja simulaattoriympäristöihin, kuten moniulotteiseen virtuaaliodellisuushuoneeseen (ns. CAVE-installaatio) ja ajosimulaattoriin.

2.2 Pahoinvointi

Tässä alaluvussa luodaan pohjatieto matkapahoinvoinnin alkuperästä. Tämä auttaa VR-pahoinvoinnin alkuperän tulkintaa, koska sekä matkapahoinvoinnin että VR-pahoinvoinnin syntymisen ymmärtämiseksi käytetään osin samoja teorioita.

Yksi merkittävimmistä haasteista toimivan VR-kokemuksen luomiselle on matkapahoinvointia muistuttava VR-pahoinvointi. Sekä VR-pahoinvoinnilla että matkapahoinvoinnilla on samankaltaiset oireet. Molempien pahoinvointien oireita ovat muun muassa väsyneisyys, päänsärky, huimaus ja oksetus. Tyler ja Bard (1949) määrittelevät matkapahoinvoinnin tilapäisenä häiriönä, joka ilmenee matkapahoinvoinnille alttiilla ihmisillä ja eläimillä niiden altistuessa tietyn tyyppisille liikkeille. Koska matkapahoinvointi liittyy määritelmän mukaan liikkeeseen, simulaattorikäytössä ilmenevä pahoinvointi voi olla aitoa matkapahoinvointia silloin, kun tilanteeseen liittyy liikettä. Jos henkilö kokee simulaattorissa matkapahoinvointia ilman virtuaaliympäristöä, kokee hän sitä yleensä samassakin simulaattorissa virtuaaliympäristön kanssa. Koska monet simulaattorit eivät kuitenkaan vaadi liikettä, mutta tuottavat silti pahoinvointia (Draper 1998), on VR-pahoinvointia tärkeää tarkastella myös matkapahoinvoinnista erillisenä ilmiönä (ks. luku 2.3).

Liikkeestä aiheutuvan matkapahoinvoinnin syyksi on esitetty useita teorioita, joista laajimmin hyväksytty selitys matkapahoinvoinnille on **aistiritiriiteteoria** (engl. sensory conflict theory tai sensory mismatch theory) (Golding 2006). Reason ja Brand (1975) selittävät aistiritiriidän aiheuttaman pahoinvoinnin syyksi sen, että aistien vastaanottama tieto ei ole yhteensopivaa keskenään, eikä vastaa kuvitteellista tunnetta omasta liikkeestä, eli vektioita. Vektio (engl. vection) on visuaalisesti immersion aiheuttama kuvitteellinen tunne omasta

liikkeestä, joka voi aiheutua mistä tahansa esitetystä liikkeestä (Hettinger ym. 1990). Sama mekanismi vaikuttaa myös keskeisesti VR-pahoinvoinnin syntyyn.

Toisin kuin todellisesta liikkeestä aiheutuva matkapahoinvointi, VR-pahoinvointi syntyy ilman varsinaista liikettä. Pahoinvoinnin kokemus syntyy, kun kuulo- ja näköaistin saamat visuaaliset ja auditiiviset ärsykkeet eivät vastaa vestibulaarisen aistijärjestelmän (eli painovoima- ja liikeaistijärjestelmän) ja proprioseptisen aistijärjestelmän (eli lihasten ja nivelien asento- ja liikeaistijärjestelmän) saamia ärsykeitä (Jerald 2015, s. 165). Tällainen ristiriitatilanne syntyy esimerkiksi silloin, kun silmikkonäyttö esittää käyttäjän putoavan virtuaalimaailmassa, vaikka käyttäjä oikeasti seisoo tukevasti paikallaan. Aistiristiriidat saattavat aiheuttaa pahoinvointia, minkä vuoksi virtuaalitodellisuuden yksi merkittävimmistä haasteista onkin luoda visuaalisia ja auditiivisia ärsykeitä, jotka ovat mahdollisimman yhdenmukaisia vestibulaarisen järjestelmän ja asentoaistien ärsykkeiden kanssa pahoinvoinnin minimoimiseksi.

