

Totti Lindgren

VR- JA AR-TEKNOLOGIOIDEN SOVELTUVUUS OPETUKSEEN

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tarkastaja: Mikko Salmenperä
Joulukuu 2023

TIIVISTELMÄ

Totti Lindgren: VR- ja AR-teknologioiden soveltuvuus opetukseen
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Automaatiotekniikka
Joulukuu 2023

Parhaan mahdollisen opetuksen takaamiseksi koulujen kannattaa hyödyntää kaikkia mahdollisia työkaluja. Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on selvittää sopivatko VR (eng. virtual reality) ja AR (eng. augmented reality) opetuksen työkaluiksi. Virtuaalinen todellisuus ja lisätty todellisuus ovat nopeasti kehittyviä teknologioita, joiden saatavuus kasvaa jatkuvasti. Tutkielmassa tarkastellaan mitä VR ja AR ovat, sekä tutkitaan niiden käyttömahdollisuuksia opetusvälineinä nyt ja lähitulevaisuudessa. Työ toteutetaan kirjallisuusselvityksenä. Toteutetussa tutkielmassa on käytetty pääosin vertaisarvioituja materiaaleja.

Aihetta tutkittiin etsimällä tutkimuksia ja aineistoa liittyen eri oppimisympäristöissä suoritettuihin testeihin VR- ja AR-laitteistoilla. Työssä käydään ensin läpi VR ja AR käsitteet ja niihin liittyvät laitteistot. Tämän jälkeen käydään läpi tutkimuksia siitä, miten molempia teknologioita on yritetty hyödyntää, ja mitkä ovat olleet tulokset. Lisäksi selvitetään erilaisia mahdollisia esteitä ja haittavaikutuksia laitteiden käytöstä. Lopuksi analysoidaan, että onko tulosten perusteella pohjaa yrittää hyödyntää näitä teknologioita koulutuksessa. Pohditaan myös mahdollisia ratkaisuja ongelmiin ja teknologian kehittymistä.

Tulosten perusteella sekä VR että AR ovat varteenotettavia työkaluja hyödyntää perinteisten opetusvälineiden ohella. Teknologioiden mahdollistama interaktiivinen kanssakäyminen erilaisten ympäristöjen ja mallien kanssa on käyttäjille hyödyllistä. Opiskelijoiden mielipiteet näiden laitteiden käytöstä ovat olleet valtaosin positiivisia. Parhaaksi VR-ratkaisuksi opetusvälineenä voidaan nähdä HMD (eng. Head Mounted Display). Puolestaan paras AR-ratkaisu on hyödyntää erilaisia älypuhelimilla toimivia AR-sovelluksia. Johtopäätöksinä saatiin lisäksi, että teknologioiden käyttöä on suunniteltava hyvin ja valvottava tarkasti. HMD-laitteiden käytöstä ei ole tarpeeksi tutkimusta, jotta voitaisiin olla varmoja kaikista haittavaikutuksista.

Avainsanat: opetus, virtuaalinen todellisuus, lisätty todellisuus, VR, AR, HMD

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Lähtökohta	1
1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus	2
1.3 Tutkimusmenetelmä ja rakenne	2
2. TUTKITTAVAT TEKNOLOGIAT	3
2.1 VR-teknologia	3
2.2 AR-teknologia	4
3. TEKNOLOGIOIDEN HYÖDYNTÄMINEN OPETUKSESSA	6
3.1 Lähdekritiikki	6
3.2 VR opetusvälineenä	6
3.3 AR opetusvälineenä	8
3.4 Eettisyys	10
4. ANALYYSI	11
4.1 VR	11
4.2 AR	11
4.3 Saatavuus	12
4.4 Teknologioiden tulevaisuus	13
5. YHTEENVETO	15
5.1 Johtopäätökset	15
5.2 Jatkotutkimuskysymykset	16
5.3 Arviointi	16
LÄHTEET	18

LYHENTEET JA MERKINNÄT

AR	Augmented Reality, Lisätty todellisuus
CAVE	Cave Automated Virtual Environment
et al.	lat. et alii tai et aliae, ja muut
HMD	Head Mounted Display,
VR	Virtual Reality, Virtuaalinen todellisuus
2D	2-dimentional, kaksiulotteinen
3D	3-dimentional, kolmiulotteinen

1. JOHDANTO

1.1 Lähtökohta

Vuonna 1999 eniten lippuluukuilla tuottanut elokuva maailmassa oli The Matrix. Kyseisessä elokuvassa päähenkilö Neo saa selville, että koko ihmiskunta elää virtuaalisessa todellisuudessa tietämättään. Samana vuonna maailman johtava VR (Virtual Reality) tutkimusyriitys VPL Research joutui vararikkoon [1, s. 2]. The Matrix oli siis 1990-luvun elokuvissa kävijöille täyttä tieteisfiktiota ja virtuaalisten maailmojen tulevaisuus vaikutti synkältä. Nyt 2020-luvulla VR-laitteita on myynnissä tavaratalojen hyllyillä, ja ihmiset voivat kotonaan katsoa VR-elokuvia tai pelata VR-videopelejä. VR teki siis läpimurtonsa huolimatta siitä, että The Matrix kuvasi teknologian mahdollistamia teoreettisia uhkia.

VR on siis yleisesti tunnettu ja käytössä, mutta miten on AR-teknologian (Augmented Reality) laita? Vuoden 2016 kesällä tapahtui erikoinen ilmiö, kun sekä nuoret että vanhat juoksivat ulkoilmassa metsästävässä virtuaalisia lemmikkejä. Kyseessä oli älylaitteilla pelattava AR-peli Pokémon Go. Vaikka oletettavasti VR on tunnetumpi käsitteenä, niin AR-teknologia on ollut osana populaarikulttuuria ja jokapäiväistä elämää jo vuosia.

Virtuaalitodellisuus ja lisätty todellisuus ovat molemmat kasvattaneet käyttäjäkuntaansa kiihtyvästi viime vuosina uusien halvempien laitteiden ansiosta. 1990-luvulla VR-laitteisto maksoi arviolta \$10,000 [1, s. 2]. Nykyään, jos haluaa ostaa VR-lasit, voi PC-käyttöön sellaiset saada vuonna 2023 alle tuhannella eurolla. Hintataso on siis merkittävästi kulluttajaystävällisempi kuin 30 vuotta sitten.

