

Joni Kiviluoto

**Liikepahoinvoinnin vähentäminen virtuaalitodellisuudessa
ohjelmointiratkaisujen tai käyttäjän toimien avulla**

Tietotekniikan kandidaatintutkielma

14. toukokuuta 2021

Jyväskylän yliopisto

Informaatioteknologian tiedekunta

Tekijä: Joni Kiviluoto

Yhteystiedot: joni.a.kiviluoto@student.jyu.fi

Ohjaaja: Tuomo Rossi

Työn nimi: Liikepahoinvoinnin vähentäminen virtuaalitodellisuudessa ohjelmointiratkaisujen tai käyttäjän toimien avulla

Title in English: Reducing motion sickness in virtual reality with programming solutions or by user actions

Työ: Kandidaatintutkielma

Opintosuunta: Tietotekniikka

Sivumäärä: 21+0

Tiivistelmä: Tässä tutkielmassa kartoitetaan erilaisia tapoja ehkäistä VIMS (Visually Induced Motion Sickness) -oireita virtuaalitodellisuudessa, ja millaisissa sovelluksissa näitä tapoja voidaan hyödyntää. Tutkielmassa on käyty läpi ainoastaan osa VIMS -oireita helpottavista ratkaisuista, eikä se pyri olemaan kattava kuvaus kaikista olemassa olevista ratkaisuista. Käsiteltävät tavat ovat näkökentän kaventaminen, katselukulman katkaisu, staattinen tukikehikko, katseen vakauttaminen, ympäristön tekeminen miellyttäväksi, totuttautuminen ja harjoittelu. Kaikki ratkaisujen huomattiin olevan sellaisenaan hyödynnettävissä erilaisissa viihdesovelluksissa, ja hyötyohjelmienkin kohdalla ratkaisut olivat vähintään välillisesti hyödynnettävissä.

Avainsanat: Virtuaalitodellisuus, liikepahoinvointi, matkapahoinvointi, cyber sickness, vastatoimet

Abstract: This study surveys varying ways of preventing VIMS (Visually Induced Motion Sickness) -symptoms in virtual reality and what kind applications they can be utilized in. This study contains only a part of the solutions to ease VIMS -symptoms and it does not aim to be inclusive listing of all available solutions. Included solutions are narrowing field of view, viewpoint snapping, static rest frames, gaze stabilization, pleasant ambience, adaptation, and

training. All of the solutions could be utilized in entertainment applications as they were, and at the least indirectly with non-entertaining applications too.

Keywords: Virtual reality, motion sickness, cyber sickness, counter measures

Termiluettelo

VIMS Visually Induced Motion Sickness. Visuaalisen palautteen aiheuttama matkapahoinvointi.

Kuviot

Kuvio 1. (Farmani ja Teather 2018)	6
Kuvio 2. (Cao, Jerald ja Kopper 2018)	7

Sisällys

1	JOHDANTO	1
2	LIIKEPAHOINVOINTI	2
3	KÄSITELTÄVÄT TAVAT	4
3.1	Ohjelmalliset ratkaisut	4
3.1.1	Näkökentän kaventaminen	4
3.1.2	Katselukulman katkaisu (Viewpoint Snapping)	5
3.1.3	Staattinen tukikehikko (Static Rest Frames).....	5
3.1.4	Katseen vakauttaminen	6
3.2	Käyttäjän toimet	7
3.2.1	Ympäristön tekeminen miellyttäväksi	7
3.2.2	Totuttautuminen.....	8
3.2.3	Harjoittelu	8
4	POHDINTAA	10
5	LOPPUPÄÄTELMÄT	12
	LÄHTEET	13

1 Johdanto

Tutkimuksen tarkoitus on kartoittaa erilaisia tapoja ehkäistä liikepahoinninvoinnin (VIMS, Visually Induced Motion Sickness) syntymistä virtuaalitodellisuusympäristössä. Virtuaalilaitteiden ja virtuaalitodellisuusympäristöjen määrä on lisääntynyt merkittävästi muutaman viime vuoden aikana. Virtuaalitodellisuusympäristöt kuitenkin aiheuttavat monille käyttäjilleen pahoinvointia, joka on osittain rinnastettavissa esim. ajoneuvon kyydissä syntyvään matkapahoinvointiin. Pahoinvoinnin ehkäisemiseksi on kehitetty useita eri tapoja, mutta kaikki tavat eivät kuitenkaan toimi jokaisella käyttäjällä tai sovellu kaikkiin käyttötarkoituksiin. On siis tärkeää kartoittaa useita eri tapoja, jotka auttavat mahdollisimman montaa eri käyttäjätyyppiä ja käyttötarkoitusta. Tässä kirjallisuuskartoituksessa käsitellään seuraavia tapoja: katselukulman katkaisu (Viewpoint Snapping) (Farmani ja Teather [2018](#)), staattinen tukikehikko (Static Rest Frames) (Cao, Jerald ja Kopper [2018](#)), näkökentän kaventaminen, kiinnityspiste, ympäristön tekeminen miellyttäväksi, totuttautuminen ja harjoittelu. VIMS:n synnyn ehkäisemistä lääkkeiden avulla on myös tutkittu, mutta niihin emme perehdy tässä tutkielmassa. Tässä tutkielmassa ei myöskään oteta kantaa käytettyihin virtuaalitodellisuuslaitteisiin, ja niiden välisten erojen, kuten esim. virkistystaajuuden, vaikutusta VIMS -oireiden syntyyn.

