

Roni Georgiev

YLEISKATSAUS VIRTUAALITODELLISUUSPELIEN KÄYTETTÄVYYSONGELMIIN

Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Kandidaattitutkielma
Toukokuu 2023

TIIVISTELMÄ

Roni Georgiev: Yleiskatsaus virtuaalitodellisuuspelien käytettävyysoongelmiin
Kandidaattitutkielma
Tampereen yliopisto
Tietojenkäsittelytieteiden tutkinto-ohjelma
Toukokuu 2023

Kandidaattitutkielman tarkoituksena on tutkia virtuaalitodellisuuteen (VR) liittyviä käytettävyysoongelmia virtuaalitodellisuuspelien näkökulmasta, kun peliä pelataan sisään sulkevan visiirin ja ohjainten avulla. Virtuaalitodellisuus on kasvava tekniikan muoto ja täten ihmisten käsitykset sekä suhtautuminen kyseiseen teknologiaan ovat tärkeitä kuluttajatasoisen hyväksymisen kannalta. Yksi merkittävä tekijä positiivisen suhtautumisen muodostumiseen on virtuaalitodellisuuden käytettävyys ja erityisesti se, miten käytettävyys näyttäytyy kuluttajille. Virtuaalitodellisuuspelit ovat kuluttajille lähestyttävä tapa olla vuorovaikutuksessa virtuaalitodellisuuden kanssa, joten niiden tarkastelu on hyvä raja-alue aihepiirille.

Tutkielmassa tarkastellaan niitä tekijöitä, jotka vaikuttavat negatiivisesti virtuaalitodellisuuden käytettävyyteen. Tutkielma on kirjallisuuskatsaus ja aihepiiriä käsitellään 20 tutkimuksen avulla. Tutkimusjulkaisuista on poimittu monentyppisiä VR-käyttöön liittyviä ongelmatekijöitä. Tässä tutkielmassa nämä tekijät on lajiteltu kolmeen alaluokkaan: laitetason, sovellustason ja virtuaalitodellisuuden ulkopuolisiin käytettävyysoongelmiin. Laitetaso keskittyy fyysisten virtuaalitodellisuuslaitteiden käytettävyysoongelmiin, sovellustaso keskittyy virtuaalitodellisuuslaitteiden ohjelmistotason käytettävyysoongelmiin ja virtuaalitodellisuuden ulkopuolinen taso keskittyy tekijöihin, jotka eivät suoraan vaikuta virtuaalitodellisuuslaitteisiin, mutta saattavat vaikuttaa muuten negatiivisesti kuluttajien näkemykseen virtuaalitodellisuudesta. Jokaisesta alakategoriasta löytyi useita käytettävyysoongelmia. Käytettävyysongelmien tunnistamisen lisäksi tutkielmassa keskustellaan myös potentiaalisista ratkaisumenetelmistä esille tuotuihin käytettävyysoongelmiin.

Tutkielman tulokset osoittavat sen, että virtuaalitodellisuuden käytettävyysongelmat ovat monisäikeinen aihepiiri, jota pystyy tarkastelemaan useasta näkökulmasta. Havaitut ongelmat ovat luonteeltaan erilaisia ja niiden vaikutukset virtuaalitodellisuuden kokonaisuuteen heijastavat tätä käytettävyysongelmien moninaisuutta. Muutamat ongelmat ovat korjattavissa suunnitteluprosessin parantamisella, mutta toiset ongelmat ovat abstraktimpia ja kaipaavat täten luovempia ratkaisuja. Vaikka erityyppisiä käytettävyysoongelmia on useita, tarkoituksena on valottaa nykyistä tilannetta ja täten antaa suuntaa sille, mihin tuotekehittäjien tulisi pyrkiä jatkossa parantaakseen virtuaalitodellisuuden käytettävyyttä kuluttajan näkökulmasta.

Avainsanat: virtuaalitodellisuus, virtuaalitodellisuuspelit, virtuaalitodellisuuslaitteet, käytettävyys

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1	Johdanto	1
2	Tutkimusmenetelmä.....	2
3	Keskeiset käsitteet	4
3.1	Käytettävyys	4
3.2	Alustat	4
3.3	Virtuaalitodellisuus	5
	Virtuaalitodellisuuspelejä	6
	Virtuaalitodellisuuden tasot	7
4	Virtuaalitodellisuuspelejä käytettävyysongelmat sovellustasolla	7
4.1	Kyberpahoivointi	7
4.2	Virtuaalimaailmojen suunnittelu	9
5	Virtuaalitodellisuuspelejä ongelmat laiteatasolla	10
5.1	Laitteistöjen suunnitteluongelmat	10
5.2	Laitteistöjen teknisten ominaisuuksien puute	11
6	Virtuaalitodellisuuden ulkopuoliset ongelmat	12
6.1	Asenteet virtuaalitodellisuutta kohtaan	12
6.2	Virtuaalitodellisuuslaitteistöjen hinta	13
6.3	Virtuaalitodellisuuslaitteistöjen vaatima fyysinen tila	13
7	Keskustelu	14
7.1	Tutkimuksen toteutukseen liittyviä haasteita	14
7.2	Aihealueiden läpikäynti	16
7.3	Yhteenveto	18
	Lähdeluettelo.....	19

1 Johdanto

Videopelit ovat nykypäivänä osa monen vapaa-aikaa. Pelkästään vuosina 2017–2022 videopelaajien määrä on kasvanut 700 miljoonalla pelaajalla (Clement, 2022). Markkinat ovat suuret. Tämän takia on ymmärrettävää, että videopelejä kehittävät yritykset pyrkivät luomaan uusia tapoja pelata videopelejä.

Virtuaalitodellisuuspelit tarjoavat mielenkiintoisia uusia pelaamistapoja käyttäjille. Niihin yhdistyy paljon nykyisten videopelien ominaisuuksia, mutta virtuaalitodellisuus (VR) pyrkii luomaan uuden näkökulman videopeleihin mukaansatempaavuuden avulla. Oikein toteutettuna sillä on potentiaalia luoda suuriakin muutoksia käsityksemme esimerkiksi koulutuksesta, viihteestä, yhteisöllisyydestä ja pelaamisesta. Virtuaalitodellisuus onkin ollut useaan kertaan esillä esimerkiksi teknologian kypsyyttä ja hyväksymistä kuvaavalla Gartnerin Hype cycle of emerging technologies -listalla (Dawson, 2014; Gartner, 2015, 2016, 2017).

Kiinnostus virtuaalitodellisuutta (ja epäsuorasti virtuaalitodellisuuspelejä) kohtaan on myös nähtävissä kuluttajatasolla. Statistan (Alsop, 2022a) mukaan kumulatiivisen virtuaalitodellisuuslaitteistojen määrän arvioidaan nousevan vuosien 2019–2022 välisenä aikana 11 miljoonasta 19 miljoonaan laitteeseen. Lisäksi vuonna 2022 virtuaalitodellisuuspelit tuottivat 1,8 miljardia dollarin tuoton (Clement, 2023), joten kysyntää tämänkaltaisille pelikokemuksille selvästi on olemassa.

Virtuaalitodellisuuspelit ovat oma, merkittävä markkina-alueensa. Ihmiset ja yritykset, kuten 4experience (2022), uskovat sen nousevan suosituksi pelaamisen muodoksi PC-pelaamisen ja konsolipelaamisen rinnalle. Kuitenkin vuoteen 2023 tultaessa näin ei ole vielä käynyt ja Statistan (Alsop, 2022c) mukaan virtuaalitodellisuuslaitteistojen tuottama liikevaihto nousi vuonna 2022 vähemmän verrattuna viimevuosien tuloksiin. Saman tilaston mukaan kasvun on ennustettu laskevan tulevien vuosien aikana.

Tässä tutkielmassa tarkoituksenani on vastata kirjallisuuden avulla seuraavaan kysymykseen: Mitkä tekijät ovat saattaneet vaikuttaa virtuaalitodellisuuden myynnin hidastumiseen kasvuun erityisesti kuluttajien ja heidän kokemansa käytettävyyden näkökulmasta? Kysymykseen pyritään löytämään vastausta tarkastelemalla käytettävyysongelmia kolmesta eri näkökulmasta: sovellustason, laitetaso ja ulkopuolisen tason näkökulmasta. Aihepiiriä tutkitaan erityisesti virtuaalitodellisuuspelien näkökulmasta, sillä ne ovat suosittu virtuaalitodellisuuden käyttötarkoitukset.

Käytettävyyden arviointi erityisesti kuluttajien näkökulmasta on tärkeä näkökulma virtuaalitodellisuudelle kokonaisuutena, sillä kuluttajamarkkinat ovat yksi suurimmista, ellei jopa suurin potentiaalinen tulonlähde näille teknologioille. Jos kuluttajat eivät syystä tai toisesta pidä tuotteesta, tulee sen myynti hidastumaan ja täten teknologian kehitys joko hidastuu merkittävästi tai jopa pysähtyy kokonaan. On tärkeää, että pystymme tarjoamaan

kuluttajille parhaan mahdollisen käyttökokemuksen virtuaalitodellisuuslaitteita käytettäessä.

Tutkielma on jaoteltu useampaan lukuun. Luvussa 2 kuvataan tutkielmassa käytettyä tutkimusmenetelmää. Luvussa 3 määritellään tutkielman kannalta keskeisiä käsitteitä. Luvussa 4 kuvataan havaittuja tutkimuksia sovellustason näkökulmasta. Luvussa 5 kuvataan havaittuja tutkimuksia laitetason näkökulmasta. Luvussa 6 kuvataan havaittuja tutkimuksia virtuaalitodellisuuden ulkopuolisista ongelmista. Luvussa 7 keskustellaan luvujen 4–6 tutkimuksista, tutkimukseen liittyvistä haasteista ja luodaan yhteenveto tutkimuksen tuloksista.