Mutta pystyykö näitä teknologioita hyödyntämään eri koulutuksissa? Tämän kysymyksen takia monet oppilaitokset seuraavat tarkasti teknologioiden kehitystä ja uusien laitteiden julkaisuja. Opintojen interaktiivisuus kuulostaa asialta, jolla mahdollisesti olisi positiivisia vaikutuksia. Jos erilaiset todellisuuden muokkaajat saadaan valjastettua opetuskäyttöön, voi se mahdollisesti aiheuttaa tehokkuuden lisääntymistä oppimisprosessissa.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus

Aihe tähän kandidaatintyöhön on saatu Tampereen yliopistolta. Tavoitteena on selvittää, mikä on VR- ja AR-teknologioiden tämänhetkinen soveltuvuus erilaisiin koulutuksiin kolmannen asteen opiskelussa. Tekniikan alan opinnot ja kurssit ovat oletettu käyttökohde. Tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

- Mitä ovat VR ja AR?
- Miten näitä voi koulutuksessa hyödyntää tai on hyödynnetty?
- Minkälainen laitteisto soveltuu opetukseen?
- Millainen on kehitys lähitulevaisuudessa?

Kysymykset käsittelevät laitteistoa ja tutkimuksia laitteiston käytöstä koulutuksissa. Työ sisältää VR:n ja AR:n molemmat, sillä näiden molempien teknologioiden tarkoitus on lisätä jotakin ihmisen todellisuuteen hyödyntämällä eri aisteja.

1.3 Tutkimusmenetelmä ja rakenne

Tämä tutkielma on kirjallisuusselvitys. Yleisesti kirjallisuusselvityksessä on tarkoituksena tutkia jotakin tiettyä asiaa hyödyntäen akateemisia lähteitä. Tutkimuksessa on kerätty lähdeaineistoa vertaisarvioituista artikkeleista ja aiheeseen liittyvistä kirjoista. Lähteitä on pyritty keräämään eri koulutusaloilta, jotta saataisiin laaja kuva laitteiden hyödyistä eri tilanteissa.

Toisessa luvussa on tarkoituksena esitellä lukijalle VR- ja AR-teknologiat. Luvussa kerrotaan mitä ovat VR ja AR, ja miksi ne voisivat sopia opetuskäyttöön. Tarkoituksena on antaa ymmärrys molemmista teknologioista, niihin liittyvistä käsitteistä ja laitteista, jotta voidaan käsitellä niiden hyödyntämistä myöhemmissä luvuissa.

Kolmannessa luvussa käsitellään tutkimusmateriaaleja: missä näitä laitteistoja on kehitetty jo hyödyntää ja mikä oli kokeilujen lopputulos. Lisäksi tutkitaan, millaiset ohjelmistot olisivat soveliaita tähän käyttötarkoitukseen. Neljännen luvun tarkoituksena on käydä läpi aineistosta kerätyt tiedot ja luoda niiden avulla kuva mahdollisuudesta sisällyttää nämä ratkaisut opetukseen. Luvussa tutkitaan myös, mitkä ovat lähitulevaisuuden mahdollisuudet alalla.

Viidennessä ja viimeisessä luvussa tarkastellaan kaikkea kerättyä informaatiota ja vedetään lopulliset johtopäätökset. Tarkoituksena on saada vastaus kaikkiin tavoitteissa esitettyihin kysymyksiin. Arvioidaan lisäksi, kuinka hyvin kandidaatintyön tavoitteisiin päästiin.

2. TUTKITTAVAT TEKNOLOGIAT

2.1 VR-teknologia

VR eli virtuaalitodellisuus pyrkii luomaan ihmiselle tietokoneavusteisen kokemuksen hyödyntäen ihmisten näkö-, ääni-, liike- ja hajuaisteja. Tällainen monen aistin stimuloiminen antaa VR-laitteistolle edun muihin visuaalisiin medioihin verrattuna. Kirjassa *Maynard's Industrial Engineering Handbook* kirjailija K. B. Zandin ennustaa, ettei ehkä ole mitään muuta tieteenalaa, jolla olisi yhtä iso potentiaali muuttaa päivittäisiä toimintatapoja [2]. Yleisin VR-ratkaisu on HMD (Head-mounted display) eli niin sanotut VR-lasit, joilla stimuloidaan pääsääntöisesti näkö- ja kuuloaisteja. Useisiin VR-laseihin kuuluvat myös ohjaimet, joilla saadaan käyttäjän liike mukaan kokemukseen.

L. Jiang kertoo, että VR-teknologia on kollektiivinen termi, joka viittaa moniin erilaisiin teknologioihin. Esimerkiksi tuntemuspohjaiset teknologiat, useammat näytöt, verkkoteknologia, äänentunnistus, stereoääni ja datakommunikaatio ovat kaikki VR-sateenvarjon alla. [3]

Teknologia sai alkunsa 1900-luvulla. VR:ää käytettiin ensimmäiseksi tekoälytutkimuksessa ja viihdealalla. Ensimmäisten VR-ratkaisuiden kehitys johti nykypäivän simulaattoreihin ja etenkin lentosimulaattoreihin, joilla koulutetaan pilotteja lentämään koneita. Ensimmäisen lentosimulaattorin kehitti Edward Link vuonna 1929. Viihdeteollisuudessa yritettiin luoda erilaisia kokemuksia ihmisille hyödyntämällä tätä uutta teknologiaa. Nykyään VR-teknologiaa hyödynnetään esimerkiksi mallinnuksessa, lääketeollisuudessa, elokuvateollisuudessa ja videopeleissä. Erilaisten haastavien ja resursseja kuluttavien tehtävien simulointi virtuaalisessa ympäristössä on VR-teknologian parhaita puolia. [4]

Videopeliteollisuudessa teknologiaa kehitetään koko ajan todenmukaisemmaksi, jotta saataisiin realistisempia pelikokemuksia pelaajille. Tästä syystä VR teknologiaa markkinoidaan usein eniten peliteknologiana. Kuvassa 1 on peliyhtiö Valven kehittämät ja julkaisemat Valve Index VR-lasit.