Aluksi kerrotaan mitä liikepahoinnilla tarkoitetaan tässä yhteydessä, mitä se aiheuttaa ja kuinka sitä mitataan. Seuraavaksi käydään läpi tähän tutkielmaan mukaan otetut ratkaisut, ohjelmalliset ja käyttäjän toimiin perustuvat, ja selitetään toimintaperiaatteita niiden takana. Pohdintaosuudessa mietitään minkälaisissa sovelluksissa tutkimiamme ratkaisuja voitaisiin hyödyntää, ja lisäksi käydään läpi joillekin ratkaisuille ominaisia piirteitä. Näiden jälkeen esitetään loppupäätelmät erilaisten ratkaisujen suhteen.

2 Liikepahoinvointi

Visuaalisen palautteen aiheuttamaa liikepahoinvointia (vrt. matkapahoinvointi) eli VIMSiä (visually induced motion sickness) pidetään yleisesti syyllisenä virtuaaliympäristössä aiheutuvaan pahoinvointiin. Keshavarz (2016) toteaa tyypillisten VIMSin oireiden olevan kalpeuden, uupumuksen, kylmän hien, silmien motoriikan ongelmien sekä pyörryttämisen, huimaamisen, pahoinvoinnin ja oksentamisen. Kaksi todennäköisintä syytä VIMSin aiheutumiselle virtuaaliympäristöissä liittyvät aistien ristiriita teoriaan (Sensory Conflict theory), ja asentoon liittyvään epävakaushypoteesiin (Postural Instability hypothesis) (Keshavarz 2016).

Aistien ristiriita teoria pyrkii selittämään passiivisessa liikkeessä (esim. autossa) syntyvää pahoinvointia. Tiedonvälitys aivoihin on ristiriitaista kun silmät aistivat liikettä, mutta keho ei tunne sitä, jolloin se saattaa reagoida erilaisilla pahoinvointioireilla (*sensory conflict theory*). Nykyisillä virtuaalitodellisuuslaitteilla käyttäjän saama palaute ympäristöstä on pääosin visuaalista ja vastaa vain harvoin kehon saamaa palautetta, jolloin voi syntyä ristiriita aistien välillä.

Asentoon liittyvä epävakaushypoteesi selittää VIMSin syntyä asennon ja ryhdin muutoksilla ja niiden hallinnan vaikeutumisella (Riccio ja Stoffregen 1991). Virtuaaliympäristöihin ryhdin muutokset kytkeytyvät siten, että käyttäjän saamat visuaaliset ärsykkeet voivat vaikuttaa kehon asentoon käyttäjän reagoiessa saamaansa palautteeseen samoin kuin virtuaaliympäristön ulkopuolella, ja se saattaa vaikeuttaa kehon hallintaa kun ympäristöt eivät vastaakaan toisiaan (Keshavarz 2016). Esimerkki tällaisesta ympäristöjen vastaamattomuudesta voisi olla esim. kuoppa johon käyttäjä reagoi virtuaaliympäristössä, vaikka seisoisikin oikeasti suoralla alustalla. Tähän tutkielmaan valitut ratkaisut eivät kuitenkaan hyödynnä asentoon liittyvää epävakaushypoteesia.

Pahoinvoinnin tuntemus on tietysti aina subjektiivista, joten sen objektiivinen mittaaminen voi olla haastavaa. Kaikissa tässä tutkielmassa läpikäytävissä tutkimuksissa koehenkilöt ovat itse arvioineet numeroasteikolla oman pahoinvointinsa määrän, joko testin aikana tai sen jälkeen. Arviointiasteikko on määritelty siten, että nollassa on silloin kun koehenkilöllä ei ole yhtään pahoinvoinnin tunnetta ja maksimitaso silloin kun koehenkilö on niin pahoinvoiva

että ei kykene enää jatkamaan koetta. Tutkimuksissa pyrittiinkin selvittämään yksittäisten koehenkilöiden kokemaa muutosta kokemansa pahoinvoinnin suhteen kontrollitilanteen ja tutkittavan pahoinvointia ehkäisevän ratkaisun suhteen.