Aistiristiriitateoria antaa selityksen matkapahoinvoinnille, kun aistit ovat ristiriidassa keskenään, mutta tämä teoria ei kuitenkaan selitä miksi matkapahoinvointia lähtökohtaisesti ilmenee. Evolutiivinen teoria, joka tunnetaan myös nimellä myrkkysteoria (engl. poison theory), antaa syyn pahoinvoinnille: selviytymisen kannalta on kriittistä tulkita kehon ja ympäristön liikkeitä. Jos aistit tulkitsevat ristiriidan, tarkoittaa se aistien ja motoriikan häiriötä (Treisman 1977). Ihmiskeho on kehittynyt suojelemaan itseään minimoimalla toksiinien aiheuttamat fyysiset häiriöt. Matkapahoinvoinnin aiheuttama oksettava olotila saattaa johtua siitä, että aivot tulkitsevat aistiristiriidan myrkytystilaksi, joka laukaisee pahoinvoinnin suojelemaan kehoa.

Posturaalinen instabiliteettiteoria (engl. postural instability theory) (Riccio ja Stoffregen 1991) esittää, että aistien välinen ristiriita ei aiheuttaisi pahoinvointia ja että muut aistiristiriidan aiheuttamat ongelmat olisivat kestettävissä. Riccion ja Stoffregenin 1991 mukaan matkapahoinvoinnin syynä on pitkittynyt asennon epävakaisuus (posturaalinen instabiliteetti), jolloin pahoinvoinnin aiheuttajana olisi liikkeiden koordinaation häiriö, oireina esimerkiksi asennon huojunta ja hapuilu (tilapäinen ataksia) ja pahoinvoinnin suuruutena ataksian kesto ja vakavuus. Tämän teorian mukaan käyttäjän ja ympäristön välisistä vuorovaikutuksista pahoinvointi voidaan havaita ennalta, toisin kuin aistiristiriitateoriassa. Stoffregen ja Smart Jr (1998) havaitsivat, että koehenkilön liikkeissä esiintyi ataksiaa simulaattorin käytön jälkeen

ja että ataksia edelsi matkapahoinvointia. Mitatessaan ataksiaa, he huomasivat, että kohoumat ataksian liikkeen määrässä, nopeudessa ja vaihtelussa kasvattivat matkapahoinvointia.

Cobb (1999) on kritisoinut Riccion ja Stoffregenin posturaalista instabiliteettiteoriaa, koska tutkimuksessa käytetyt asennon epätasaisuutta mittaavat menetelmät eivät olleet riittävän tarkkoja. Akiduki ym. (2003) huomasivat, että epätasaisuuden ja oireiden välillä on aikaviivettä, joka viittaa siihen, että epätasapaino olisi VR-pahoinvoinnin seurausta, toisin kuin Stoffregen ja Smart Jr (1998) olivat havainneet.

Teorioista voi päätellä, että fyysisten aistiärsykkeiden voimakkuus ei välttämättä liity pahoinvoinnin voimakkuuteen, koska pahoinvointi liittyy useimmiten aistien väliseen vuorovaikutukseen.

2.3 Pahoinvointi virtuaalitodellisuusympäristössä

Virtuaalitodellisuudessa esiintyvälle pahoinvoinnille ei ole yhtä vakiintunutta käsitettä, joten on ensin käsiteltävä erilaiset virtuaalitodellisuuden yhteydessä käytetyt pahoinvointia kuvaavat käsitteet ja niiden kattamat pahoinvoinnin tyypit. Pahoinvointi voidaan jakaa neljään tyyppiin: matkapahoinvointiin, simulaattoripahoinvointiin, kyberpahoinvointiin ja VR-pahoinvointiin. Jaottelun perusteena voidaan käyttää pahoinvoinnin aiheuttajaa. Matka- ja simulaattoripahoinvointi ovat molemmat liikkeestä johtuvaa pahoinvointia, kyberpahoinvointi aiheutuu täysin virtuaalisesta ympäristöstä sekä VR-pahoinvointi kattaa kaiken virtuaalitodellisuuden yhteydessä esiintyvän pahoinvoinnin.