Kuva 1. Valve Index [5]

VR-tekniikan tulevaisuus on mielenkiintoinen, sillä kiihtyvän kehityksen ansiosta tietokoneet nopeutuvat ja informaatiotekniikka kehittyy jatkuvasti. Ihmisille halutaan luoda varsinkin enemmän realistisempia viihde-elämyksiä. Tulevaisuuden laitteistot mahdollistavat entistä tehokkaampia ja uskottavampia VR-kokemuksia [4]. Kun teknologia kehittyy, myös laitteistojen hinnat laskevat. Siksi VR laitteistojen hyödyntäminen tulevaisuudessa suuremmassa skaalassa on mahdollista pienemmillä investoinneilla.

2.2 AR-tekniikka

AR:n eli lisätyn todellisuuden tarkoituksena on tehostaa käyttäjän ympäristöä lisäämällä virtuaalisia elementtejä. VR:ään verrattuna AR eroaa siten, että VR luo kokonaan uuden virtuaalisen ympäristön, kun taas AR-tekniikalla lisätään oikeaan todellisuuteen komponentteja. AR on sekoitus todellisuutta ja tietokoneavusteisia lisäyksiä.

Termi lisätystä todellisuudesta otettiin käyttöön vuonna 1990. Lentokone tutkija Tom Caddell keksi kyseisen termin [5]. Samalla tavalla kuin virtuaalisen todellisuuden kanssa, ensimmäiset läpimurrot alalla tehtiin, kun yritettiin hyödyntää tekniikkaa armeijan tarpeisiin.

Verrattuna VR-laitteisiin, AR-laitteet ovat yksinkertaisempia, sillä laitteen ei tarvitse luoda käyttäjälle todellisuutta kokonaan alusta asti. Kuten maailman suosituin AR-sovellus Pokémon Go tai sosiaalisen median palvelu Snapchat osoittavat; esimerkiksi älypuhelin voi toimia AR-laitteena erinomaisesti [5]. Käyttämällä puhelimen kameraa ja erilaisia filtereitä, voidaan luoda interaktiivisia malleja käyttäjän tutkittavaksi. AR-lasit, joilla on tarkoitus integroida tietokoneavusteiset lisäykset vaivattomasti, ovat pienikokoisempia ja ergonomisempia kuin monet VR HMD:t. Kuvassa 2 on Microsoftin HoloLens 2 AR-lasit [6].



Kuva 2. HoloLens 2 [6]

Verrattuna virtuaalitodellisuuteen, lisätty todellisuus on yleisesti katsottuna helpompi toteuttaa. Laitteistoa on yleensä vähän ja teknologia osaa usein sopeutua erilaisiin ympäristöihin. Kun jääkiekko-ottelussa analyttikko piirtää pelin aikana ruutuun nuolia esittääkseen pelaajien liikkeitä, on kyseessä AR-teknologian hyödyntäminen. Lisättyä todellisuutta on myös se, että ottelussa on graafinen pistetilanteen kuvaaja katsojia varten [5]. Lisätty todellisuus on jo isona osana päivittäistä elämää. Suurin osa ihmisistä omistaa älypuhelimien, jota voi hyödyntää AR-laitteena, vaikka käyttämällä filteriä kamerassa.

3. TEKNOLOGIOIDEN HYÖDYNTÄMINEN OPE- TUKSESSA

3.1 Lähdekritiikki

Tutkimuksen eheyden säilyttämisen vuoksi lähteet on rajattu vertaisarvioituihin artikkeleihin, tutkimuksiin ja kirjoihin. Sponsoroituja artikkeleita ja yritysten lausuntoja on tietoisesti yritetty välttää, jotta kirjoitusten rahallinen hyöty ei olisi tekijä. Alkuperäinen idea tutkimukselle oli keskittyä tekniikan alan koulutuslaitoksiin, joissa olisi tutkimusta suoritettu. Tällaisten lähteiden puutteellisuuden vuoksi aihe muuttui tutkimuksen aikana ja käsittelee nyt koko konseptia siitä, että soveltuvatko VR- ja AR-tekniikat koulutusympäristöihin.

3.2 VR opetusvälineenä

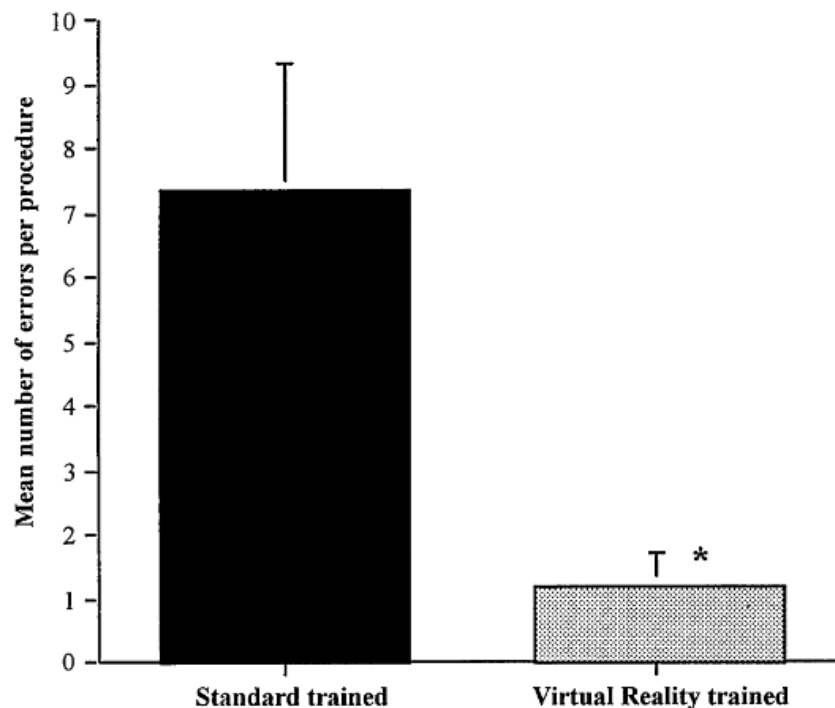
Jiang esittää artikkelissaan [3], että ensimmäisenä VR-tekniikan käyttöönotossa täytyy ottaa huomioon ympäristön rakentaminen. Ympäristö koostuu laitteistoista ja ohjelmistoista. Yleisin VR ympäristö koostuu VR-laseista, ohjaimesta ja tietokoneesta. Osien määrä täytyy pitää mahdollisimman pienenä, kun otetaan huomioon koulutuslaitosten rajalliset resurssit. Ohjaimena voi toimia myös älypuhelin, jossa on Bluetooth-ominaisuus.