3 Käsiteltävät tavat

Virtuaaliympäristön aiheuttamaa pahoinvointia voidaan useassa tapauksessa ehkäistä ulkoisilla lisälaitteilla, kuten juoksumatolla (Jaeger ja Mourant [2001](#)), joka antaa sovellukselle syötteen liikkumisesta. Tässä tutkielmassa emme kuitenkaan keskity ulkoisiin apuvälineisiin joilla käyttäjä voi antaa syötteitä sovellukselle, sillä ne voivat olla kalliita ja viedä paljon tilaa. Painotus on ratkaisuisissa, joita voidaan toteuttaa ohjelmallisesti tai käyttäjän omilla toimilla VIMS -oireiden helpottamiseksi.

3.1 Ohjelmalliset ratkaisut

Seuraavaksi käydään läpi ohjelmoimalla saavutettavissa olevia VIMS -oireita vähentäviä ratkaisuja. Jos koehenkilöllä oli kontrollia virtuaaliympäristöönsä, niin se oli jokaisessa testissä toteutettu joko hiirellä ja näppäimistöllä, tai perinteisen peliohjaimen avulla.

3.1.1 Näkökentän kaventaminen

Lin ym. ([2002](#)) testasivat koehenkilöiden avulla kuinka 60, 100, 140, 180 asteen laajuiset näkökentät vaikuttavat VIMS oireiden ilmaantumiseen. He havaitsivat, että VIMS oireita ilmaantui vähemmän kapeammalla näkökentällä, mutta 140 asteen jälkeen oireiden lisääntyminen ei kuitenkaan ollut enää merkittävää. Staattisen näkökentän kaventamisen on kuitenkin todettu vähentävän paikallaolon tuntua, eli sitä että käyttäjä kokisi olevansa virtuaalituodellisuusympäristössä vaikka fyysisesti onkin jossain muualla (Fernandes ja Feiner [2016](#)).

Tässä kappaleessa käsitellään Fernandesin ja Feinerin ([2016](#)) havaintoja näkökentän muutoksen dynaamisuudesta. Fernandes ja Feiner testasivat voisiko näkökentän kaventamisen tehdä dynaamisesti paljon VIMS oireita aiheuttavissa tilanteissa, ja palauttaa taas laajemmaksi tilanteen mentyä ohi. Kokeen aikana suurin osa koehenkilöistä ei huomannut näkökentän koossa tapahtuneita muutoksia, eivätkä he juurikaan kokeneet virtuaalituodellisuuden kokemuksensa kärsineen, edes ne jotka huomasivat näkökentän koossa muutosta. Tuloksista kävi myös ilmi että ensimmäinen kokemus virtuaaliympäristöstä kavennetulla näkökentällä saattaa helpottaa VIMS -oireiden syntyä myöhemmillä kokeilukerroilla myös silloin kun

näkökenttää ei ole rajoitettu.