2 Tutkimusmenetelmä

Kuten aikaisemmin mainittiin, pyrin selvittämään vastausta tutkimuskysymykseeni kirjallisuuskatsauksen avulla. Koska virtuaalitodellisuuspeleihin liittyvästä käyttökokemuksesta ei löytynyt suoraan sopivaa aineistoa, päätin keskittää aineiston hakemisen virtuaalitodellisuuden käyttökokemusta tutkiviin aineistoihin yleisemmällä tasolla. Tarkoitukseni on soveltaa tätä yleisempää tietoa virtuaalitodellisuuden käytettävyysongelmista virtuaalitodellisuuspeleihin ja täten luoda yleiskuvan siitä, mitkä asiat voivat vaikuttaa negatiivisesti käytettävyyteen virtuaalitodellisuutta käytettäessä.

Kirjallisuuden löytämiseen hain aineistoa seuraavista tietokannoista:

- Andor
- ACM Digital Library
- Computer Science Database
- IEE Xplore
- ScienceDirect
- Oxford Academic
- Sage Journals
- Google Scholar

Käyttämäni hakusanat aineiston löytämiseen olivat: virtual reality, virtual reality games, consumer, barriers, usability, ergonomics, evaluation, cybersickness ja challenges. Oikeiden hakusanojen löytäminen oli aluksi haastavaa, sillä yleispätevimmillä hakusanoilla ei oikeanlaisia lähteitä tuntunut löytyvän. Kuitenkin useamman iteraatiokierroksen jälkeen hakusanat saatiin tarkennettua siten, että sopivia lähteitä alkoi löytymään. Lisäksi hakusanojen lopullista määrittelyä hankaloitti se, että tutkimuskysymyksen tarkka määrittely oli alussa haastavaa, joten sopivien hakusanojen määrittely myös pidentyi tämän takia.

Virtuaalitodellisuuteen liittyvää suomenkielistä tutkimusta ei löytynyt paljoa aiheeseen liittyen, joten keskityin etsimään artikkeleja englannin kielellä. Pyrin etsimään lähteitä, jotka ovat mahdollisimman uusia julkaisuvuoden perusteella. Lähteiden tuoreus

on tärkeää, sillä uusia virtuaalitodellisuuslaitteita kehitetään jatkuvasti ja täten käsitys virtuaalitodellisuuslaitteista muuttuu jatkuvasti. Pysin lisäksi ottamaan huomioon myös vanhemmat lähteet, jos niiden tarjoama aineisto on relevanttia tutkimuskysymykseeni. Lisäksi pyrin etsimään aineistoa usealta julkaisufoorumilta, jotta aineistoa saataisiin monesta eri lähteestä.

Artikkelien valintaprosessiin vaikutti useampi tekijä. Ensimmäisenä pyrin suodattamaan artikkelit, jotka eivät ole kuluttajatasolla merkittäviä. Tähän kuuluu esimerkiksi artikkelit, joissa tutkitaan virtuaalitodellisuutta koulutuksen, lääketieteen tai teollisuuden näkökulmasta, sillä nämä ovat aihepiirejä, joihin tavalliset kuluttajat eivät yleensä ajaudu virtuaalitodellisuutta käyttäessään. Pysin myös ottamaan huomioon artikkelit, joissa tarkoituksena on löytää yleispätevä käsitys virtuaalitodellisuuden käytettävyysongelmista, sillä tällaisia tutkimuksia on helpompi soveltaa virtuaalitodellisuuspelien tapaukseen. Taulukko 1 kuvaa löydettyjen artikkeleiden jakautumista tutkielmassa käytettyjen kolmen osa-alueen välille. Eniten lähteitä löytyi sovellustason ongelmista. Tämä kertoo siitä, että tästä osa-alueesta on tehty eniten tutkimusta. Myös laitetasolle ja ulkopuolisille ongelmille löytyi lähteitä, mutta niiden määrä oli vähäisempi.

Taulukko 1. Tutkielmassa käytettyjen lähteiden jakautuminen aihealueittain

Nimi	Laitetason ongelmat	Sovellustason ongelmat	Ulkopuoliset ongelmat
Adamo-Villani et al. (2008)		X	
Cao (2017)		X	
Catak et al. (2020)		X	
Cmentowski et al. (2019)		X	
Cocciolo (2010)			X
Cummings et al. (2022)			X
Elias et al. (2019)		X	
Hall (2020)			X
Hibbard et al. (2021)	X		
Kartick et al. (2020)	X		
Liszio & Masuch (2016)		X	
Miehlbradt et al. (2021)	X		X
Murtza et al. (2017)	X	X	X
Porcino et al. (2022)		X	
Rebenitsch (2015)		X	
Sevinc & Berkman (2020)		X	
Sutcliffe & Gault (2004)	X	X	
Verma et al. (2021)			X

Wang et al. (2022)	X		
Yildirim et al. (2019)		X	

3 Keskeiset käsitteet

Virtuaalitodellisuus on vielä monella tapaa kehitysvaiheessa ja täten ihmisten käsitykset ja käyttämät termit virtuaalitodellisuudesta eroavat toisistaan. Määrittelen tässä luvussa virtuaalitodellisuuteen liittyviä peruskäsitteitä yleisen selkeyden parantamiseksi. Virtuaalitodellisuuskäsitteiden lisäksi pyrin määrittelemään myös muita käsitteitä, jotka helpottavat aihepiirien ymmärtämistä. Haluan kuitenkin vielä muistuttaa, että kaikki mainitsemani käsitteet eivät välttämättä ole absoluuttisia ja täten termien välistä tulkinnanvaraa voi ilmetä.

3.1 Käytettävyys

Käytettävyydellä tässä tutkielmassa viitataan määritelmään, jonka mukaan ”käytettävyys on laatua mittaava ominaisuus, joka mittaa sitä, kuinka helppoa käyttäjän on käyttää käyttöliittymää” (Nielsen, 2012.) Olen pyrkinyt ottamaan tässä tutkielmassa huomioon hyödyllisyyden roolin käytettävyydessä. Tuote voi olla miellyttävä käyttää, mutta sen täytyy samalla pystyä saavuttamaan haluttu lopputulos kohtuullisessa ajassa. Mifsud (2015) määrittelee käytettävyyden yhdeksi mittariksi käyttäjän tarvitseman ajan toiminnon suorittamiseen. Täten hyödytön, mutta mukava tuote ei välttämättä ole käytettävä. Käytettävyys on tärkeä konsepti virtuaalitodellisuuspelaamisen näkökulmasta, sillä käytettävä peli on viihdyttävämpi. Kun peli on viihdyttävä, on se todennäköisemmin myös suosittu, joka samalla yritysten näkökulmasta tarkoittaa, että peli on taloudellisesti tuottavampi.

Käyttöön liittyviä ongelmakohtia eli käytettävyysongelmilla viitataan tässä tutkielmassa yksinkertaisesti niihin ongelmatilanteisiin, jotka potentiaalisesti vaikuttavat aikaisemmin määritellyn käytettävyyden muodostumiseen. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi tuotteen epämukava suunnittelu tai tuotteen sisältämän ohjelmiston viat.

3.2 Alustat

Alustalla viitataan tässä tutkielmassa Indeed-sivuston määritelmään ohjelmistoalustasta. Sen mukaan alusta on digitaalinen tuote, joka mahdollistaa teknologian toiminnan jollain tapaa (Indeed, 2022). Ohjelmistoalustoja on sivuston määritelmän mukaan 9 ja tässä tutkielmassa viittaamme erityisesti kyseisen määritelmän kohtaan 4, videopelihin, alustana. Indeed-sivuston mukaan videopelit ohjelmistoalustana ovat se ”ohjelmistorypäs, jonka avulla pelikehittäjät pystyvät kehittämään pelejä pelaajia varten” (Indeed,

2022.) On kuitenkin hyvä tiedostaa, että vaikka videopelien kehitykseen tarkoitettujen ohjelmistojen lasketaan alustaksi, liittyy videopelialustoihin myös ohjelmistot, joista videopelien käyttöä jaetaan käyttäjien keskuuteen. Virtuaalitodellisuuslaitteiden näkökulmasta alustoja löytyy useampia. Monella virtuaalitodellisuuslaitteiden kehittäjillä on omat alustat pelienjakelua varten. Steinin ja Lanxonin (2023) määrittelevät tämänkaltaisiksi alustoiksi Quest 2, Steam VR, PlayStation VR ja PlayStation 2 VR-ympäristöt.

3.3 Virtuaalitodellisuus

Virtuaalitodellisuuden määritelmä on häilyväinen konsepti, koska sen määritelmä voi vaihdella ihmisten välillä. Mikä yhden ihmisen mielestä voitaisiin laskea virtuaalitodellisuudeksi ei välttämättä ole virtuaalitodellisuutta toisen ihmisen silmissä. Tässä tutkielmassa käytän Oxford English Dictionary-sivuston (OED, 2023b) määritelmää virtuaalitodellisuudesta. Sen mukaan ”virtuaalitodellisuus on elävän näköisen ympäristön tietokonesimulaatio, jossa henkilö pystyy vuorovaikuttamaan näennäisesti fyysisellä tavalla erilaisten laitteiden avulla.” Tämä simulaatio tapahtuu henkilön näkökulmasta, eli ensimmäisestä persoonasta. Tässä määritelmässä on hyvä huomioida myös se, että vaikka virtuaalitodellisuutta voidaan käyttää niin teollisuudessa kuin myös kuluttajatasolla, pyrin käsittelemään virtuaalitodellisuutta erityisesti kuluttajatasoisen näkökulmasta.