A.V. Ivanova kertoo muista laitteisto vaihtoehdoista. Älypuhelin hyödyttävä päähine, kuten Samsung Gear VR tai Google Cardboard, vaatii vähemmän resursseja, mutta myös tarjoaa vähemmän tehoa. Markkinoilta löytyy myös HMD-laitteita, jotka eivät tarvitse toimiakseen tietokonetta, ja kuvan prosessointi tapahtuu kypärään sisäänrakennetuilla komponenteilla. [7]

Näiden laitteiden lisäksi Cave Automatic Virtual Environment (CAVE) on yksi VR-ratkaisu, jota on testattu opetuskäyttöön. T. T. de Back et al. kertovat tutkimuksestaan CAVE-systeemistä ja sen hyödyistä opiskeluvälineenä verrattuna perinteiseen tekstikirjaan. CAVE on huone, jonka tarkoituksena luoda käyttäjälle virtuaalitodellisuus kokemus hyödyntämällä huoneen seinille sijoitettuja näyttöjä tai projektioita [8]. Investointina CAVE on riski, sillä laitteelle pitää olla varattu oma tila, laitetta voi käyttää vain rajallinen määrä käyttäjiä yhtä aikaa ja vaadittavat oheislaitteet voivat olla kalliita. Kuitenkin de Back et al. esittävät tutkimuksessaan, että CAVE-systeemin käyttämisellä opiskeluvälineenä oli valtava hyöty verrattuna tekstikirjaan [8]. M. Limniou et al. kertovat, kuinka

CAVE-teknologiaa on hyödynnetty kemian opinnoissa [9]. Tutkimuksessa seurattiin, ymmärsivätkö opiskelijat paremmin molekyylien rakenteita osallistuttuaan opetukseen, jossa hyödynnettiin 3D-animaatioita CAVE-ympäristössä. Tulosten mukaan CAVE-ympäristön käyttö auttoi osallistujia ymmärtämään molekyylien rakenteita ja muutoksia paremmin, verrattuna siihen, että he olisivat opiskelleet käyttäen 2D-animaatioita tietokoneelta. Hyödyt CAVE-ympäristöistä vaikuttavat olevan, että opiskelijat saavat konkreettisemmän käsitteen rakenteista, muodoista ja asiayhteyksistä.

Jotta teknologiaa voi hyödyntää opiskeluvälineenä, täytyy sen luomat virtuaaliset ympäristöt olla verrattavissa oikean elämän tilanteisiin. Vuonna 2007 artikkelissaan, N. Seymour kertoi tutkimuksesta, jossa verrattiin kirurgien tuloksia testeistä. Näissä testeissä verrattiin kirurgeja, joista osa oli ja osa eivät olleet harjoitelleet hyödyntäen VR-teknologiaa. [10] Kuvassa 3 on pylväsdiagrammi, joka kuvaa eroja tehtyjen virheiden määrässä osallistuneiden kirurgien välillä.



Kuva 3. Kirurgien virheiden määrien keskiarvot [10]

Näiden tulosten mukaan kyvyt, jotka on opittu VR-ympäristössä siirtyvät käytännön taidoiksi. Tässä täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että tutkimukseen osallistujat oli satunnaisesti jaettu VR:n käyttäjiin ja vertailuryhmiin. Näiden vertailuryhmien erityispiirteet

saattavat vaikuttaa huomattavasti tuloksiin. [10] Tämän testin ikä on myös otettava huomioon, sillä teknologia on kehittynyt huomattavasti viime vuosina.

J. -A. Nguyen et al. kirjoittavat uudemmasta tutkimuksesta. Tutkimuksen tarkoituksena oli arvioida VR:n tehokkuutta anatomian opinnoissa. Opiskelijoille tarjottiin HMD-laitteet ja tarvittavat ohjeistukset niiden käyttöön. Tulokset kerättiin suorittamalla kyselyitä, joihin opiskelijat vastasivat kokemuksensa perusteella, miten hyvä heidän VR-kokemuksensa oli. Osallistujista enimmistä oli sitä mieltä, että VR:n käyttö oli yleisesti positiivinen kokemus. [11]

Ongelma VR-teknologian hyödyntämisessä tilanteissa, joissa on monta osallistujaa, on käytöstä johtuva mahdollinen matkapahoinvointi. A. Bredikhin et al. kertovat artikkelissaan testistä, jossa he kutsuivat 50 osallistujaa testaamaan HMD:n aiheuttamaa matkapahoinvointia ja mahdollisia tapoja vastustaa sitä. Käyttäjän huono olo syntyy ristiriidoista ihmisen aistien ja VR-laitteen antamien stimulointien välillä. Se voi aiheuttaa pahoinvointia, oksentamista, kylmää hikeä, päänsärkyä, huimaamista, haukottelua, kuoilaamista, ruokahalun menetystä ja väsymystä. Noin 5–15 prosenttia aikuisista ihmisistä kärsii matkapahoinvoinnista jollakin tavalla, ja VR voi aiheuttaa matkapahoinvoinnin oireita jopa 25–40 prosentille ihmisistä. 25 edellä mainittuun tutkimukseen osallistuneista kärsi matkapahoinvoinnin oireista testien aikana. [12]