Matkapahoinvointi johtuu usein kehon aistimasta liikkeestä, jota ei nähdä. Tyler ja Bard (1949) määrittelevät matkapahoinvoinnin tilapäisenä häiriönä, joka ilmenee sille alttiilla ihmisillä ja eläimillä näiden altistuessa tiettyntyyppiselle liikkeelle. Simulaattoripahoinvointi johtuu aina simulaattorilaitteesta ja sen aiheuttamista aistiärsykkeistä. Aina pahoinvoinnin syntyminen ei kuitenkaan vaadi fyysistä liikettä, vaan pahoinvointi voi syntyä myös muista simulaattoriin liittyvistä tekijöistä (Draper 1998). Tällaisia tekijöitä voivat olla esimerkiksi erilaiset vajaavaisuudet simulaattorin mekaanisessa toteutuksessa.

Simulaattoripahoinvointi (engl. simulator sickness) tarkoittaa pahoinvointia, joka johtuu

simulaation vajavaisuudesta, muttei varsinaisesta simulaatiosta tai virtuaaliympäristöstä. Pahoinvointi johtuu simuloinnin epätäydellisyydestä, eikä sitä ilmenisi mikäli simulaatio vastaisi täydellisesti simuloimansa ilmiön fyysisiä piirteitä. Täydellisesti simuloitu pahoinvointia aiheuttava tilanne, kuten turbulenttinen lento ei siis ole simulaattoripahoinvointia, vaan aitoa matkapahoinvointia. Simulaattoripahoinvointi useimmiten viittaa fyysiseen liikkeeseen vertautumattomasta näennäisestä liikkeestä johtuvaan pahoinvointiin, joten oikeasta liikkeestä johtuva pahoinvointi ei ole simulaattoripahoinvointia. (Kolasinski 1995)

Simulaattoripahoinvointia voi esiintyä myös akkommodaation ja konvergenssin ristiriidan (engl. accommodation-vergence conflict) tai ruudun välkynnän (engl. display flicker) vuoksi. Akkommodaation ja konvergenssin ristiriita tarkoittaa näön kahden tarkennusmekanismin kohdistamishäiriötä, joka ilmenee silmikkonäyttöä käyttäessä. Akkommodaatio tarkoittaa silmän kykyä kohdistaa silmän linssi (mykiö) eri etäisyyksille ja konvergenssi tarkoittaa silmien kykyä kääntyä sisäänpäin. Modernissa silmikkonäytössä konvergenssi kohdentaa lumekuvaan, mutta akkommodaatio taas näyttöruutuun, mikä rasittaa silmiä.

Simulaattoripahoinvointi ei ota huomioon pahoinvointia, joka johtuu itse simulaation kokemisesta. Siten esimerkiksi pelien voimakkaista stressitilanteista johtuva pahoinvointi tai akrofobia (korkeiden paikkojen pelko) ja huimaus, jotka aiheutuvat virtuaaliselta jyrkänteeltä alas katsomisesta, eivät luokituta simulaattoripahoinvoinnin piiriin. Osa tutkijoista käyttää simulaattoripahoinvointia viittaamaan vain pahoinvointiin, joka johtuu lentosimulaattoritoteutuksesta, jossa näyttö on paikallaan fyysisessä ympäristössä, muttei pahoinvointiin, joka johtuu silmikkonäytön käytöstä (Stanney, Kennedy ja Drexler 1997).