Virtuaalitodellisuutta käytetään erilaisten laitteiden avulla. Kuluttajatasolla virtuaalitodellisuuslaitteet voidaan jakaa kahteen osa-alueeseen; visiiriin ja ohjaimiin. Virtuaalitodellisuuden kontekstissa visiirillä viitataan tässä tutkielmassa englannin kielen sanaan ”head-mounted-display” (päähän kiinnitettävä näyttö). Gartnerin (2023) sanaston mukaan head-mounted-display sanalla viitataan ”pieniin näyttöihin tai projektiotekniikkaan, jotka on integroitu silmälasisiin tai kypärään/hattuun.” Tässä tutkielmassa visiiri viittaa kypärän tyyppiseen laitteeseen, joka käyttää pieniä näyttöjä virtuaaliympäristön näyttämiseen. Lisäksi visiiri on sisäänsäsulkeva, joka tarkoittaa sitä, että visiirin ulkopuolelle ei näe sitä käyttäessä.



Kuva 1. Valve Index-laitteen visiiri (Moore, 2020)

Virtuaalitodellisuuden kontekstissa ohjaimilla viitataan Oxford English Dictionaryn (OED, 2023a) määritelmään ohjaimesta, jonka mukaan ohjain on ”laite, joka on yhteydessä tietokoneeseen tai pelikonsoliin, ja sitä käytetään vuorovaikutukseen videopelin tai muun ohjelman kanssa”. Virtuaalitodellisuusohjaimet mahdollistavat (virtuaalitodellisuuslasien kanssa) käyttäjän vuorovaikutuksen virtuaalimaailmassa ja ovat olennainen osa virtuaalitodellisuuden kokonaisuutta.



Kuva 2. Meta Quest 2 visiiri ja sen ohjaimet (Brewster & Gies, 2023)

Virtuaalitodellisuuspeli

Virtuaalitodellisuuspelin määritelmä johdetaan tässä tutkielmassa virtuaalitodellisuuden ja perinteisten videopelien määritelmistä. Oxford English Dictionary-sivuston (2023) mukaan videopelillä tarkoitetaan peliä, jota pelataan elektronisesti manipuloimalla tietokoneohjelmaa jonkin tyyppisen monitorin tai vastaavan laitteen kautta. Lutkevich (2023) määrittelee virtuaalitodellisuuspelaamisen kolmiulotteisen keinoympäristön soveltamisena videopelaamiseen. Virtuaalitodellisuuspelillä viitataan peliin, jossa pelaaminen tapahtuu virtuaalitodellisuuslaitteiden, kuten ohjainten ja visiirin avulla.

Oikeintoteutettuna virtuaalitodellisuuspelit voivat tarjota paljon arvoa käyttäjille perinteisiin videopeleihin verrattuna. Shelstad ja muut (2017) suorittivat tutkimuksen, jossa he vertailivat GUESS-skaalan (Game User Experience Satisfaction Scale) avulla käyttäjäkokenuksia tietokonepelaamisen ja virtuaalitodellisuuspelaamisen välillä. Tutkimuksessa selvisi, että virtuaalitodellisuus vaikutti positiivisemmin käyttäjien kokeemukseen perinteiseen tietokonepelaamiseen verrattuna.

Virtuaalitodellisuuden tasot

Virtuaalitodellisuus on moniulotteinen kokonaisuus ja se voidaan jakaa erilaisiin alueisiin useammalla tavalla. Tässä tutkielmassa virtuaalitodellisuus on jaettu kolmeen eri osa-alueeseen. Nämä osa-alueet ovat virtuaalitodellisuuden sovellustaso, laitetaso ja ulkopuolinen ulottuvuus.

Virtuaalitodellisuuden sovellustasolla viitataan tässä tutkielmassa kaikkiin ohjelmiin ja sovelluksiin, joita virtuaalitodellisuudessa käytetään. Virtuaalitodellisuussovellukset ovat niitä ohjelmistoja, joita käyttäjä käynnistää päästäkseen erilaisiin virtuaalimaailmiin. Tästä hyvänä esimerkkinä toimivat virtuaalitodellisuuspelit, kuten BeatSaber tai EVE Online, sekä muut virtuaalitodellisuusohjelmat, kuten SculptrVR tai Google Maps.

Virtuaalitodellisuuden laitetasolla viitataan kaikkiin fyysisiin laitteisiin (kuten virtuaalitodellisuuslaitteet ja ohjaimet), jotka mahdollistavat tai avustavat virtuaalitodellisuuden toimintaa. Nykyisten kuluttajataso virtuaalitodellisuuslaitteiden sukupolvi alkoi vuonna 2010 ensimmäisen Oculus Rift-prototyypin luomisena (GlobalData Technology, 2020.) Voidaan olettaa, että virtuaalitodellisuuslaitteistojen suunnittelua ei olla vielä saatu hiottua täydelliseksi viimeisen 13 vuoden aikana. Esimerkkejä tällaisista laitteista ovat esimerkiksi virtuaalitodellisuusvisiirit, ohjaimet tai jäljittimet (laitteet, joilla voidaan seurata muun muassa vartalon tai jalkojen liikettä).

Virtuaalitodellisuuden ulkopuolisella ulottuvuudella viitataan tässä tutkielmassa kaikkiin niihin tekijöihin, jotka eivät suoranaisesti ole osa virtuaalitodellisuutta, mutta vaikuttavat siihen epäsuorasti. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi ihmisten asenteet, taloudelliset tekijät tai virtuaalitodellisuuslaitteiden vaatima fyysinen tila.

4 Virtuaalitodellisuuspelien käytettävyysongelmat sovellustasolla

Sovellustason käytettävyysongelmat ovat tärkeä osa laajempaa käytettävyysongelmien arviointia. Tämä johtuu siitä, että virtuaalitodellisuussovellukset ovat alusta, jonka kanssa käyttäjät ovat eniten kontaktissa virtuaalitodellisuutta käyttäessään. Optimaalisen käyttäjäkokemuksen näkökulmasta on tärkeää tiedostaa, mitkä tekijät vaikuttavat negatiivisesti tähän osa-alueeseen. Tässä luvussa käsitellään tarkemmin sovellustason käytettävyysongelmia kyberpahoinvoinnin ja virtuaalimaailmojen suunnittelun näkökulmista.

4.1 Kyberpahoinvointi

Kyberpahoinvointi on merkittävä ongelma virtuaalitodellisuuden käyttäjien keskuudessa. Rebenitsch (2015) kuvailee kyberpahoinvointia aistien epäsuhtaisuutena oikean maailman ja virtuaalisen maailman välillä. Statistan (McCarthy, 2019) tekemän kyselyn mukaan kyberpahoinvointi on yksi suurimmista ongelmakohdista, joita kuluttajat kokevat virtuaalitodellisuutta käyttäessään. Kyseinen ongelma ilmenee myös Murtzan ja muiden

(2017) tekemässä arvioinnissa, jossa 85 osallistujasta 18 koki jonkin tyyppistä pahovointia tai epämukavuutta virtuaalitodellisuutta käyttäessään. Kyberpahovointiin voi vaikuttaa myös laitteistotason tekijät (Yildirim, 2019). Suurin osa ongelmakohdista sijaitsee kuitenkin itse virtuaalitodellisuussovelluksien sisällä. Tästä syystä kyberpahovointi käsitellään tämän tutkielman sovellustason osiossa.

Kyberpahovoinnin syytä ei tiedetä tarkkaan, mutta siihen liittyviä teorioita on useampia. Asennon epävakausteorian (postural instability theory) mukaan kyberpahovointi aiheutuu ihmisen hankaluudesta ylläpitää oikeanlaista asentoa tai ryhtiä virtuaalitodellisuutta käyttäessään (Rebenitsch, 2015). Oikeanlaisen ryhdin ylläpidon puute aiheuttaa ristiriitaa koetun asennon ja havaitun asennon ympärille, joka aiheuttaa huonovointisuutta.

Lepokehysteorian/hypoteesin (rest frame theory/hypothesis) mukaan huonovointisuus liittyy odottamattomien ärsykkeiden kokemiseen (Rebenitsch, 2015). Tämän teorian mukaan ihminen ”ankkuroi” sijaintinsa ympäristöön ennen päätöksentekoa tai objektien tunnistamista (Cao, 2017). Tästä hyvänä esimerkkinä olisi tilanne, jossa ihminen kohtaa jotain odottamatonta ympäristössään (tässä asiayhteydessä virtuaalitodellisuudessa), kuten äkkinäistä liikettä vuoristoradassa, jolloin riski kyberpahovoinnin kokemiseen kasvaa.

Ongelmaa on pyritty tarkastelemaan myös käytännönläheisemmästä näkökulmasta. Elias ja muut (2019) tutkivat virtuaalitodellisuuspelien vaikutusta ihmisen näköön. Tutkimuksessa selvisi, että virtuaalitodellisuuspelien pelaamisen jälkeen osallistujien havainnointikyky muuttuu hetkellisesti ja tämä aiheutti huonovointisuutta joissain osallistujissa.