3.3 AR opetusvälineenä

AR-teknologiaa on jo hyödynnetty eri koulutusaloilla. K. Lee kirjoittaa, että erilaisia AR-ratkaisuja on testattu ainakin astronomian, kemian, biologian, matematiikan ja fysiikan aloilla [13]. Teknologiaa on helppo hyödyntää minimaalisella määrällä laitteita, joten se on helppo lisätä osaksi suurempia kokonaisuuksia. Lee toteaa, että hyvin todennäköisesti AR voi tehdä oppimisympäristöistä tuottoisampia, mukavampia ja interaktiivisempia kuin ennen. [13]

V. M. Herbert et al. kertovat vuoden 2021 artikkelissaan tutkimuksesta, jossa he testasivat, oliko osallistujista mieluisampaa käyttää oppimismateriaalina AR-sovellusta vai videota, jotka kuvaavat sydämen pysähtymistä. Opiskelijoiden vastaukset olivat selvästi sovelluksen kannalla. Oppimistyylejä on opiskelijoilla monia ja AR-sovelluksen tarjoaman aktiivinen osallistuminen ja interaktiiviset tehtävät auttavat kattamaan laajemman määrän tyylejä [14]. Interaktiivinen malli oli siis parempi ratkaisu perinteisen oppimateriaalin sijasta tässä tapauksessa. AR-ratkaisujen vahvuutena on myös, että opiskelija ei tarvitse välttämättä kuin oman älypuhelimensa tällaisen ohjelman käyttämiseen.

Teknillisellä alalla teknologiaa on testattu rakennetekniikan opinnoissa. Artikkelissaan Y. Turkan et al. kirjoittavat vuonna 2017 työstä, jossa tutkittiin interaktiivisten 3D-mallien hyödyntämistä rakenneanalyysin opinnoissa. Vaikka rakenneanalyysi on tärkeä osa rakennetekniikan ja arkkitehtuurin opintoja, ei suurella osalla opiskelijoista ollut ymmärrystä monista aiheen käsitteistä. Tämän ongelman ratkaisemiseksi yritettiin hyödyntää iOS-tableteille kehitettyä AR-sovellusta, jossa opiskelijat saivat interaktiivisia malleja oppimateriaaleiksi. Työstä ei kuitenkaan saatu odotettuja tuloksia ja suoritettujen kyselyjen perusteella tuloksilla ei ollut merkittävää vaikutusta, kun verrataan tekstikirjan avulla opiskeluun. [15]

Turkan et al. esittävät, että vaikka heidän analyysisiinsa ei paljastanut suuria eroja vaikutuksissa, saatiin kuitenkin selville kolme tärkeää asiaa. Ensimmäiseksi 3D malleja AR-sovelluksessa voi käyttää rakenneanalyysissä kameran perspektiivistä kuvakulmista huolimatta. Toiseksi interaktiivinen sovellus, joka antaa välitöntä palautetta käyttäjälle, ei tarjoa tarvittavia ohjeita, jotta kaikkien opiskelijoiden tarpeet täytyisivät. Kolmanneksi vastausten mukaan opiskelijat kokivat AR-teknologian hyödylliseksi opiskelutyökaluksi [15]. Teknologia voi siis potentiaalisesti saada tuloksia aikaan, mutta käytettyä ohjelmistoa täytyy vielä kehittää.

Kirjassa *Augmented Reality in Educational Settings* esitetään neljä hyötyä AR teknologian käyttämisestä oppimistilanteissa: ”1. Se auttaa opiskelijoita kanssakäymään autenttisten oikean maailman tilanteiden kanssa, 2. Se mahdollistaa tapahtumien huomioinnin, joita ei paljaalla silmällä näkisi, virtuaalisilla elementeillä oikeiden asioiden rinnalla, 3. Se lisää opiskelijoiden motivaatiota ja kehittää heidän tutkimuskykyjään, 4. Se kehittää prosessointi kykyjä (mm. kriittinen ajattelu, ongelmanratkaisu ja kommunikaatio kykyjä) luomalla hybridi ympäristön, joka yhdistää digitaalisia ja fyysisiä elementtejä” [16, s. xxix]. Nämä hyödyt kuvaavat AR-teknologian käytön hyvin suotuisana vaihtoehtona kursseille, joissa on tarkoituksenaan opettaa ammatteihin liittyviä laitteistoja ja ympäristöjä.

AR-lasien käytölle on mahdollinen riski. R. W. Malkin et al. suorittivat tutkimuksen, jossa testattiin aiheuttaako pitkäaikainen AR HMD-laitteen käyttö lihasaktiiviteettia ja räsitusta silmille [17]. Testi suoritettiin seuraamalla palvelutyöntekijöitä, jotka käyttivät Microsoft HoloLens -laitetta työpäivänsä ajan. Tulosten keräys tapahtui mittaamalla niskalihasten sähkösignaaleja ja silmien räpäytysten määrää. Työntekijöiden silmän räpäytysten määrä lisääntyi testiaikana kolmella räpäytyksellä minuutissa. Laitteiden käyttö voi siis mahdollisesti aiheuttaa silmien räsitusta. Aihe vaatii lisää tutkimusta.

3.4 Eettisyys

Kirjassaan *The Ethics of Virtual and Augmented Reality: Building Worlds*, kirjailija Erick J. Ramirez kertoo eettisistä ongelmista, jotka koskevat VR ja AR-teknologioita ja esittää ohjeiston teknologioiden eettiseen käyttöön [18, s. 141]. Koulutuslaitosten täytyy ottaa huomioon käyttämiensä teknologioiden eettinen käyttö. Esimerkiksi Tampereen yliopisto on sitoutunut noudattamaan eettistä opetusta ja opetusympäristöä ohjeessaan *Tampereen yliopiston opiskelun eettiset ohjeet ja niiden rikkomusten käsittely* [19].

Ramirez esittää, että simulaatioiden pitäisi olla vain niin realistisia kuin on tarve. Käyttäjien pitää pystyä erottamaan todellisuus simulaatiosta. Sovellukset pitäisi myös suunnitella niin, että ne vaativat mahdollisimman vähän pitkäaikaista käyttöä. Jos sovelluksen tarkoituksena on muuttaa käyttäjän toimintatapoja, on se ilmaistava selvästi käyttäjälle. Lisäksi sovelluksia, jotka sisältävät sosiaalisia VR- ja AR-elementtejä, täytyy seurata erityisen tarkasti eettisestä näkökulmasta [18, s.141]. Nämä asiat on otettava huomioon, kun suunnitellaan teknologioiden käyttöönottoa erilaisille kursseille.