Kyberpahoinvointi tai kyberheikotus (engl. cyber sickness) viittaa visuaalisista ärsykkeistä aiheutuvaan pahoinvointiin, joka johtuu immersioista virtuaalitodellisuusympäristössä (McCauley ja Sharkey 1992). Termiä ehdottivat McCauley ja Sharkey (1992) määrittelemään vain virtuaalitodellisuusympäristössä tapahtuvasta näennäisestä liikkeestä johtuvaa matkapahoinvointia. Määritelmä ei ota huomioon liikkeetöntä pahoinvointia, kuten akkommodaation ja konvergenssin ristiriitaa, välkyntää tai uupumusta (engl. fatigue) (Jerald 2015, s. 160). Tämän määritelmän mukaan vain vektiosta (ks. luku 2.2) aiheutuva pahoinvointi olisi kyberpahoinvointia. LaVallen (2017, s. 344) mukaan kyberpahoinvoinnin käsite on laajentunut tarkoittamaan kaikkea tietotekniikan liiallisesta käytöstä johtuvaa pahoinvointia.

Kuten edellä esitetystä nähdään, virtuaalitodellisuudessa koetusta pahoinvoinnista käytetyt käsitteet ovat moninaiset ja osittain päällekkäiset. Käsitteiden monitulkintaisuutta yksinkertaistamaan sekä Jerald (2015, s. 160) että LaValle (2017, s. 344) ovat tarjonneet käsitettä **VR-pahoinvointi** tai virtuaalitodellisuuspahoinvointi (engl. VR sickness). Käsitteen matkapahoinvointi Jerald jättäisi viittaamaan vain fyysisestä liikkeestä johtuvaan pahoinvointiin. Käsitettä VR-pahoinvointi hyödynnetään myös tässä tutkielmassa sen kattavuuden vuoksi.

3 Suunnittelulliset ja ohjelmalliset syyt pahoinvoinnille

Virtuaalitodellisuusympäristöjen kehittämisessä on otettava huomioon erilaiset pahoinvointia aiheuttavat tekijät, koska sovellukset määrittelevät virtuaalitodellisuuskokemuksen miellyttävyyden, vaikka teknologia sallisi virtuaaliympäristön havainnoimisen suoraan aistien kautta ja ympäristön kanssa vuorovaikuttaminen olisi todenmukaista. Tässä luvussa käsitellään suunnittelun aiheuttamaa pahoinvointia.

Kenties keskeisin VR-pahoinvoinnin esiintymiskonteksti on liike. Liikkeestä aiheutuvan pahoinvoinnin välttämiseksi LaValle (2017, s. 351) kehottaa suunnittelemaan virtuaalitodellisuuskokemuksen mahdollisimman vähäliikkeiseksi. Virtuaalitodellisuusympäristöä ei kuitenkaan pysty tekemään täysin liikkeettömäksi sen interaktiivisen luonteen vuoksi, joten on tiedettävä minkälaiset asiat aiheuttavat pahoinvointia.

Merkittävä osa liikkeestä aiheutuvasta pahoinvoinnista johtuu vekiosta (ks. luku 2.2). Esimerkiksi Sharples ym. (2008) kuvailee, että käyttäjät, joilla ei ole kontrollia liikkeistään virtuaaliympäristössä, potevat suurempia pahoinvointioireita kuin liikkeistään kontrollissa olevat käyttäjät, koska käyttäjän liikkumissuunnan eriäminen tapahtuneesta liikkeestä aiheuttaa aistiristiriidan. Samoihin päätelmiin tulivat myös merisairautta tutkivat Rolnick ja Lubow (1991) todetessaan, että ruorimies kokee harvoin merisairautta ohjattaessaan laivaa, mutta kokee sitä matkustajana, koska ohjattaessaan itse liikettä, aivot osaavat ennakoida tapahtuvia liikkeitä. Samanlaista matkustajan kokemaa pahoinvointia huomasi muun muassa Ohra-Aho (2010) tutkiessaan bussiaimulaattoriympäristöjä. Tästä voi tehdä päätelmän, että kyseessä on sama ilmiö ja että virtuaalitodellisuusympäristössä tulisi välttää käyttäjän katseen ohjaamista liikuttamalla virtuaalitodellisuusympäristön kameraa. Esimerkki tällaisesta olisi välivideo, jossa kameran liike on ohjattua ja riippumatonta käyttäjän fyysisistä liikkeistä. Kameran liikuttamisesta voi kuitenkin saada merkittäviä hyötyjä uudelleensuunnatulla kävelyllä, jossa käyttäjän kävelysuuntaa muutetaan siten, että käyttäjä luulee kävelevänsä suoraan, vaikka käveleekin tilassa ympyrää (Razzaque, Kohn ja Whitton 2001).