Kyberpahovoinnin mittaamisesta ei ole löytynyt yleisesti hyväksyttyä standardia. Sevinc ja Berkman (2020) arvioivat erilaisia tutkimuksissa käytettyjä kyselylomakkeita kuluttajatason virtuaalitodellisuudessa koettavan kyberpahovoinnin näkökulmasta. Tutkimuksessa nousi esille, että esimerkiksi SSQ-kyselylomake (Simulator Sickness Questionnaire) ei soveltunut kuluttajatason virtuaalitodellisuuskokemuksissa koettavan kyberpahovoinnin mittaamiseen sen psykometristen ominaisuuksien (tekijät, jotka vaikuttavat luotettavuuteen) vuoksi. Toisaalta kyselylomakkeet, kuten VRSQ (Virtual Reality Sickness Questionnaire) -kyselylomake tai CSQ (Cybersickness Questionnaire) -kyselylomake ja näiden psykometriset mittarit olivat validiteetiltaan (kuinka hyvin testi mittaa haluttua asiaa) ja reliabiliteetiltaan (missä määrin testi tuottaa johdonmukaisia ja vakaita tuloksia) pätevämpiä, koska ne mittaavat kyberpahovointiin liittyviä tekijöitä tarkemmin.

Perinteisten kyselylomakkeiden lisäksi tutkijat ovat yrittäneet käyttää teknologiaa kyberpahovoinnin havaitsemiseen. Porcino ja muut (2022) selvittivät tutkimuksessaan potentiaalista ratkaisua kyberpahovoinnin havaitsemiselle koneoppimistekniikoiden

avulla. Tutkimuksen lähtökohtana oli se, että kyberpahoinvointi voidaan havaita käyttäjien antamien syötteiden perusteella virtuaalitodellisuudessa. Tutkimuksessa selvisi myös se, että kyberpahoinvointia voi ilmetä eri tavoilla riippuen siitä, kuinka kauan käyttäjä on ollut virtuaalitodellisuudessa yhden pelikerran aikana.

Vaikka kyberpahoinvoinnin syitä ei tiedetä tarkkaan, eikä sen arviointiakaan olla vielä pystytty täysin standardoimaan, ovat tutkijat ja sovelluskehittäjät pyrkineet löytämään keinoja ongelman ratkaisemiseksi. Cmentowski ja muut (2019) pyrkivät löytämään ratkaisun käyttäjille, jotka kokevat kyberpahoinvointia. Tutkimuksessa esitellään ”Outstanding”-konsepti, jonka avulla käyttäjä pystyy toimimaan virtuaalimaailmassa kolmanesta persoonasta. Tämän ideana on vähentää käyttäjän kokemien ärsykkeiden määrää, mutta samalla pyrkiä säilyttämään käyttäjien kokema virtuaalimaailmaan syventyminen. Kyseisen tekniikan avulla havaittiin vähemmän kyberpahoinvointia käyttäjien keskuudessa.

4.2 Virtuaalimaailmojen suunnittelu

Virtuaalitodellisuuspelit ovat osittain verrattavissa ensimmäisestä persoonasta pelattaviin videopelisiin. Täten yleisesti helpoksi koetut asiat, kuten navigoiminen, voivat muuttua erityisen hankaliksi virtuaalitodellisuutta käytettäessä. Sutcliffe ja Gault (2004) analysoivat erilaisia virtuaaliympäristöjä ja pyrkivät luomaan Nielsenin heuristiikkojen perusteella oman heuristiikkasäännöstön. Tämän säännöstön tarkoituksena on helpottaa ongelmia käytettävyyden ja läsnäolon tunteen kanssa virtuaalitodellisuutta käytettäessä. Säännöstön lisäksi tutkimuksessa ongelmat kategorisoidaan erilaisiin luokkiin (taulukko 2). Monet näistä luokista ovat relevantteja virtuaalimaailmojen suunnittelun näkökulmasta. Luokat, kuten käyttäjän läsnäolo, vuorovaikutus työkalujen ja objektien kanssa virtuaalimaailmassa, ympäristötekijät ja vuorovaikutus valikoiden kanssa ovat tärkeitä virtuaalimaailman suunnittelun näkökulmasta.

Taulukko 2. Sutcliffen ja Gaultin (2004) määrittelemät suunnitteluominaisuusluokat

Luokka	Kuvaus
Grafiikan esitys	Grafiikan esittämiseen vaikuttavat ongelmat, kuten kuvanterävyys tai syvyyssnäkö
Käyttäjän läsnäolo	Tekijät, jotka vaikuttavat käyttäjän kokemukseen tilassa olemisesta
Vuorovaikutus työkalujen ja objektien kanssa virtuaalimaailmassa	Käyttäjän yritykset toimia vuorovaikutuksessa virtuaalimaailman kanssa sovellus- ja laitetasolla
Ympäristötekijät	Virtuaalimaailman osat, jotka eivät vastaa käyttäjän odotuksia
Vuorovaikutus valikkojen kanssa	Tekijät, jotka vaikuttavat käyttäjän vuorovaikutukseen erilaisten valikoiden kanssa
Muut laitteiston ongelmat	Virtuaalitodellisuuslaitteisiin liittyvät, muut kuin grafiikan esittämistä koskevat ongelmat.

Lisäksi löydetyt ongelmat voidaan tämän analyysin jälkeen lajitella asteikolle 1-4 niiden vakavuuden mukaan. Sutcliffen ja Gaultin (2004) luomat heuristiikat tukevat teoriaa siitä, että virtuaalimaailmoista löytyy käyttöä hankaloittavia ongelmia ja heidän luomallaan säännöstöllä pystytään niitä sekä havaitsemaan, että luokittelemaan.

Myös virtuaalitodellisuuspeleille keskitettyä säännöstöä on pyritty luomaan. Çatak ja muut (2020) tutkivat erilaisia virtuaalitodellisuuspelejä erityyppisistä videopeligenreistä ja pyrkivät tunnistamaan vuorovaikutuksen periaatteita, joita pelit käyttivät. Tällaisia periaatteita olivat esimerkiksi Don Normanin (2013) Design of Everyday Things -kirjasta erilaiset affordanssit (kyky tehdä jotain virtuaalimaailmassa) tai merkittäjät, jotka viittaavat virtuaalimaailmaan sijoitettuihin elementteihin, jotka vihjaavat pelaajaa erilaisten esineiden toiminnasta

Näiden peleistä tehtyjen havaintojen perusteella tutkijat loivat pelisuunnitteluun liittyviä ohjeita, jotka tutkimuksessa on jaettu kolmeen osa-alueeseen: havaintosuunnitteluun, joka keskittyy käyttäjän näkemiin asioihin virtuaalimaailmassa, vuorovaikutussuunnitteluun, joka liittyy virtuaalimaailmassa esiintyviin esineisiin ja siihen, miten käyttäjä toimii näiden esineiden kanssa ja navigointisuunnitteluun, joka liittyy nimensä mukaisesti siihen, kuinka virtuaalitodellisuuden käyttäjä pystyy liikkumaan virtuaalimaailmassa. Çatakin ja kumppaneiden luomien ohjeiden tarkoituksena on parantaa virtuaalitodellisuudessa toimimisen käytettävyyttä ja tehdä siitä mielekkäämpää.

Liszio ja Masuch (2016) pyrkivät tutkimusartikkelissaan selvittämään virtuaalitodellisuudessa navigoimiseen vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi tutkimuksessa tutkittiin myös sitä, mitkä tekijät erityisesti hankaloittavat käyttäjien tehokasta navigoimista virtuaalitodellisuusympäristössä. Tällaisia tekijöitä olivat esimerkiksi virtuaalimaailman rajojen saavuttaminen, odottamattomien reittien käyttö virtuaalimaailmassa navigoitaessa tai käyttäjän tietämättömyys siitä, mihin tämän on tarkoitus mennä virtuaalimaailmassa.

5 Virtuaalitodellisuuspelien ongelmat laitetasolla

Vaikka virtuaalitodellisuussovelluksilla voi olla paljon käytettävyyso ongelmia, ei sovellustasoa voida syyttää kaikista käytettävyyso ongelmista, joita virtuaalitodellisuuteen liittyy tällä hetkellä. Osa käytettävyyso ongelmista ilmenee myös laitetasolla. Laitetason ongelmat ovat tärkeä osa kokonaisuutta, sillä ne luovat pohjan, jonka päälle käytettävyydetään hyvät sovellukset voidaan rakentaa; huono laitetason käytettävyys vaikuttaa sovellustason käytettävyyteen. Tässä luvussa tarkastellaan laitetason käytettävyyso ongelmia suunnittelun ja teknisten puutteiden näkökulmista.

5.1 Laitteistojen suunnitteluongelmat

Murtzan ja muiden (2017) kirjoittamassa tutkimusartikkelissa käsitellyistä ongelmakohdista moni liittyi erilaisiin laitteistotason suunnitteluongelmiin. Tällaisia ongelmia olivat

esimerkiksi virtuaalitodellisuuslaitteiden käyttämien johtojen aiheuttamat ongelmatilanteet (johtojen väistelemine tai niihin kompastuminen), virtuaalitodellisuuslasien epämuokavuus, fyysisen tilan aiheuttamat ongelmat ja ihmisten tarve nostaa virtuaalitodellisuuslasit silmiltään kesken pelikokemuksen (Murtza et al., 2017.)