Yksi asia, joka voi aiheuttaa eettisiä ongelmia on pitkäaikaisen käytön psykologiset vaikutukset käyttäjiin. M. Madary ja T. K. Metzinger kertovat, että tutkimukset liittyen VR teknologiaan on suoritettu lyhyillä sessioilla ja ei ole tarpeeksi aineistoa siitä, miten laitteet vaikuttavat pitkäaikaisessa käytössä [20]. Jos kurssin aikana joutuu hyödyntämään laitteistoa usein ja pitkään, voiko siitä syntyä opiskelijoille komplikaatioita? Madary ja Metzinger ehdottavat, että aihetta on tutkittava lisää. Esimerkiksi VR addiktio saattaa olla psykologinen haitta käyttäjille ja tästä syystä käytön täytyy olla varovaista ja kohtuullisissa määrin [20].

4. ANALYYSI

4.1 VR

Hyödyt VR-tekniikan käyttämisestä oppimisympäristössä ovat konkreettisia [7–12]. Jo 2007 Seymorin esittämien testien mukaan VR laitteisto hyödytti kirurgeja opiskelemaan ammattiympäristössä työskentelyä [10]. Näin 16 vuotta myöhemmin teknologia on kehittynyt huomattavasti.

Tekniikan alalla teknologiaa voi hyödyntää erilaisten interaktiivisten tehtävien avulla. Erilaisia simulaatioita, joissa opiskelijat voivat tutkia erilaisia opintoihin liittyviä virtuaalisia ympäristöjä ja työskennellä 3D-mallien kanssa. Näin voidaan opettaa asioita, joissa opiskelijan on hyödyllistä nähdä reaaliaikaisia muutoksia tai erilaisia näkökulmia. Myös laboratorio ympäristöjä voidaan osittain korvata hyödyntämällä simulaatioita. Näin koulutuslaitoksen ei tarvitse investoida kalliiden laboratorioiden rakentamiseen, joilla olisi vain muutama tietty käyttötarkoitus.

Paras ratkaisu VR tekniikan hyödyntämiseen opetustilanteissa on HMD. Ohjaimet auttavat lisäämällä interaktiivisuutta, mutta eivät ole välttämättömiä. CAVE-tekniikan hyödyntämiselle on tutkimusten perusteella pohjaa. Kuitenkin CAVE-käyttöympäristön luonnin resurssien hinta on kallis. Se vaatii oman tilansa ja paljon laitteistoa. Lisäksi käyttäjien määrä rajoittuu CAVE-ympäristön koon mukaan. HMD-laitteita hyödyntämällä käyttäjämäärä on teoreettisesti yhtä suuri kuin laitteiden määrä. Älypuhelin VR-ominaisuudet täytyy ottaa myös huomioon. Jos VR tehtävä vaatii vähemmän prosessointivoimaa, voi älypuhelin kypäriä hyödyntää.

VR:n käyttämisen kannalta on kaksi suurinta ongelmaa: laitteiston hinta ja käytöstä johtuva mahdollinen pahoinvointi. Hintojen lasku on ennustettavissa tekniikan kehityksen takia. Massamuotoisen hankinnan HMD-laitteita riskinä piilee, että niiden tuki saattaa loppua aikaisemmin kuin on käytännöllistä, uusien mallien takia.

Huomioon on otettava myös VR-laitteiden käytön aikatauluttaminen. Jotta opiskelijat eivät altistuisi liian pitkiin sessioihin, on käyttäminen suunniteltava ja valvottava ainakin osittain. Kun aihetta on tutkittu enemmän, saattaa tämä tarve mitätöityä.

4.2 AR

Tässä työssä esitellyt tutkimustulokset osoittavat, että AR-tekniikkaa on jo aikaisemmin sisällytetty opintoihin onnistuneesti. AR-tekniikan helppokäyttöisyys ja joustavuus

ovat sen vahvimmat puolet. AR on siis helpompi sisällyttää useampiin tilanteisiin, kuin verrattaessa vaativampi VR.

Kurssien helpoin tapa hyödyntää AR-teknologiaa on älypuhelin sovellukset. Erilaiset interaktiiviset AR-mallit auttavat kuvaamaan asioita kolmannessa ulottuvuudessa tarkemmin kuin vaihtoehtoiset materiaalit. 3D-mallien hyödyistä opiskelijoiden oppimiselle ei ole vielä täyttä varmuutta, mutta sovellukset kehittyvät jatkuvasti ja täyttävät erilaisten opiskelijoiden tarpeita paremmin ja paremmin. Paras tapa hyödyntää sovelluksia on käyttää niitä perinteisten opiskelu materiaalien rinnalla. Koska puhelinsovelluksia on helppo kehittää, niin niiden laatu ei ole aina taattu. On siis tutkittava mitkä sovellukset ovat soveliaimpia koulutukseen ennen niiden käyttöönottoa.

Työssä esitettyjen tulosten mukaan [13–16] AR-laitteiston soveltuvuus oppimisympäristöihin on suosittavaa. Enemmistö opiskelijoista pitää AR-sovelluksia hyödyllisinä työkaluina, joten pääsääntöiset käyttäjät ovat hyväksyneet teknologian.

Vaihtoehtona on myös hyödyntää toisenlaisia AR-ratkaisuja. Ennen esimerkiksi AR-lasien käyttöönottoa, täytyy niiden käyttöaikoja suunnitella tarkasti. Kuten luvussa 3.2 mainitussa tutkimuksessa [17] todettiin, saattaa lasien pitkäaikainen käyttö aiheuttaa ongelmia.

4.3 Saatavuus

Kurssien etänä suorittaminen on kehittynyt 2020-luvulla nopeasti koronapandemian takia. Teknologioiden käyttö etäolosuhteissa on aihe, josta saattaisi olla hyötyä suorittaa jatkotutkimusta. AR-teknologiaa on helpompi hyödyntää laitteiston saatavuuden takia, mutta VR-varusteita ei löydy jokaisesta taloudesta. Täytyy ottaa siis huomioon etäkursseja suunniteltaessa tällaiset rajoitteet.