VR-laseja puettaessa ruudun tulee olla pimeä, koska kuvan liikkuminen luonnottomasti pukemisvaiheessa on omiaan aiheuttamaan pahoinvointia. Samoin myös laseja riisuttaessa.

Päänseurauksen keskeyttämistä ja viivyttämistä tulisi välttää. Jos virtuaalitodellisuusympäristö pitää pysäyttää tai muuttaa käyttäjän sijaintia virtuaalitodellisuusympäristössä, pitää ruutu pimentää tai pyytää käyttäjää sulkemaan silmänsä ennen pysäyttämistä ettei käyttäjä kokisi äkillisiä, ennakoimattomia muutoksia näkymässään. (Frank ja Casali 1986) Samoin käyttäjän liikkeessä seuranta-alueen (engl. tracking region) reunalle, on mukavampaa käyttäjälle, että näkymä virtuaalimaailmassa häivytetään ennen seurannan katoamista (OculusVR 2011; LaValle 2017, s. 341).

Pahoinvointia voi syntyä myös käyttäjän ennakoimista ja itse aiheuttamista, mutta silti vektiota synnyttävistä liikkeistä. LaValle (2017, s. 289) ottaa esille ei-planaarisen liikkumisen. Tällaista liikettä ovat esimerkiksi mäen ylös käveleminen, lentokoneen surmansilmukka tai laitesukellus. Ei-planaarinen liike aiheuttaa vektiota, jota voi olla mahdotonta välttää. Ongelma on hyvin tiedostettu ja siitä mainitaan myös *Oculus Riftin Best Practices* -oppaassa (OculusVR 2011). Samantapaiseksi liikkeeksi voi myös tulkita pelihahmon liikkeitä, joiden ohjaamiseen käytetään luonnollisten kehon liikkeiden lisäksi ohjainta. Mikäli tämälantapaisia liikkumistapoja on käytettävä, LaValle kehottaa tekemään peli- ja ohjainjärjestelykohtaista testausta eri koehenkilöillä pahimpien pahoinvointitilanteiden kartoittamiseksi.

LaValle kutsuu liikkeitä, joita pelaaja ei todellisuudessa tee, mutta pelihahmo tekee, erikoisefekteiksi. Erikoisefektejä ovat muun muassa pelihahmon katseen ohjaaminen ohjaimella, pelihahmon hyppääminen tai näkökentän heilahtelu (esimerkiksi kävellessä pään ylikorostettu liikkuminen tai epätasaisella tiellä ajamisesta syntyvä auton pomppiminen). Joskus toiminnallisuuksia on parempi tehdä helpommaksi kuin se oikeasti on tai kiertää kokonaan, kuten antamalla käyttäjälle mahdollisuus vaikuttaa ympäristöön liioitellusti, esimerkiksi esineiden poimimiseksi maasta käyttäjän ollessa seisaallaan.

Kolasinski (1995, s. 26) havainnoi ihmisen näköaistin olevan herkkä ääreisnäön alueella, minkä vuoksi ääreisnäön alueella tapahtuva liike synnyttää herkemmin pahoinvointia aiheuttavaa vektiota. Tämän ongelman ratkaisemiseksi on tehty paljon tutkimustyötä. Sekä Prothero (1998), Parker ja Prothero (2003) että Jerald (2015, s. 167–168) kehottavat jakamaan VR-ympäristön kiintopisteisiin ja liikkuvaan sisältöön, jolloin käyttäjä voi kohdentaa katseensa staattisiin kiintopisteisiin ja näin vähentää silmän liikkeitä ja vektion voimakkuutta.