Kartick ja muut (2020) tutkivat erilaisten virtuaalitodellisuuslaitteiden yläraajaergonomiaa. Tutkimuksen motivaationa oli ajatus siitä, että virtuaalitodellisuuden suosion kasvu on tuonut virtuaalitodellisuuden piiriin monimuotoisen käyttäjäkunnan ja sama virtuaalitodellisuuslaite ei välttämättä sovi kaikille käyttäjille. Tutkimusmenetelmänä toimi virtuaalitodellisuudessa suoritettu esineisiin tarttumista havainnoiva koe, sekä SUS (System Usability Scale)- ja GEQ (Game Engagement Questionnaire)-lomakkeet. Tutkimuksessa nousi esille se, että käytettävyys, mukaansatempaavuus ja annetuista tehtävistä suoriutuminen parantui, kun virtuaalitodellisuuslaitteiden ergonomian parantui. Myös Sutcliffe ja Gault (2004) luokittelevat vuorovaikutuksen työkalujen ja objektien kanssa virtuaalimaailmassa yhdeksi käytettävyysongelmien luokaksi tutkimuksessaan (taulukko 2).

5.2 Laitteistojen teknisten ominaisuuksien puute

Myös virtuaalitodellisuuslaitteiden tekniset ominaisuudet vaikuttavat käyttökokemukseen. Wang ja muut (2022) selvittivät yhteyttä virtuaalitodellisuuslaitteiden resoluution ja kyberpahoivoinnin välillä. Tutkimuksen tulokset viittaavat siihen, että 2K-kuvantarkkuus (2048 kertaa 1080 pikseliä leveä näyttö) kummassakin virtuaalitodellisuusvisiirissä silmään kohdistuvassa näytössä on tärkeä kynnys parannelulle käyttökokemukselle ja käytettävyysongelmien, kuten kyberpahoivoinnin välttämiseksi. Myös Sutcliffe ja Gault (2004) määrittelevät virtuaalitodellisuuslaitteiden grafiikan esittämisen yhdeksi käytettävyysongelmien luokaksi tutkimuksessaan (taulukko 2). Tällä luokalla viitataan siihen, että kuvanlaatuun tai terävyyteen vaikuttavat tekijät aiheuttavat käytettävyysongelmia.

Laitteistojen suunnittelu tulee huomioida myös yksilötasolla. Yksi merkittävä tekijä on ihmisen kyky havaita kolmiulotteisia esineitä virtuaalitodellisuudessa. Oikean pupillietäisyyden luominen on tärkeä tekijä sen muodostamiseksi ilman, että käyttäjä kokee kyberpahoivointia. Vaikka virtuaalitodellisuuslaitteet ottavat suurimman osan pupillietäisyyksistä huomioon, eivät nykyiset laitteet pysty tarjoamaan virtuaalitodellisuuslasia, jotka tukevat kaikkien ihmisten pupillietäisyyksiä. Hibbard ja muut (2020) tutkivat pupillietäisyyden merkitystä virtuaalitodellisuuskontekstissa ja tutkimuksessa nousi esille, että virtuaalitodellisuuslasit voivat aiheuttaa käyttäjille ongelmia syvyyssnäössä ja yleisessä käyttömukavuudessa, jos virtuaalitodellisuuslasit eivät kykene ottamaan käyttäjän pupillietäisyyttä huomioon.

Laitteistojen sopivuus nuoremmille käyttäjille on myös epäselvä. Miehlebradt ja muut (2021) suorittivat tutkimuksen, jossa pyrittiin selvittämään virtuaalitodellisuuden vaikutusta lasten koordinaatiokykyyn virtuaalitodellisuudessa. Tutkimuksessa selvisi, että 6–8-vuotiailla lapsilla ilmeni ongelmia yläruumiin koordinaatiossa virtuaalipelejä pelatessa. Kuitenkin 10-vuotiailla lapsilla ei tätä ongelmaa enää ilmennyt. Tutkimuksen tulokset tukevat teoriaa, jonka mukaan lasten koordinaatiokyky voi kehittyä väärällä tavalla, jos virtuaalitodellisuuslaitteita käytetään alle 8-vuotiaana.

6 Virtuaalitodellisuuden ulkopuoliset ongelmat

Virtuaalitodellisuuden ulkopuoliset tekijät voivat myös osittain vaikuttaa käyttäjien kukaan virtuaalitodellisuudesta potentiaalisena investointikohteena. Vaikka virtuaalitodellisuuden ulkopuoliset ongelmat eivät välttämättä suoraan vaikuta virtuaalitodellisuuslaitteiden käytettävyyteen, on niiden läpikäyminen tutkielmassa silti tärkeää. Virtuaalitodellisuuden ulkopuoliset tekijät ovat tärkeä osa virtuaalitodellisuuteen investoimisen kokonaisuutta käyttäjätasolla. Tässä luvussa virtuaalitodellisuuden ulkopuolisia käytettävyyso ongelmia käydään läpi erityisesti laitteiston hinnan ja laitteiston vaatiman fyysisen tilan näkökulmista.

6.1 Asenteet virtuaalitodellisuutta kohtaan

Eri ihmisryhmät reagoivat eri tavalla virtuaalitodellisuusympäristöihin ja niiden sisällä oleviin elementteihin. Adamo-Villani ja muut (2008) suorittivat tutkimuksen, jossa vertailtiin virtuaalitodellisuustyyppisten käyttöliittymien ja perinteisten, tietokoneella käytettävien käyttöliittymien eroja. Tutkimuksessa keskityttiin erityisesti osallistujien objektiivisiin suorituksiin ja subjektiivisiin mielipiteisiin. Tutkimuksessa kävi ilmi, että prosentuaalisella tasolla naisten suhtautuminen uusien käyttöliittymätyyppisiin (kuten virtuaalitodellisuustyyppisiin käyttöliittymiin) oli positiivisempi kuin miehillä.

Naiset olivat avoimempia uusille kokemuksille. Tästä voidaan tehdä johtopäätös siitä, että eri ihmisryhmät suhtautuvat eri tavoilla uuteen teknologiaan. On tärkeä ymmärtää se, että eri ihmisryhmillä on erilaiset suhtautumiset ja odotukset uusien kokemusten edessä ja näiden kokemusten laatua voidaan parantaa ottamalla tällaiset tekijät huomioon.

Tiettyyn ryhmään kuuluminen ei kuitenkaan ole ainoa vaikuttava tekijä virtuaalitodellisuuteen liittyviin asenteisiin. Cummings ja muut (2022) suorittivat tutkimuksen, jossa pyrittiin selvittämään psykologisten ja sosiaalisten tekijöiden vaikutusta virtuaalitodellisuuslaitteiden hankintaan ja käyttämiseen. Tutkimuksessa selvisi, että erilaiset psykologiset piirteet olivat parempia ennusmerkkejä virtuaalitodellisuuden käytölle, kuin jo-

honkin demografiaan kuuluminen. Lisäksi tekijät kuten vuorovaikutus kasvokkain ja verkossa kohdattujen ystävien kanssa sekä kokemus sosiaalisesta menestyksestä tai usko tieeseen vaikuttivat virtuaalitodellisuuden aktiiviseen käyttöön.

Tavallisten kotitalouksien näkökulmasta kiinnostus virtuaalitodellisuuteen on vähäistä. Hallin (2020) raportissa viitataan kyselyyn, jossa selvitettiin kotitalouksien kiinnostusta virtuaalitodellisuuslaitteiden ostamiseen. Tuloksien mukaan 51 % vastanneista vanhemmista eivät olleet kiinnostuneita virtuaalitodellisuuslaitteiden ostamisesta. Tulokset eivät kuitenkaan ole ehdottomia ja samassa kyselyssä tuodaan esille se, kuinka asiantuntijoiden mielestä virtuaalitodellisuuslaitteiden käyttö tulee olemaan osa valtavirtaa vuonna 2025.

Virtuaalitodellisuuden negatiiviset puolet vaikuttavat myös virtuaalitodellisuuteen liittyviin asenteisiin. Miehlebradtin ja muiden (2021) tutkimuksessa selvisi, että 6–8-vuotiaiden lasten koordinaatiokyvyssä ilmeni ongelmia virtuaalitodellisuuden käytön jälkeen. Tämänkaltaiset, lapsiin vaikuttavat tekijät, saattavat vaikuttaa erityisen negatiivisesti vanhempien suhtautumiseen virtuaalitodellisuudesta ja täten vaikuttaa virtuaalitodellisuuden imagoon heidän silmissään.

6.2 Virtuaalitodellisuuslaitteistojen hinta

Verman ja muiden (2021) artikkelissa nousi esille se, että virtuaalitodellisuuslaitteiden hinnat ovat kuluttajan näkökulmasta korkeat. Korkeat hinnat ovat ongelmallisia, koska ne nostavat kynnystä virtuaalitodellisuuden hankinnalle. Statistan (Alsop, 2022b) tekemän, virtuaalitodellisuusalan ammattilaisille suunnatun, kyselyn mukaan laitteiden hinta kuluttajien näkökulmasta on yksi suurimmista esteistä.

Toisessa kyselyssä Statista (McCarthy, 2019) selvitti tekijöitä, jotka vaikuttavat negatiivisesti virtuaalitodellisuuden omaksumiseen suoraan kuluttajilta. Tämän kyselyn mukaan laitteiden korkea hinta oli suurin syy sille, mikä estää kuluttajia investoimasta virtuaalitodellisuuslaitteisiin. Tilanne on haastava niin kuluttajien, kuin myös laitevalmistajien näkökulmasta, sillä virtuaalitodellisuuslaitteiden hinnan laskeminen vaikuttaa negatiivisesti myös laitteiden laatuun, joka oletettavasti vaikuttaa myös käytettävyyteen.