Henkilöt, joiden aistit ovat joillain tavalla rajoittuneet, eivät voi hyödyntää näitä teknologioita ongelmitta. Molemmat teknologiat hyödyntävät visuaalisia komponentteja, joten näkövammaisten ihmisten on hankalampi hyödyntää laitteistoa. Myös kuulovammaiset ihmiset saattavat kokea laitteiston vaikeaksi käyttää, jos kokemukseen kuuluu ääni.

Jos laitteita hyödynnetään kursseilla, on opiskelijoille tarjottava myös vaihtoehtoinen suoritustapa. Huomioon täytyy myös ottaa mahdollisten AR-sovelluksien vaatimukset älypuhelimilta. Kaikki opiskelijat eivät välttämättä voi käyttää sovellusta, jos sovellus toimii vain tietyillä käyttöjärjestelmillä tai vaatii tehokkaan puhelimen. Opintojen suorittaminen on hankalaa, jos ei pysty opiskeluun käytettävien laitteiden takia.

4.4 Teknologioiden tulevaisuus

Kuten jo aikaisemmin on todettu, näiden teknologioiden kehitys ja yleinen käyttöönotto on mielenkiintoinen aihe seurata seuraavien vuosien aikana. Kun laitteistot ja sovellukset kehittyvät, saadaan ohjelmistoja, joita voidaan paremmin hyödyntää erilaisissa opetustilanteissa. L. Jensen ja F. Konradsen kertovat artikkelissaan siitä, että kaksi ongelmaa VR:n käyttöön liittyen ovat, että ei ole olemassa tarpeeksi opiskeluun tarkoitettua ohjelmisto ja nykyaikainen laitteisto on suunniteltu ensisijaisesti viihdekäyttöön. [21] Kun markkinat keittyvät, tämä muuttuu. Nykypäivän ongelmista saadaan suuri osa eliminoidua, kun saadaan laitteistoa ja sovelluksia, jotka on alusta asti suunniteltu opetuskäyttöön.

S. Kraus et al. kirjoittavat artikkelissaan [22], kuinka vuonna 2021 sosiaalinen media Facebook muutti nimensä Metaksi. Tämän nimen muutoksen ja yrityksen rakenteen muuttamisen tarkoituksena on luoda uusi aikakausi sosiaaliselle kanssakäymiselle virtuaalisessa maailmassa. Yksi tämän aikakauden luomisen työkalu on kuvassa 4 esitetty Metan oma Horizon Workrooms.



Kuva 4. *Horizon workrooms [23]*

Tätä virtuaalista työhuone kokemusta K. Abramczuk et al. ovat tutkineet. He testasivat VR työskentely tilojen potentiaalia. 18 työntekijää piti tutkimuksessa tapaamisia seitsemän viikon ajan. Viiden viikon ajan tapaamiset järjestettiin hyödyntämällä Horizon workrooms:ia. Tutkimuksesta selvisi, osallistujat kiinnittivät enemmän huomiota VR tapaamisissa ja olivat keskittyneempiä. He arvostivat mahdollisuutta esimerkiksi kehonkielen käyttöön kommunikointivälineenä. [24]

Abramczuk et al. kuitenkin toteavat, että teknologia vaatii vielä kehittämistä. HMD-laitteiden tulisi olla kevyempiä ja muokattavampia. Niiden käyttö oli tutkimukseen osallistujille rasittavaa pitkien sessioiden aikana. Ohjelmistoa pitää myös vielä kehittää olemaan joustavampi. Ilmeet, luonnolliset liikkeet ja yhteiset muistiinpano työkalut ovat tärkeitä kehityskohteita [24]. Jos nämä ongelmat saadaan ratkaistua, ehkä tällaisia työhuoneita voisi hyödyntää myös opiskeluympäristöissä.

2017 Ivanova esitti, että teknologian menestyminen on riippuvainen siitä, kuinka hyvin teknologia saadaan markkinoitua käyttäjille ja sijoittajille. Hän myös uskoi, että vuoteen 2020 mennessä suurin osa teknologian haittapuolista olisi saatu eliminoidua. [7] Vielä ei VR ja AR HMD-laitteita löydy jokaisesta taloudesta vuonna 2023. Koronapandemia hidastutti monilla aloilla kehitystä viime vuosina, mutta pikkuhiljaa lähestytään tilannetta, jossa näiden teknologioiden koko potentiaali saadaan valjastettua.

5. YHTEENVETO

5.1 Johtopäätökset

Tutkielman tarkoitus oli selvittää VR- ja AR-tekniologioiden soveltuvuudesta opetusympäristöihin. VR on kokonainen uusi maailma, jota käyttäjä voi itse muokata. AR lisää maailmaan lisää sisältöä digitaalisessa muodossa ja mahdollistaa ihmisten ohjauksen eri tilanteissa. Molemmilla tekniologioilla on tarjottavaa opiskelijoille ja opettajille. Interaktiivisuus lisää opiskelijoiden tuloksia ja motivaatiota. 3D-mallit antavat parempaa käsitystä erilaisista konsepteista käyttäjälle verrattuna perinteisiin opetuskeinoihin.

AR-tekniologian käyttöönotolle ei ole selviä haittoja, ja hyödyistä opiskeluihin on olemassa dataa. Paras vaihtoehto on lisätä esimerkiksi älypuhelimilla käytettäviä AR-sovelluksia osaksi opintosuunnitelmia, muiden perinteisempien työkalujen ohelle. Muiden AR-laitteiden hyödyntäminen saattaa kohdata samoja ongelmia kuin VR-laitteet. VR on hyödyllinen opetusväline, mutta sen käytölle on enemmän esteitä. Vaativampien VR-sovellusten käyttöä varten koulutuslaitosten täytyy investoida omistaakseen tarpeeksi tehokkaat laitteet. HMD-laitteiden käyttö voi aiheuttaa osalle käyttäjistä pahoinvointia, joka on otettava huomioon suunnitellessa tekniologian käyttöä. Myös laitteiden mahdollisesti aiheuttama silmien rasitus ja painosta johtuva rasittuminen on huomioitava.