Eräs yksinkertainen tapa luoda kiintopiste on asettaa virtuaalimaailmaan käyttäjän nenän paikalle virtuaalinen nenä (lat. nasum virtualis). Tutkimuksen mukaan virtuaalinen nenä vähensi VR-pahoinvointia, ja osa käyttäjistä ei huomannut virtuaalisen nenän olemassaoloa lainkaan (Whittinghill ym. 2015). Toinen tapa tuoda kiintopiste luontevasti VR-ympäristöön on asettaa pelihahmon ympärille hytin tai auton sisätila, joka estää sen rakenteiden takana olevaa liikettä näkymästä. Tällöin tulee kuitenkin ottaa huomioon, että näkökentän ollessa liian lähellä maata (esimerkiksi matalassa autossa), maan nopeus- ja kiihtyvyyksvektorit ovat suurempia kuin jos ne olisivat korkeammalla maasta (LaValle 2017, s. 287). Kiintopisteen voi tuoda itsenäisenä visuaalisena taustana (engl. Independent Visual Background), joka on virtuaaliympäristön äärilaidoilla sijaitseva maisema. Paikoillaan pysyvän luonnollisen maisemakuvan on todettu lieventävän pahoinvointia enemmän kuin epäluonnollinen maisemakuva. Tutkimuksessa luonnollinen ja epäluonnollinen maisemakuva erosivat siten, että luonnollisessa maisemakuvassa oli pilviä taivaalla, kun taas epäluonnollisessa taivaalla oli ruudukko. (Lin ym. 2002).

4 Yhteenveto

Tässä tutkielmassa kartoitettiin, mitkä asiat aiheuttavat pahoinvointia virtuaalitodellisuusympäristössä ja miten tunnettujen pahoinvoinnin aiheuttajien vaikutusta pystytään ehkäisemään tai niiden vaikutus välttämään kokonaan virtuaaliympäristöjä luotaessa. Tutkimuksessa kävi ilmi, että virtuaaliympäristössä koettu pahoinvointi voi johtua useista eri tekijöistä. Keskeisin pahoinvoinnin synnyttäjä virtuaalitodellisuudessa on se, että käyttäjän kuvitteellinen tunne omasta liikkeestään (vektio) ei vastaa tasapaino- ja liikeaistien aistiärsykkeistä tekemiä havaintoja. Tällöin aiheutuva aistiristiriita synnyttää pahoinvoinnin kokemuksen. Tämä teoria on yleisesti hyväksytyin pahoinvoinnin syntymisestä saatavilla oleva teoria.

Tarkasteltaessa suunnittelullisia syitä pahoinvoinnille nousivat esiin kolme useissa lähteissä toistuvaa syytä pahoinvoinnille. Näitä syitä olivat 1) se, että käyttäjä ei pysty kontrolloimaan virtuaalitodellisuudessa tapahtuvia kameranliikkeitä, 2) virtuaalitodellisuudessa tapahtuvat liikkeet, jotka tapahtuvat käyttäjän aloitteesta, mutta eivät aidosta liikkeestä (esimerkiksi kameran kääntäminen peliohjaimen avulla) sekä 3) ihmisen hyvin herkän ääreisnäön alueella tapahtuva liike, joka synnyttää herkemmin pahoinvointia aiheuttavaa vekiota. Näihin kolmeen seikkaan keskityttiin tässä tutkielmassa erityisesti siksi, että niiden aiheuttamiin ongelmiin oli mahdollista löytää ratkaisuja saatavilla olevasta lähdekirjallisuudesta.

VR-pahoinvointia voidaan estää suunnittelullisin seikoin. Ongelmia voidaan ehkäistä esimerkiksi välttämällä tilanteita, joissa käyttäjä ei pysty hallitsemaan kameraa, testaamalla ympäristöjä ja erilaisia liikkumistapoja sekä asettamalla ympäristöön kiintopisteitä, joissa katse pystyy lepäämään. Koska VR-pahoinvoinnille altistuminen on hyvin yksilöllistä, olisi kehitysteknisesti suositeltavaa, että käyttäjälle annettaisiin mahdollisuus valita erilaisia pahoinvoinnin torjuntakeinoja pelissä tai sovelluksessa. Tällainen voi olla esimerkiksi virtuaalinenä, jonka käyttäjä itse voisi valita käytettäväksi tai pois käytöstä.