3.1.2 Katselukulman katkaisu (Viewpoint Snapping)

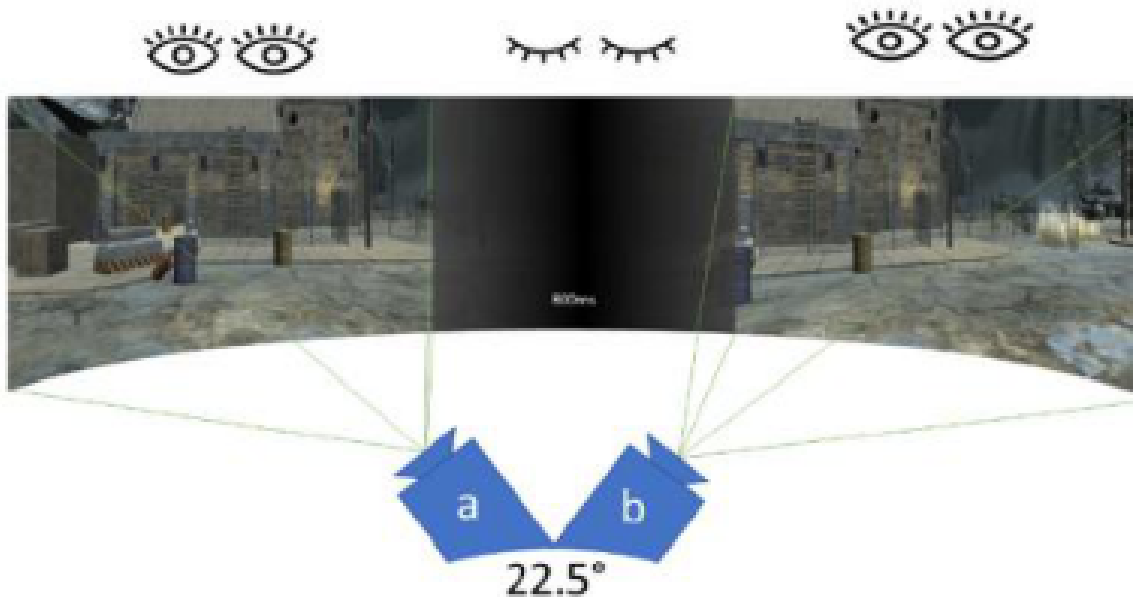
Tässä kappaleessa kuvaillaan Farmanin ja Teatherin (2018) katselukulman katkaisun toimintaa. Katselukulman katkaisulla pyritään keinotekoisesti vähentämään liikkeen tunnetta katkaisemalla jatkuvan liikkeen näkökenttää kääntäessä, ikään kuin leikkaamalla palan pois liikkeen puolivälistä. Katkaistu osa liikkeestä häivytetään pimeäksi ja tuodaan kuva samoin häivyttämällä takaisin liikkeen loppuvaiheessa. Häilytys pyrkii imitoimaan silmien pikaista sulkemista ja avaamista, kuten kuvassa 1 havainnollistetaan. Sen tarkoitus on estää nykivää animaatiota, sekä auttaa käyttäjää säilyttämään ympäristön hahmotus. Katselukulman katkaisu suoritettiin jos kääntymisnopeus oli vähintään 25°/s ja käännettävä kulma oli 22.5° tai enemmän.

Tämä kappale kertoo millaisia tuloksia katselukulman katkaisusta (Farmani ja Teather 2018) saatiin, ja kuinka se vaikutti koehenkilöihin. Katselukulman katkaisu vähensi koehenkilöiden VIMS -oireita n. 40 % verrattuna kontrolliryhmään, eikä testattujen pelisuorituksissa esiintynyt merkittävää eroa ryhmien välillä. Paikallaolon tuntu oli hieman laskenut testiryhmässä, mutta ei merkittävästi. Lisäksi kolme koehenkilöä koki katselukulman katkaisun häiritseväksi ja vaikeuttavan hahmon kontrollointia.

3.1.3 Staattinen tukikehikko (Static Rest Frames)

Tämä kappale kuvaa mitä Cao, Jerald ja Kopper (2018) tarkoittavat staattisella tukikehikolla ja miten se toimii. Staattinen tukikehikko tarkoittaa sitä, että käyttäjähahmon ympärille luodaan eräänlainen ohjaamo vastaava tila, joka ei reagoi käyttäjän pään kääntämiseen tai liikuttamiseen, vaan pysyy staattisesti paikallaan. Ohjaamo rajoittaa käyttäjän näkökenttää, mutta rajoittavaa vaikutusta pyrittiin vähentämään tekemällä ohjaamon seinistä metalliverkon kaltaiset, kuten kuvasta 2 voidaan nähdä, jolloin silmukoiden läpi saattoi nähdä ja käyttäjä pystyi havainnoimaan mahdollisimman paljon ympäristöään.

Tässä kappaleessa käydään läpi minkälaisia tuloksia Cao, Jerald ja Kopper (2018) saivat staattisen tukikehikon vaikutuksista. Koehenkilöt pystyivät olemaan pidempiä aikoja virtu-

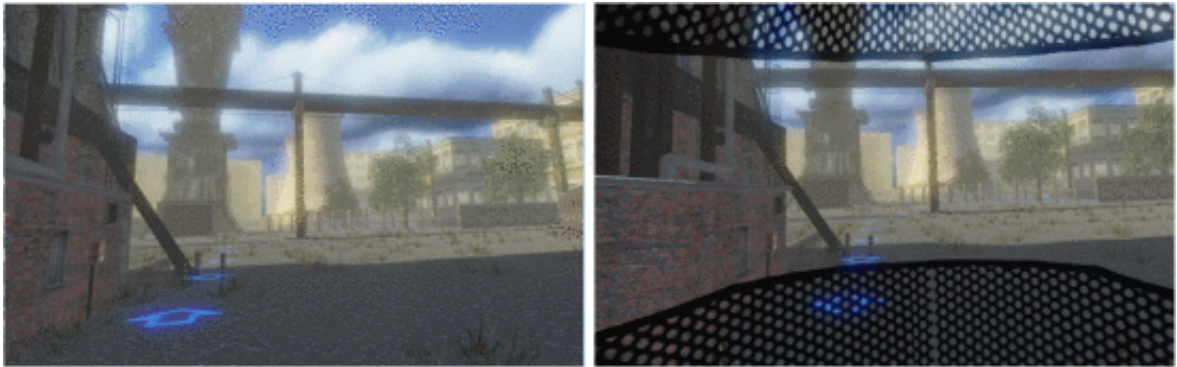


Kuvio 1. (Farmani ja Teather [2018](#)). Havainnollistus siitä kuinka katselukulman katkaisu toimii, ja miltä se näyttää käyttäjän näkökulmasta.