6.3 Virtuaalitodellisuuslaitteistojen vaatima fyysinen tila

Murtzan ja muiden (2017) suorittamassa tutkimuksessa esille noussut ongelma oli fyysisten tilojen aiheuttamat rajoitukset virtuaalitodellisuutta käytettäessä. Riittävä tila on tärkeä osa virtuaalitodellisuuslaitteiden käyttöä, sillä ilman riittävän avonaista pelialustaa ihminen saattaa esimerkiksi aiheuttaa vaaratilanteita itselleen tai muille virtuaalitodellisuuslaitteita käyttäessä. Turvallisin tila käyttäjälle on tila, jossa ei ole ylimääräisiä esteitä ja tarpeeksi tilaa liikkua. Tästä hyvänä esimerkkinä toimii käyttäjän oma olohuone.

Kyseistä vaaratilanteita aiheuttavaa ilmiötä vahvistaa myös se, että internetistä löytyy paljon videoita, missä ihmiset törmäilevät seiiniin tai huonekaluihin virtuaalitodellisuuden käytön aikana. Käytettävyyden näkökulmasta tämä on ongelmallista erityisesti virtuaalitodellisuuden imagon kannalta; jos ihmisillä on yleiskäsitys siitä, että virtuaalitodellisuuden käyttäminen voi aiheuttaa vaaratilanteita, tulee kynnys sen kokeilemiselle kasvamaan.

Yksi looginen ratkaisu tähän ongelmaan on fyysisten tilojen tarjoaminen käyttäjille. Tämän ratkaisun avulla virtuaalitodellisuutta voidaan käyttää turvallisessa ja miellyttävän tilavassa ympäristössä, jossa esineisiin tai seiiniin törmäily on epätodennäköisempää, kuin esimerkiksi omassa olohuoneessa. Cocciolo (2010) pyrki selvittämään tutkimuksessaan, kuinka halukkaita ihmiset ovat käyttämään virtuaalitodellisuudelle tarkoitettuja tiloja.

Tutkimuksessa selvisi, että kysyntä virtuaalitodellisuutta hyödyntäville tiloille oli vähäistä. Kyseinen tutkimus toteutettiin kuitenkin vuonna 2010, jolloin virtuaalitodellisuuden suosio ei ollut vielä räjähtänyt kuluttajien keskuudessa, joten kysyntä tällaisille tiloille voisi olla suurempaa tänä päivänä. Lisäksi tutkimuksessa keskityttiin kirjastossa sijaitseviin virtuaalitodellisuustiloihin, jotka ovat julkisia kaikille.

7 Keskustelu

Virtuaalitodellisuuden käytettävyyteen liittyvää tutkimusta löytyy, mutta erilaisten virtuaalitodellisuuspeleiden näkökulmasta käsittelevää tutkimusta löytyi yllättävän vähän. Vaikka ala on kasvanut viimeisien vuosien aikana ja kysyntää teknologialle selvästi löytyy, oli aineistoa tutkimuskysymykseeni vähän. Tämä on mielenkiintoista, sillä videopelit ovat oivallinen tapa saada ihmiset kiinnostumaan virtuaalitodellisuudesta teknologiana.

7.1 Tutkimuksen toteutukseen liittyviä haasteita

Lisääntyvä tietämys virtuaalitodellisuuspeleiden käytettävyydestä voi toimia tärkeänä vertauskohteena tulevaisuuden virtuaalitodellisuussovelluksille. Tuntemus virtuaalimaailmojen käytettävyysongelmista voi osoittautua hyödylliseksi myös muiden teknologioiden kehitysprosessissa. Esimerkiksi lisätyntodellisuuden (Augmented Reality) sovelluksissa on joitain samankaltaisuuksia virtuaalitodellisuussovelluksien kanssa ja täten tietoa voidaan potentiaalisesti hyödyntää myös tällä saralla.

Lähteitä haettaessa oli haastavaa löytää aineistoa, joka osuisi tarkasti tutkimuskysymykseen. Vaikka kaikki tutkimukset eivät keskittyneet suoraan virtuaalitodellisuuspeleihin, kaikkien käyttämieni tutkimuksien tulokset ovat yleistettävissä virtuaalitodellisuuteen ja virtuaalitodellisuuspeleihin jollain tasolla. Virtuaalitodellisuus on kokonaisuus, joka muodostuu fyysisten laitteiden, sovelluksien ja ulkoisten tekijöiden summasta. Vir-

tuaalitodellisuuspelejä pelataan samoilla välineillä, millä muitakin virtuaalitodellisuussovelluksia käytetään, ja sovellukset ovat osittain verrattavissa muihin virtuaalitodellisuussovelluksiin.

Yksi tutkimuksen tavoitteista oli löytää jokaisesta määritellystä kategoriasta tutkimuksia ja käsitellä aihetta tasapuolisesti jokaisesta kategoriasta. Kuitenkin eri aihepiireihin löytyi vaihteleva määrä tutkimuksia. Tämän takia jako kategorioiden välillä ei ole täysin tasainen vaan yhdessä kategoriassa saattaa olla enemmän lähteitä kuin toisessa (taulukko 1). Sovellustason painottuminen tuo esille sen, että tämä aihepiiri kiinnostaa tutkijoita. Syitä tälle on varmasti monia mutta yksi merkittävä syy on varmasti se, että sovellustason ongelmat ovat virtuaalitodellisuuden näkökulmasta helpommin lähestyttäviä ja täten niistä on luontevaa tehdä tutkimusta. Laitetason ja virtuaalitodellisuuden ulkopuoliset ongelmat eivät välttämättä ole käytettävyyden näkökulmasta yhtä suoraviivaisia, sillä ne vaativat analyysiä erilaisista näkökulmista sovellustasoon verrattuna; tämä tekee ongelmien hahmottamisesta haastavampaa. Olisi kuitenkin viisasta tehdä tutkimusta myös laitetason ja ulkopuolisen tason ongelmista, jotta virtuaalitodellisuuskäytettävyyden kokonaisuutta voitaisiin ymmärtää kokonaisvaltaisemmin.

Tutkielman tavoitteena on ollut kartoittaa virtuaalitodellisuuteen liittyviä käytettävyyso ongelmia ja koota ne yleiskatsaukseksi. Tällainen yleiskatsaus on hyödyllinen työkalu luomaan kuva siitä, mikä virtuaalitodellisuudessa on jo hyvää ja mitä tulee vielä kehittää. Koen, että tutkielman tavoite on saavutettu. Lisäksi käytettävyyso ngelmiin liittyvät, ratkaisuja etsivät tutkielmat ja artikkelit antoivat erilaisen näkökulman käytettävyyso ngelmiin. Näissä tutkimuksissa nousi esille se, että vaikka käytettävyyso ngelmia on sekä erityyppisiä, että paljon, pyritään niihin löytämään ratkaisuja aktiivisesti. Esimerkiksi sovellustasolla ongelmat liittyvät pitkälti alan käytäntöihin, jotka muuttuvat jatkuvasti. Täten niihin voi vaikuttaa helpommin ja erilaisia luovia ratkaisuja voidaan kehittää nopeasti. Toisaalta laitesuunnitteluun liittyvä kehitys voi olla hitaampaa ja haastavampaa, sillä laitekehityksen piirissä toimivia kehittäjiä on vähemmän. Oman virtuaalitodellisuuslaitteen suunnittelu on monimutkainen sekä kallis prosessi ja tämä hidastaa laitetason kehitystä verrattuna esimerkiksi sovellustason kehitykseen.

On myös tärkeä tiedostaa, että mikään yksittäinen osa-alue ei pysty selittämään kaikkia virtuaalitodellisuuden käytettävyyso ngelmia, saati tarjoamaan niihin selkeitä ratkaisuja. Esimerkiksi laitetason liittyvät ongelmat pystyvät tuomaan selkeyttä tiettyihin sovellustason käytettävyyso ngelmiin mutta ei johonkin toiseen osa-alueeseen. Kattava tietämys jokaisesta osa-alueesta varmistaa sen, että ratkaisut ovat laadukkaita.

7.2 Aihealueiden läpikäynti

Virtuaalitodellisuuden sovellustasoon liittyen löytyi kahteen pääkategoriaan jakautuvaa ongelma-aluetta. Kyberpahoinvointi ja virtuaalimaailmojen suunnittelu olivat ongelmia, jotka nousivat esille useassa tutkimuksessa.

Kyberpahoinvointi on muihin käsiteltyihin aihealueisiin verrattuna eniten tutkittu. Ilmiö on tärkeä, sillä se vaikuttaa monen aloittelevan käyttäjän kokemukseen virtuaalitodellisuudesta. Rebenitschin (2015) tutkimuksessa läpikäydyt asennon epävakausteoria ja lepokehysteoria ovat hyviä potentiaalisia selityksiä sille, mistä kyberpahoinvointi johtuu. On hyvä muistaa, että vaikka kyberpahoinvointi on helppo liittää sovellustason ongelmiin, voidaan osa kyberpahoinvoinnin aiheuttajista liittää osaksi laitetason ongelmia. Oikeaoppisella virtuaalimaailmojen suunnittelulla pystytään lieventämään kyberpahoinvoinnin oireita, mutta tämä ilmiö syntyy virtuaalimaailman ja oikean maailman luomasta hämmennyksestä. Täten laitesuunnittelun rooli on myös tärkeä kyberpahoinvoinnin lieventämisessä.