Mahdollisessa jatkotutkimuksessa voitaisiin käsitellä tarkemmin suunnittelullisia syitä ja kerätä empiiristä, uudelleen hyödynnettävää liikeanturidataa pahoinvointia aiheuttavista hetkistä. Lisäksi voitaisiin ottaa huomioon myös VR-laitteisto pahoinvoinnin aiheuttajana. Tällöin tutkimuksen tulisi tutkia pahoinvoinnin aiheuttajia ja testata niiden ehkäisytapoja todellises-

sa virtuaalitodellisuusympäristössä. Jatkotutkimuksessa tulisi myös selvittää fyysisen laitteiston roolia pahoinvoinnin synnyssä.

Lähteet

- Akiduki, Hironori, Suetaka Nishiike, Hiroshi Watanabe, Katsunori Matsuoka, Takeshi Kubo ja Noriaki Takeda. 2003. "Visual-vestibular conflict induced by virtual reality in humans". *Neuroscience letters* 340 (3): 197–200.
- Cobb, Susan Valerie Gray. 1999. "Measurement of postural stability before and after immersion in a virtual environment". *Applied Ergonomics* 30 (1): 47–57.
- Cunio, Rachel J., David Dommert ja Joseph Houpt. 2019. "Spatial Auditory Cueing for a Dynamic Three-Dimensional Virtual Reality Visual Search Task". *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 63 (1): 1766–1770. doi:10.1177/1071181319631045. eprint: <https://doi.org/10.1177/1071181319631045>. <https://doi.org/10.1177/1071181319631045>.
- Draper, Mark H. 1998. *The Adaptive Effects Of Virtual Interfaces: Vestibulo-Ocular Reflex and Simulator Sickness*. Tekninen raportti. Air Force Institute of Technology in Wright-Patterson AFB, OH.
- Frank, Lawrence H, ja John G Casali. 1986. "Simulator sickness: A review of its costs, countermeasures, and prediction". *SAE Transactions*: 1187–1197.
- Golding, John F. 2006. "Motion sickness susceptibility". *Nausea and Vomiting: An Interdisciplinary Approach, Autonomic Neuroscience* 129 (1): 67–76. ISSN: 1566-0702. doi:<https://doi.org/10.1016/j.autneu.2006.07.019>.
- Hettinger, Lawrence J, Kevin S Berbaum, Robert S Kennedy, William P Dunlap ja Margaret D Nolan. 1990. "Vection and simulator sickness". *Military Psychology* 2 (3): 171–181.
- Jerald, J. 2015. *The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality*. ACM Books. Association for Computing Machinery / Morgan & Claypool Publishers. ISBN: 9781970001143.
- Kennedy, R. S., Jennifer E. Fowlkes, Kevin S. Berbaum ja M. G. Lilienthal. 1992. "Use of motion sickness history questionnaire for prediction of simulator sickness", 63:588–93.