aaliympäristössä ilman VIMS -oireita kun staattinen tukikehikko oli käytössä. Lisäksi koehenkilöt etenivät selvästi pidemmälle testisovelluksessa kun tuloksia verrattiin suoritukseen jossa heillä ei ollut käytössään tukikehikkoa. Tutkijaryhmä testasi myös dynaamista tukikehikkoa, jolloin kehikko luotiin hahmo ympärille aina tämän lähtiessä liikkeelle ja häivyttiin pysähdyttäessä. Dynaaminen tukikehikko ei kuitenkaan osoittautunut yhtä toimivaksi kuin staattinen. Dynaaminen tukikehikko saattoi kuitenkin auttaa käyttäjiä virtuaaliympäristöön sopeutumisessa. Tämän varmistaminen kuitenkin kaipaa tutkijaryhmän mukaan vielä lisätutkimusta.

3.1.4 Katseen vakauttaminen

Liikkuvan kuvan seuraaminen aiheuttaa joillekin käyttäjille VIMS -oireita jo ilman virtuaaliodellisuutta ja nämä oireet johtuvat silmien liikkeestä käyttäjän tutkiessa kuvaa (Webb ja Griffin [2002](#)). Webbin ja Griffinin ([2002](#)) tutkimuksessa käy kuitenkin ilmi, että oireita voidaan helpottaa keskittämällä katse johonkin tiettyyn kohtaan kuvaruudulla. Ihmissilmällä on kuitenkin luontainen taipumus seurata liikkuvaa kohdetta, joka vaikeuttaa katseen vakaut-



Kuvio 2. (Cao, Jerald ja Kopper [2018](#)). Vasemmalla kuva ilman tukikehikkoa ja oikealla tukikehikon kanssa.

tamista (Yang ym. [2011](#)). Katseen vakauttaminen ilman apuvälineitä on siis hyvin vaikeaa, siksi se on listattu ohjelmalliseksi ratkaisuksi vaikka se muuten voisikin sopia paremmin käyttäjän toimeksi.

Katseen vakauttamisen helpottamiseksi virtuaaliympäristön käyttäjän näkökenttään voidaan siis lisätä esim. piste tai rasti, joka sijaitsee käyttäjän katselukulmasta nähden aina samassa kohdassa, riippumatta siitä mihin suuntaan käyttäjä katsoo. Käyttäjä voi aina olonsa huonontuessa pysäyttää katseensa hetkeksi tuohon pisteeseen, kunnes VIMS -oireet helpottavat. Katseen vakautuksen ei myöskään olla huomattu vaikuttaneen käyttäjän kokemaan liikkeen tuntuun (Webb ja Griffin [2002](#)).

3.2 Käyttäjän toimet

Tämä osuus keskittyy siihen kuinka käyttäjä voi itse vaikuttaa virtuaaliympäristön käyttömukavuuteen joko etukäteen valmistautumalla, tai omilla toimillaan virtuaaliympäristössä.

3.2.1 Ympäristön tekeminen miellyttäväksi

Pahoinvointioireiden on todettu helpottavan kun virtuaaliympäristön käyttäjä kuulee miellyttävää musiikkia, ja nimenomaan kuulijan oma kokemus musiikin miellyttävyydestä on tärkeä, eikä niinkään genre tai musiikin yleinen luonne (Keshavarz ja Hecht [2014](#)). Samoin miellyttävän tuoksun on huomattu helpottavan VIMS oireita, ja kuten edellisessäkin testissä

tässäkin testattavan oma kokemus tuoksun miellyttävyydestä oli avainasemassa (Keshavarz ym. 2015). D'Amour, Bos ja Keshavarz (2017) totesivat tutkimuksessaan jatkuvan ilmavirran vähentävän VIMS oireita. Mahdolliseksi syiksi ilmavirran oireita helpottavalle vaikutukselle tutkijat esittivät viilentävää vaikutusta, sillä oireilevat koehenkilöt kokivat tilan lämpimämmäksi kuin ei-oireilevat, toiseksi ilmavirran vaikutuksesta tutkittavat kokivat olonsa miellyttävämmäksi kuin ilman ja viimeiseksi pohdittiin että ilmavirta saattoi antaa riittävästi palautetta liikkeen tunnusta, jolloin aistien välille ei tullut yhtä paljon ristiriitaa.