Vaikka sovellustason suurimmat osa-alueet liittyivät ohjelmistojen optimointiin käyttäjän näkökulmasta, tärkeää on tiedostaa, että käytettävyyttä voidaan optimoida pienemmälläkin skaalalla. Adamo-Villanin ja muiden (2008) tutkimuksesta kävi ilmi, että eri ihmisryhmillä on erilainen suhtautuminen samaan kokemukseen. Ihmiset ja ihmisryhmät näkevät virtuaalimaailman omien kokemuksensa näkökulmasta; yksi ihminen voi tarkastella maailmaa taiteellisesta näkökulmasta, kun toinen tarkastelee samaa maailmaa hyvin käytännönläheisestä perspektiivistä. Nämä tekijät vaikuttavat käytettävyyteen, sillä sama maailma saattaa olla hyvin yksinkertainen teknisestä näkökulmasta, mutta esteettisesti miellyttävä toisesta. Toisaalta Çatakin ja muiden (2020) suorittama tutkimus antaa ymmärtää, että tietyt yleispätevät säännöt parantavat virtuaalitodellisuuden käytettävyyttä, joten vaikka jokaisella ihmisellä on henkilökohtainen tapa lähestyä virtuaalitodellisuusmaailmoja, pystytään monen käyttäjän kokemusta parantamaan samoilla säännöillä.

Virtuaalitodellisuuden laitetasolla olevat ongelmat liittyivät pitkälti siihen, että tuotekehittäjien tulee luoda tuote, joka on taloudellisesti järkevä tuottaa, mutta samalla mahdollisimman miellyttävä tuote käyttäjän näkökulmasta. Tämä voi kuitenkin olla t loudellisista syistä haastavaa. Se saattaa johtaa tilanteeseen, jossa virtuaalitodellisuuslaitteistoissa on puutteita esimerkiksi ergonomian näkökulmasta, joka heikentää virtuaalitodellisuuslaitteiden käyttömukavuutta.

Ominaisuuksien puute virtuaalitodellisuuslaitteissa on myös ongelma. Wang ja muut (2022) toivat esille sen, kuinka virtuaalitodellisuuslasien näyttöjen resoluutio vaikuttaa siihen, kuinka todennäköisesti ihmiset kokevat kyberpahoinvointia. Tämä seikka tuo esille sen, kuinka virtuaalitodellisuuslaitteiden tulee omata tietynlaisten tekniset ominai-

suudet, jotta käytettävyys ei laske huomattavasti. Miehlabradtin ja muiden (2021) tutkimuksessa nousi esille, kuinka virtuaalitodellisuuslasit voivat vaikuttaa negatiivisesti lasten koordinaatiokyvyn kehitykseen. Tulevaisuudessa yksi potentiaalinen tutkimuskohde voisi olla se, että onko virtuaalitodellisuuslaitteistoja mahdollista mukauttaa paremmin nuoremmille lapsille tämänkaltaisten ongelmien vähentämiseksi.

Teknisten ominaisuuksien näkökulmasta optimaalisen tuotteen luominen on kuitenkin haastavaa. Tästä syystä virtuaalitodellisuuslaitteissa usein löytyy laitetason tekijöitä, jotka vaikuttavat käytettävyysongelmaan negatiivisesti. Ongelman ratkaiseminen voi olla haastavaa, sillä laitteiden tuottama taloudellinen voitto osittain määrittää sen, saako tuote rahoitusta jatkokehitykseen. Tämän takia tuotekehityksen ja siitä seuraavan markkinoinnin täytyy onnistua suhteellisen hyvin, jotta tuotekehityksen jatko voidaan taata.

Virtuaalitodellisuuden ulkopuoliset ongelmat voivat vaikuttaa erikoiselta osa-alueelta käsitellä käytettävyysongelmia tarkastellessa, mutta koen sen olevan tärkeä osa käytettävyysongelmien kokonaisuuden hahmottamista. Suurena ongelmana tällä osa-alueella oli se, että käyttäjistä riippumattomat faktat saattavat olla suuri tekijä sille, ostaako käyttäjä virtuaalitodellisuuslaitteen vai ei. Tähän on haastavaa löytää konkreettista ratkaisua, sillä ulkopuoliset ongelmat usein johtuvat käyttäjään liittyvistä tekijöistä.

Asenteet ovat tärkeä osa virtuaalitodellisuuden käyttöönottoa ja sen kasvua. Asenteita muokkaamalla voidaan vaikuttaa virtuaalitodellisuuden kasvuun positiivisesti. Yleisellä tasolla virtuaalitodellisuuteen liittyvät asenteet ovat ristiriitaisia, osa asenteista on positiivisia, osa negatiivisia ja osa neutraaleja. Tähän vaikuttaa monet tekijät, mutta eri ihmisryhmät suhtautuvat teknologiaan eri tavalla, kuten Adamo-Villanin ja muiden (2008) tutkimuksessa nousi esille. Tulevaisuudessa tulisi virtuaalitodellisuuteen liittyviin asenteisiin vaikuttaa esimerkiksi kohdistetulla markkinoinnilla, jotta eri ihmisryhmien kysymyksiin ja huoliin kyettäisiin vastaamaan tavalla, joka parantaa ymmärrystä virtuaalitodellisuudesta. Tämä on erityisten tärkeää kotitalouksien tapauksessa. Miehlabradtin ja muiden (2021) tutkimuksessa esille nousseet terveystriskit 6–8-vuotiaita lapsia kohtaan voivat vaikuttaa kriittisellä tavalla siihen, kuinka vanhemmat suhtautuvat virtuaalitodellisuuteen. Huonoimmassa tapauksessa vanhemmat saattavat negatiivisten asenteiden takia rajoittaa lapsiansa pääsyä virtuaalitodellisuuteen.

Virtuaalitodellisuuden vaatima fyysinen tila on ongelma tuotteiden markkinoinnin näkökulmasta. Osa virtuaalitodellisuuden imagoa on se, että laitteita voi käyttää oman kodin yksityisyydessä. Tähän on pyritty löytämään ratkaisua kodin ulkopuolelta, mutta Cociollon (2010) tutkimus antaa ymmärtää, että ihmiset eivät ole kiinnostuneita käyttämään virtuaalitodellisuutta julkisissa tiloissa, kuten kirjastoissa. Julkiset tilat eivät välttämättä ole vaihtoehto kaikille virtuaalitodellisuuden käyttäjille erilaisista syistä. Tutkimuksen tulisi keskittyä enemmän käyttäjien kodin sisäisiin potentiaalsiin ratkaisuihin.

Virtuaalitodellisuuslaitteiden hinta on myös haastava ongelma erityisesti kehittäjien näkökulmasta. Laitteiden ja sovellusten kehitys on kallista ja täten säästöjä on tehtävä silloin, kun vain on mahdollista. Kuitenkin edullisen virtuaalitodellisuuslaitteiston luominen tarkoittaa sitä, että joistain ominaisuuksista täytyy luopua. Kehittäjien näkökulmasta voidaan olla hankala löytää tasapaino hinnan ja laadun välillä.

Laitteiden hintaa voidaan pyrkiä alentamaan tuotesuunnittelun avulla ja erilaisten virtuaalitodellisuuteen tarkoitettujen tilojen lisääminen voivat tuoda mainittuihin ongelmiin helpotusta. Ongelmat ovat kuitenkin hieman abstrakteja ja epäsuoria, mutta niiden tiedostaminen on tärkeää käytettävän virtuaalitodellisuuslaitteen suunnittelussa, vaikkei ratkaisuja näihin ongelmiin heti löytyisi.

7.3 Yhteenveto

Tarkastelin kirjallisuuskatsauksen avulla virtuaalitodellisuuteen liittyviä käytettävyys ongelmia erityisesti kuluttajan näkökulmasta. Käytettävyys jaettiin tutkielmassa kolmeen osa-alueeseen: sovellustasoon, laitetasoon ja virtuaalitodellisuuden ulkopuoliseen tasoon. Jokaiselle osa-alueelle löytyi lähteitä, josta pystyttiin luomaan yleiskäsitys osa-alueen käytettävyysongelmiin. Tulevaisuudessa vähemmän tutkittuja osa-alueita olisi hyvä tutkia enemmän, jotta kattavampi kuva virtuaalitodellisuuden käytettävyysongelmista pystytään muodostamaan.

Tutkielmassa nousi esille, että virtuaalitodellisuuteen liittyy paljon erilaisia käytettävyysongelmia. Tällaisia ongelmia ovat virtuaalitodellisuuslaitteisiin, sovelluksiin ja ulkopuolisiin ongelmiin liittyvät tekijät. Nämä ongelmat ovat laajuuksiltaan ja vakavuuksiltaan erilaisia, mutta ne yhdessä luovat kynnyksen virtuaalitodellisuuslaitteiden kokeilulle kuluttajan näkökulmasta.

Emme voi olla täysin varmoja siitä, tullaanko virtuaalitodellisuuteen liittyviä käytettävyysongelmia ratkaisemaan tulevaisuudessa. Tutkimukset kuitenkin osoittavat, että vähintään toivoa näiden ongelmien ratkaisuun löytyy, sillä tutkimuksista on saatu irti hyödyllistä dataa ja tutkimus aihepiiriin liittyen jatkuu. Erilaisia ratkaisuja käytettävyysongelmiin pyritään luomaan koko ajan ja tulevaisuudessa moni tutkielmassa mainitusta käytettävyysongelmasta voi hyvinkin poistua näköpiiristä. On suositeltavaa, että tämänkaltaisia yleiskatsauksia tulisi tehdä aika ajoin aiheeseen liittyen, jotta saadaan selkeä kuva siitä, onko käytettävyys tapahtunut merkittäviä muutoksia tietynä ajan jaksone ja onko virtuaalitodellisuus alana menossa haluttuun suuntaan käytettävyyden näkökulmasta.