- Kolasinski, E. M. 1995. "Simulator sickness in virtual environments", numero nid. 4, nro 1027.
- LaValle, Steven M. 2017. *Virtual Reality*. Viitattu: 20.2.2018. Cambridge University Press. <http://vr.cs.uiuc.edu/>.
- Lin, James Jeng-Weei, Habib Abi-Rached, Do-Hoe Kim, Donald E Parker ja Thomas A Furness. 2002. "A "natural" independent visual background reduced simulator sickness". Teoksessa *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting*, 46:2124–2128. 26. SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA.
- McCauley, Michael, ja Thomas Sharkey. 1992. "Cybersickness: Perception of Self-Motion in Virtual Environment.", 1:311–318.
- Milgram, Paul, ja Fumio Kishino. 1994. "A taxonomy of mixed reality visual displays". *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems* 77 (12): 1321–1329.
- OculusVR. 2011. *Oculus Rift Best Practises*. Viitattu: 20.2.2018. http://static.oculus.com/sdk-downloads/documents/Oculus_Best_Practices_Guide.pdf.
- Ohra-Aho, Marko. 2010. "Simulaattorisairauteen vaikuttavien tekijöiden vähentäminen bus-simulaattoriympäristössä". Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto. <http://docplayer.fi/docview/25/6844216/#file=/storage/25/6844216/6844216.pdf>.
- Okamura, Allison. 2009. "Haptic Feedback in Robot-Assisted Minimally Invasive Surgery", 19:102–7.
- Parker, Donald, ja Jerrold Prothero. 2003. "A Unified Approach to Presence and Motion Sickness". Teoksessa *Virtual and Adaptive Environments*, 62–81. CRC Press.
- Porcino, Thiago, Esteban Clua, Cristina Vasconcelos, Daniela Trevisan ja Luis Valente. 2016. "Minimizing cyber sickness in head mounted display systems: design guidelines and applications" (marraskuu).
- Prothero, Jerrold D. 1998. "The role of rest frames in vection, presence and motion sickness". Väitöskirja, University of Washington.

- Razzaque, Sharif, Zachariah Kohn ja Mary C Whitton. 2001. "Redirected walking". Citeseer.
- Reason, J. T., ja J. J. Brand. 1975. *Motion Sickness*. Academic Press. ISBN: 9780125840507.
- Riccio, Gary E, ja Thomas A Stoffregen. 1991. "An ecological theory of motion sickness and postural instability". *Ecological psychology* 3 (3): 195–240.
- Rolnick, Arnon, ja R. E. Lubow. 1991. "Why is the driver rarely motion sick? The role of controllability in motion sickness". *Ergonomics* 34 (7): 867–879. doi:10.1080/00140139108964831. <https://doi.org/10.1080/00140139108964831>.
- Sharples, Sarah, Sue Cobb, Amanda Moody ja John R. Wilson. 2008. "Virtual reality induced symptoms and effects (VRISE): Comparison of head mounted display (HMD), desktop and projection display systems". *Health and Safety Aspects of Visual Displays, Displays* 29 (2): 58–69. ISSN: 0141-9382. doi:<https://doi.org/10.1016/j.displa.2007.09.005>.
- Sherman, William R, ja Alan B Craig. 2002. *Understanding virtual reality: Interface, application, and design*. Elsevier.
- Stanney, Kay M., Robert S. Kennedy ja Julie M. Drexler. 1997. "Cybersickness is not simulator sickness". *Teoksessa Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society annual meeting*, 41:1138–1142. 2. SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA.
- Stanney, Kay, ja Gavriel Salvendy. 1998. "Aftereffects and Sense of Presence in Virtual Environments: Formulation of a Research and Development Agenda". *International Journal of Human–Computer Interaction* 10 (2): 135–187. doi:10.1207/s15327590ijhc1002_3. https://doi.org/10.1207/s15327590ijhc1002_3.
- Stoffregen, Thomas A, ja L James Smart Jr. 1998. "Postural instability precedes motion sickness". *Brain research bulletin* 47 (5): 437–448.
- Treisman, M. 1977. "Motion sickness: an evolutionary hypothesis". *Science* 197 (4302): 493–495. ISSN: 0036-8075. doi:10.1126/science.301659.
- Tyler, David B., ja Philip Bard. 1949. "Motion sickness". 14. doi:10.1152/physrev.1949.29.4.311.

Whittinghill, David Matthew, Bradley Ziegler, James Moore, Tristan Case ja Ali Baigelenov. 2015. "Nasum Virtualis: A Simple Technique for Reducing Simulator Sickness". Viitattu: 17.4.2018. <https://www.gdcvault.com/play/1022287/Technical-Artist-Bootcamp-Nasum-Virtualis>.