Kaikissa edellä mainituissa tutkimuksissa koehenkilöt katsoivat videota, jonka oli todettu aiheuttavan VIMS oireita, eikä heillä ollut kontrollia virtuaaliympäristöönsä.

3.2.2 Totuttautuminen

Aistien ristiriita teoria viittaa myös siihen, että VIMS:n synnyssä kyse ei ole ainoastaan aistien ristiriidasta, vaan myös siitä että keho ei ole vielä ehtinyt kehittämään tapaa selviytyä koetun kaltaisesta aistien epäjohdonmukaisuudesta (Keshavarz 2016). Tässä tapauksessa useat altistumiset aistien ristiriitaa aiheuttaville tilanteille antavat keholle aikaa kehittää omat strategiansa, jolla se pyrkii selviytymään tilanteesta. Lopulta keho tottuu ristiriitaa aiheuttavaan tilanteeseen, ja kyseinen tilanne aiheuttaa vähemmän VIMS -oireita.

Hill ja Howarth (2000) altistivat joukon koehenkilöitä virtuaaliympäristölle viitenä peräkkäisenä päivänä, ja mittasivat heidän pahoinvointiaan testin aikana. Kokeen aikana koehenkilöiden kokema pahoinvointi väheni tasaisesti testin edetessä, ja sen lisäksi jos koehenkilö koki pahoinvointia niin se alkoi myöhemmin. Domeyer, Cassavaugh ja Backs (2013) huomasivat myös virtuaaliympäristöön tottumisen ja pahoinvointioireiden vähenemisen välillä yhteyden ajosimulaattorikokeessaan.

3.2.3 Harjoittelu

Harjoittelu eroaa totuttautumisesta siten, että totuttautuminen usein vaatii sen, että toistuva ärsyke on samanlainen jokaisella kerralla, kun taas harjoittelussa ei ole tällaista rajoitetta, vaan kyky mukautua virtuaaliympäristöön voidaan hankkia jostain toisesta virtuaaliympäristöstä (Keshavarz 2016). Viitteitä harjoittelun toimivuudesta löytyy esim. eräässä japani-

laisessa lukiossa tehdystä kyselytutkimuksesta (Ujike, Ukai ja Nihei [2008](#)), jossa kartoitettiin opiskelijoiden taustoja sen jälkeen kun tärisevä videokuva aiheutti useille opiskelijoille VIMS -oireita. Edellä mainitussa tutkimuksessa todettiin säännöllisesti tai edes silloin tällöin pelaavien saaneen lievempiä oireita kuin ne opiskelijat, jotka eivät pelanneet lainkaan. Ujiken, Ukain ja Nihein [\(2008\)](#) tutkimuksesta voidaan nähdä, että yli 3 tuntia päivittäin pelanneista kukaan ei kokenut oloaan erittäin pahoinvoivaksi, kun taas ei lainkaan pelaavat opiskelijat kokivat olonsa useammin erittäin pahoinvoivaksi kuin vähän tai ei lainkaan pahoinvoivaksi.

4 Pohdintaa

Tässä tekstissä on listattu yhdeksän erilaista tapaa torjua ja ennaltaehkäistä VIMS -oireita virtuaalitodellisuuslaitteita käytettäessä. Nämä listatut tavat ovat kuitenkin vain osa erilaisten ratkaisujen joukkoa, ja tästä tutkielmasta puuttuvat esimerkiksi monet erilaiset tavat liikkua virtuaalitodellisuudessa, joilla on vaikutusta VIMS -oireiden syntyyn.

Suurin osa tässä tutkielmassa esitellyistä ratkaisuista antaa käyttäjälleen välittömän hyödyn. Ainoastaan harjoittelu ja totuttautuminen vaativat aikaa toimiakseen, mutta ovat myös toimivuudeltaan luotettavimpien ratkaisujen joukossa. Välittömästä helpotuksesta VIMS -oireiden syntyyn on kuitenkin hyötyä vaikka tarjotut ratkaisut eivät olisikaan yhtä luotettavia, sillä käyttäjälle ei välttämättä aina ole mielekästä käyttää aikaa totutteluun, tai se ei ole edes mahdollista, esim. ensimmäisellä virtuaalitodellisuuden kokeilukerralla. Huono ensimmäinen kokemus saattaa myös vaikuttaa siihen kokeileeko käyttäjä virtuaalitodellisuutta enää uudestaan.