Lähdeluettelo

- 4experience (2022). Why VR Game Development Is The Future of Gaming. 4Experience Crew. <https://4experience.co/why-vr-game-development-is-the-future-of-gaming>
- Adamo-Villani, N., Wilbur, R., & Wasburn, M. (2008). Gender Differences in Usability and Enjoyment of VR Educational Games: A Study of SMILE™. 2008 International Conference on Visualization. <https://doi.org/10.1109/VIS.2008.10>
- Alsop, T. (2022a). VR headset unit sales worldwide 2024. Statista. Retrieved March 23, 2023, from <https://www.statista.com/statistics/677096/vr-headsets-worldwide/>
- Alsop, T. (2022b). Top obstacles to mass adoption of VR technologies 2019. Statista. Retrieved March 23, 2023, from <https://www.statista.com/statistics/1098566/obstacles-to-mass-adoption-of-vr-technologies/?locale=en>
- Alsop, T. (2022c). Virtual Reality (VR) headset revenue growth worldwide from 2018 to 2027. Statista. Retrieved March 30, 2023, from <https://www.statista.com/forecasts/1331894/vr-headset-revenue-growth-worldwide>
- Brewster, S., & Gies, A. (2023). The Best VR Headset. *Wirecutter*. from <https://www.nytimes.com/wirecutter/reviews/best-standalone-vr-headset>
- Cao, Z. (2017). The effect of rest frames on simulator sickness reduction. Thesis for Master of Science, Duke University. ResearchGate. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14954.98240>
- Çatak, G., Masalci, S., & Seray, Ş. (2020). A Guideline Study For Designing Virtual Reality Games – AJIT-e: Academic Journal of Information Technology, 11 (43), 12-36. <https://doi.org/10.5824/ajite.2020.04.001.x>
- Clement, J. (2022). Global video game by segment 2027. Statista. Retrieved March 23, 2023, from <https://www.statista.com/statistics/1344682/global-video-gamers-by-segment/?locale=en>
- Clement, J. (2023). Global VR gaming market size 2024. Statista. Retrieved March 23, 2023, from <https://www.statista.com/statistics/1360511/global-virtual-reality-gaming-revenue/?locale=en>
- Cmentowski, S., Krekhov, A., & Krüger, J. (2019). Outstanding: A multi-perspective travel approach for virtual reality games. Proceedings of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play. <http://dx.doi.org/10.1145/3311350.3347183>

- Cocciolo, A. (2010). Alleviating physical space constraints using virtual space? *Library Hi Tech*, 28(4), 523–535. <https://doi.org/10.1108/07378831011096204>
- Cummings, J., Cahill, T., Wertz, E. & Zhong, Q. (2022). Psychological predictors of consumer-level virtual reality technology adoption and usage. *Virtual Reality*, 1–23. <https://doi.org/10.1007/s10055-022-00736-1>
- Dawson, M. (2016). Figure 1. Gartner 2014 hype cycle of emerging technologies ResearchGate. Retrieved March 23, 2023, from https://www.researchgate.net/figure/Gartner-2014-hype-cycle-of-emerging-technologies-Source-Gartner-Inc_fig1_307466504
- Elias, Z. M., Batumalai, U. M., & Azmi, A. N. H. (2019). Virtual reality games on accommodation and convergence. *Applied Ergonomics*, 81, 102879. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.102879>
- Gartner (2015) Gartner's 2015 Hype Cycle for Emerging Technologies Identifies the Computing Innovations That Organizations Should Monitor. Retrieved March 23, 2023, from <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2015-08-18-gartners-2015-hype-cycle-for-emerging-technologies-identifies-the-computing-innovations-that-organizations-should-monitor>
- Gartner (2023). Definition of Head-mounted Displays (HMDs) - Gartner Information Technology Glossary. In *Gartner*. Retrieved April 2, 2023, from <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/head-mounted-displays-hmd>
- Gartner (2016). Gartner's 2016 Hype Cycle for Emerging Technologies Identifies Three Key Trends That Organizations Must Track to Gain Competitive Advantage. Retrieved March 23, 2023, from <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2016-08-16-gartners-2016-hype-cycle-for-emerging-technologies-identifies-three-key-trends-that-organizations-must-track-to-gain-competitive-advantage>
- Gartner (2017). Top Trends In The Gartner Hype Cycle For Emerging Technologies 2017. Retrieved March 23, 2023, from <https://www.gartner.com/smarterwith-gartner/top-trends-in-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2017>
- GlobalData Techology (2020). History of virtual reality: Timeline. *Verdict*. <https://www.verdict.co.uk/history-virtual-reality-timeline/>

- Hall, L. (2020). *Living the Future: The Technological Family and the Connected Home*. Project Report. University of Sunderland. <https://sure.sunderland.ac.uk/id/eprint/12361/>
- Hibbard, P. B., van Dam, L. C. J., & Scarfe, P. (2021). The Implications of Interpupillary Distance Variability for Virtual Reality. *2020 International Conference on 3D Immersion*. <https://doi.org/10.1109/IC3D51119.2020.9376369>
- Indeed. (2022). 9 Software Platforms People Use Every Day. Indeed Career Guide. Retrieved April 8, 2023, from <https://www.indeed.com/career-advice/career-development/types-of-software-platforms>
- Kartick, P., Quevedo, A. J. U., & Gualdrón, D. R. (2020). Design of Virtual Reality Reach and Grasp Modes Factoring Upper Limb Ergonomics. *2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*. <https://doi.org/10.1109/VRW50115.2020.00250>
- Liszio, S., & Masuch, M. (2016). Lost in open worlds. Proceedings of the 13th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology. <http://dx.doi.org/10.1145/3001773.3001794>
- Lutkevich, B. (2023). virtual reality gaming (VR gaming). *TechTarget*. <https://www.techtarget.com/whatis/definition/virtual-reality-gaming-VR-gaming>
- McCarthy, N. (2019). Infographic: Familiarity With VR Increases But Cost Remains A Hurdle. Statista. <https://www.statista.com/chart/17482/share-of-americans-familiar-with-vr-and-perceived-barriers-to-adoption/>
- Miehlbradt, J., Cuturi, L., Zanchi, S., Gori, M. & Micera, S. (2021). Immersive virtual reality interferes with default head–trunk coordination strategies in young children. *Scientific Reports*, *11*(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96866-8>
- Mifsud, J. (2015). Usability Metrics - A Guide To Quantify The Usability Of Any System - Usability Geek. UsabilityGeek. <https://usabilitygeek.com/usability-metrics-a-guide-to-quantify-system-usability/>
- Moore, B. (2020). Valve Index Review. Pcgamer. <https://www.pcgamer.com/valve-index-review/>
- Murtza, R., Monroe, S., & Youmans, R. J. (2017). Heuristic evaluation for virtual reality systems. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, *61*(1), 2067–2071. <https://doi.org/10.1177/1541931213602000>

- Nielsen, J. (2012) Usability 101: Introduction to usability. Nielsen Norman Group. Retrieved March 23, 2023, from <https://www.nngroup.com/articles/usability-101-introduction-to-usability/>
- Norman, D. (2013). *The design of everyday things (Rev. and exp. ed.)* MIT Press.
- OED (2023a). Oxford English Dictionary: Controller. Oxford University Press.
<https://www.oed.com/view/Entry/40567>
- OED (2023b). Oxford English Dictionary: Virtual Reality. Oxford University Press.
<https://www.oed.com/view/Entry/328583>
- Porcino, T., Rodrigues, E. O., Bernardini, F., Trevisan, D., & Clua, E. (2022). Identifying cybersickness causes in virtual reality games using symbolic machine learning algorithms. *Entertainment Computing*, 41, 100473.
<https://doi.org/10.1016/j.entcom.2021.100473>
- Rebenitsch, L. (2015). Managing cybersickness in virtual reality. *XRDS: Crossroads, The ACM Magazine for Students*, 22(1), 46–51. <https://doi.org/10.1145/2810054>
- Sevinc, V., & Berkman, M. I. (2020). Psychometric evaluation of Simulator Sickness Questionnaire and its variants as a measure of cybersickness in consumer virtual environments. *Applied Ergonomics*, 82, 102958.
<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.102958>
- Shelstad, W. J., Smith, D. C., & Chaparro, B. S. (2017). Gaming on the Rift: How Virtual Reality Affects Game User Satisfaction. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 61(1), 2072–2076.
<https://doi.org/10.1177/1541931213602001>
- Stein, S., & Lanxon, A. (2023, March 18). *The 41 Best VR Games*. CNET. Retrieved May 5, 2023 from <https://www.cnet.com/pictures/best-vr-games>
- Sutcliffe, A., & Gault, B. (2004). Heuristic evaluation of virtual reality applications. *Interacting with Computers*, 16(4), 831–849.
<https://doi.org/10.1016/j.intcom.2004.05.001>
- Verma, P., Kumar, R., Tuteja, J., & Gupta, N. (2021). Systematic review of virtual reality and its challenges. *2021 Third International Conference on Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile Networks (ICICV)*.
<http://dx.doi.org/10.1109/icicv50876.2021.9388631>
- Virtual Reality Society. (2017). What is virtual reality gaming? Retrieved April 2, 2023, from <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality-games/what-is-vr-gaming.html>

- Wang, J., Shi, R., Xiao, Z., Qin, X., & Liang, H.-N. (2022). Resolution tradeoff in gameplay experience, performance, and simulator sickness in virtual reality games. 2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW). <http://dx.doi.org/10.1109/vrw55335.2022.00122>
- Yildirim, C. (2019). Don't make me sick: investigating the incidence of cybersickness in commercial virtual reality headsets. *Virtual Reality*, 24(2), 231–239. <https://doi.org/10.1007/s10055-019-00401-0>