Välittömän hyödyn antavien ratkaisujen osalta pätee myös, että niitä voidaan tarvittaessa käyttää päällekkäin, jolloin käyttäjä voi teoriassa ottaa niistä käyttöön yhden tai useamman tarpeensa mukaan. Esim. jos käyttäjä kokee VIMS -oireita, voi hän aktivoida näkökentän kavennuksen, ja mikäli se ei riitä voidaan aktivoida myös katseen vakautus, ja näin voidaan teoriassa tehdä niin pitkään kuin erilaisia ratkaisuja on tarjolla.

Joidenkin ratkaisujen vahvuus on siinä, että niitä voidaan hyödyntää minkälaisessa ympäristössä ja sovelluksessa tahansa. Tässä tutkielmassa esitetyistä ratkaisuista tällaisia ovat kaikki esitellyt käyttäjän toimet. Käyttäjän toimissakin on kuitenkin eroja, esim. ympäristön tekeminen miellyttäväksi on sovellettavissa millaiseen sovellukseen tahansa lähes välittömästi, kun taas totuttautuminen ja harjoittelu vaativat enemmän aikaa vaikka ovatkin edellisten tavoin sovellettavissa kaikkiin virtuaaliympäristöihin. Ohjelmallisten ratkaisujen soveltaminen on enemmän tapauskohtaista ja riippuu enemmän virtuaalitodellisuuden käyttötarkoituksesta. Peleihin ja viihteeseen voidaan melko vapaasti soveltaa mitä vain VIMS -oireita vähentävää tekniikkaa, mutta esim. lääketieteessä ja koulutuksessa ei välttämättä voida käyttää kaikkia tarjolla olevia ratkaisuja. Näkökentän kaventaminen ja katselukulman katkaisu muut-

tavat tapaa, jolla virtuaaliympäristöä havainnoidaan, joten niitä ei useinkaan voida käyttää ei-vihteellisissä sovelluksissa. Toisaalta staattinen tukikehikko on usein jopa luonnollinen osa simulaattorien virtuaaliympäristöä, kun taas katsetta vakauttava piste voi olla häiriötekijä. Katseen vakautus voi toimia hyvin sovelluksissa joissa ei tarvita jatkuvaa ympäristöön keskittymistä, niin vihteellisissä kuin ei-vihteellisissäkin.

Hyötyohjelmat eivät usein voi suoraan hyödyntää tässä tutkielmassa esiteltyjä ohjelmallisia ratkaisuja, mutta välillisesti niitä voidaan hyödyntää. Välillisellä hyödyntämisellä tässä tarkoitetaan sitä, että käyttäjä voi totuttautua esim. simulaattoriin yhden tai useamman VIMS -oireita helpottavan ratkaisun kanssa. Tällainen totuttautuminen saattaa auttaa simulaattorin aiheuttamiin VIMS oireisiin myös sen jälkeen kun ohjelmalliset ratkaisut on otettu pois päältä, kuten todettiin näkökentän kaventamisen (Fernandes ja Feiner [2016](#)) ja staattisen tukikehikon (Farmani ja Teather [2018](#)) yhteydessä.

5 Loppupäätelmät

VIMS -oireiden ehkäisemiksi on kehitetty useita erilaisia ohjelmallisia tapoja, sekä erilaisia käyttäjän toimia joilla pyritään ennaltaehkäisemään oireiden syntymistä. Viihdekäytön kuten pelien kannalta ei ole juurikaan merkitystä minkälaisia ratkaisuja käytetään, vaan on enemmän kehittäjästä riippuvaa minkä tai mitkä ratkaisut hän kokee omaan sovellukseensa sopivaksi. Erilaisten opetus- ja hyötysovellusten osalta ratkaisujen valinta on haastavampaa. Kaikki ratkaisut eivät sovi jokaiseen sovellukseen, sillä varsinkin monet ohjelmalliset ratkaisut vaikuttavat paikallolon tuntuun ja ne vääristävät käyttäjän havainnointia, jolloin saadut hyödyt tai opit eivät välttämättä ole sellaisenaan sovellettavissa todellisuuteen jota sovelluksen on tarkoitus simuloida. Luovasti käyttämällä useita ratkaisuja voidaan kuitenkin hyödyntää myös hyötysovellusten yhteydessä, esim. virtuaalitodellisuuden totuttautuessa.

Lähteet

- Cao, Z., J. Jerald ja R. Kopper. 2018. “Visually-Induced Motion Sickness Reduction via Static and Dynamic Rest Frames”. Teoksessa *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, 105–112. Maaliskuu. <https://doi.org/10.1109/VR.2018.8446210>.
- D’Amour, Sarah, Jelte E Bos ja Behrang Keshavarz. 2017. “The efficacy of airflow and seat vibration on reducing visually induced motion sickness”. *Experimental brain research* 235 (9): 2811–2820.
- Domeyer, Joshua E., Nicholas D. Cassavaugh ja Richard W. Backs. 2013. “The use of adaptation to reduce simulator sickness in driving assessment and research”. *Accident Analysis & Prevention* 53:127–132. ISSN: 0001-4575. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.12.039>, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000145751300%20002X>.
- Farmani, Yasin, ja Robert J. Teather. 2018. “Viewpoint Snapping to Reduce Cybersickness in Virtual Reality”. Teoksessa *Proceedings of the 44th Graphics Interface Conference*, 168–175. GI ’18. Toronto, Canada: Canadian Human-Computer Communications Society. ISBN: 9780994786838. <https://doi.org/10.20380/GI2018.23>, <https://doi.org/10.20380/GI2018.23>.
- Fernandes, A. S., ja S. K. Feiner. 2016. “Combating VR sickness through subtle dynamic field-of-view modification”. Teoksessa *2016 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*, 201–210. <https://doi.org/10.1109/3DUI.2016.7460053>.
- Hill, K.J, ja P.A Howarth. 2000. “Habituation to the side effects of immersion in a virtual environment”. *Displays* 21 (1): 25–30. ISSN: 0141-9382. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0141-9382\(00\)00029-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0141-9382(00)00029-9), <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014193820000%200299>.
- Jaeger, Beverly K., ja Ronald R. Mourant. 2001. “Comparison of Simulator Sickness Using Static and Dynamic Walking Simulators”. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 45 (27): 1896–1900. <https://doi.org/10.1177/154193120104502709>, eprint: <https://doi.org/10.1177/154193120104502709>, <https://doi.org/10.1177/154193120104502709>.

Keshavarz, Behrang. 2016. “Exploring Behavioral Methods to Reduce Visually Induced Motion Sickness in Virtual Environments”. Teoksessa *Virtual, Augmented and Mixed Reality*, toimittanut Stephanie Lackey ja Randall Shumaker, 147–155. Cham: Springer International Publishing. ISBN: 978-3-319-39907-2.

Keshavarz, Behrang, ja Heiko Hecht. 2014. “Pleasant music as a countermeasure against visually induced motion sickness”. *Applied Ergonomics* 45 (3): 521–527. ISSN: 0003-6870. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apergo.2013.07.009>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000368701300149X>.

Keshavarz, Behrang, Daniela Stelzmann, Aurore Paillard ja Heiko Hecht. 2015. “Visually induced motion sickness can be alleviated by pleasant odors”. *Experimental brain research* 233 (5): 1353–1364.

Lin, J. J. -, H. B. L. Duh, D. E. Parker, H. Abi-Rached ja T. A. Furness. 2002. “Effects of field of view on presence, enjoyment, memory, and simulator sickness in a virtual environment”. Teoksessa *Proceedings IEEE Virtual Reality 2002*, 164–171. <https://doi.org/10.1109/VR.2002.996519>.

Riccio, Gary E., ja Thomas A. Stoffregen. 1991. “An ecological Theory of Motion Sickness and Postural Instability”. *Ecological Psychology* 3 (3): 195–240. https://doi.org/10.1207/s15326969eco0303_2. eprint: https://doi.org/10.1207/s15326969eco0303_2. https://doi.org/10.1207/s15326969eco0303_2.

sensory conflict theory. <https://doi.org/10.1093/oi/authority.20110803100454911>. <https://www.oxfordreference.com/view/10.1093/oi/authority.20110803100454911>.

Ujike, Hiroyasu, Kazuhiko Ukai ja Kenji Nihei. 2008. “Survey on motion sickness-like symptoms provoked by viewing a video movie during junior high school class”. Health and Safety Aspects of Visual Displays, *Displays* 29 (2): 81–89. ISSN: 0141-9382. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.displa.2007.09.003>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014193820700%201035>.

Webb, N.A., ja M.J. Griffin. 2002. “Optokinetic stimuli: motion sickness, visual ity and eye movements”. *Aviation, Space and Environmental Medicine* 73 (4): 351–358. <https://eprints.soton.ac.uk/10610/>.

Yang, J.X., C.T. Guo, R.H.Y. So ja R.T.F. Cheung. 2011. "Effects of Eye Fixation on Visually Induced Motion Sickness: Are they Caused by Changes in Retinal Slip Velocity?" *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 55 (1): 1220–1224. <https://doi.org/10.1177/1071181311551254>. eprint: <https://doi.org/10.1177/1071181311551254>. <https://doi.org/10.1177/1071181311551254>.