Opetushenkilökunnan kannattaa ottaa jo kurssien suunnitteluvaiheissa huomioon, että haluavatko he hyödyntää näitä laitteita kursseillaan. Kurssien kuvauksissa voi mainita, jos laitteita käytetään ja opiskelijat, jotka eivät voi tai eivät halua hyödyntää laitteita, voivat välttää kurssia. Jos pakollisilla kursseilla kaavailaan näiden laitteiden käyttöä, olisi hyvä, jos osallistujille olisi vaihtoehtoinen toteutuskeino.

Lähitulevaisuudessa laitteiden hinnat tulevat laskemaan ja sovellusten laatu kehittyä. Opiskelijoiden tarpeita voidaan paremmin ottaa huomioon ja sovellukset pystyvät ohjaamaan ja opettamaan paremmin. Markkinoille saadaan enemmän laitteita, joiden pääsääntöinen käyttötarkoitus on opiskelu. Myös mahdolliset toimivat virtuaaliset työhuoneet voivat olla hyödyllisiä ryhmätyöskentelylle kursseilla.

Nämä tekniogat tulevat olemaan, ja ovat jo osittain, varteen otettavia vaihtoehtoja opiskelulle. Ne eivät tule syrjäyttämään kokonaan perinteisen oppimisen työkaluja, koska paras tapa on hyödyntää molempia oppimistapoja rinnakkain.

5.2 Jatkotutkimuskysymykset

Tämän tutkielman löydökset saattavat vaatia jatkotutkimuksia. Näistä teknologioista on suoritettu paljon tutkimusta, mutta tulokset saattava olla ristiriitaisia. Lisätutkimusta vaatii ainakin se, mitä seuraamuksia pitkäkestoisella laitteiden käytöllä voi olla. On tärkeää tietää, kuinka pitkän aikaa laitteita voi turvallisesti käyttää. Lisäksi laitteiden saatavuus tarvitsee myös tutkimusta; onko esimerkiksi ratkaisuja siihen, että jotkut henkilöt eivät pysty hyödyntämään näitä laitteita.

Mahdollinen lisätutkimuskohde on myös virtuaaliset etätyötilat ja niiden käyttö. Luvussa 4.4 mainitussa tutkimuksessa [24] testattiin Horizon workrooms:in käyttöä. Tässä tutkimuksessa oli vain 18 osallistujaa ja osa osallistujista oli tutkijoita itse. Laajempi muotoinen tutkimus näiden työtilojen hyödyntämisestä saattaisi antaa kuvaa siitä, miten hyvin niitä voisi hyödyntää opetuksessa.

VR- ja AR-laitteiden käytön tuloksista tarvitaan myös lisää dataa. VR-laitteille ei löytynyt montaa lähdettä, siitä kuinka paljon testeihin osallistujat hyötyivät teknologian käytöstä. AR-sovellusten tulokset olivat hieman ristiriitaisia. Tulokset eivät näyttäneet erityistä hyötyä AR:n hyödyntämisestä, mutta osallistujat kuitenkin kokivat sen hyödylliseksi ja positiiviseksi asiaksi.

5.3 Arviointi

Tämän tutkielman tutkimuskysymykset käsittelivät erilaisia kysymyksiä liittyen VR- ja AR-laitteiden mahdollisiin käyttötarkoituksiin opetuksessa. Tutkimuskysymykset saivat vastaukset tässä tutkielmassa tyydyttävästi ja teknologioiden soveltuvuuden pitäisi olla lukijalle selvä.

Tutkimuksen kannalta oli hyödyllistä tutkia näitä molempia teknologioita yhtä aikaa. Monissa lähteissä puhuttiin molemmista teknologioista. Monet asiat, jotka vaikuttivat toiseen teknologiaan, olivat myös tosi toisen kanssa.

Nopeasti kehittyvän teknologian takia yritin rajata lähteitä mahdollisimman uusiin julkaisuihin. Vanhin lähde on vuodelta 2007, ja kyseisen artikkelin [10] testin tulokset eivät todennäköisesti muuttuisi huonompaan suuntaan, jos sama suoritettaisiin uudemmalla teknologialla. Kaikki muut lähteet ovat tuoreempia.

Aineistoa tämän tutkimuksen suorittamiseksi oli runsaasti. Varsinkin 2020-luvulla on suoritettu monia aiheeseen liittyviä tutkimuksia ja tutkielmia. Jos tutkimusten julkaisu vauhti vain kiihtyy, saattaa tämäkin tutkielma olla pian vanhentunut. Lääketieteen aloilla näitä

asioita on varsinkin tutkittu runsaasti. Ratkaisu laajentaa tutkimusten perää pelkistä tekniikan aloilla tehdyistä laajemmin kaikkiin korkeaan kouluihin oli hyvä. Jos aihe olisi käsitelty pelkästään tekniikan alaa, olisi tutkielmasta tullut paljon suppeampi.

LÄHTEET

- [1] L. Evans. *The Re-Emergence of Virtual Reality*, Taylor & Francis Group, 2018. ProQuest Ebook Central, Saatavilla: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/tampere/detail.action?docID=5583421>.
- [2] K. B. Zandin. *Maynard's Industrial Engineering Handbook*, Fifth Edition. (McGRAW-HILL, 2001, 1992, 1971, 1963, 1956). Saatavilla: <https://www-access-engineeringlibrary-com.libproxy.tuni.fi/content/book/9780070411029/chapter/chapter7>
- [3] L. Jiang, *Virtual Reality Action Interactive Teaching Artificial Intelligence Education System*. Complexity (New York, N.Y.) 2021 (2021): 1–11. Saatavilla: <https://www.proquest.com/docview/2524023642?accountid=14242&parentSessionId=I1b6NyE3zqFX48cEdtt0HN9BoSBJiq2tDLdHAUOA290%3D&pq-origsite=primo>
- [4] H. Pope. Chapter 1. introduction to virtual and augmented reality. *Library Technology Reports*, 54(6), 2018, 5–7. Saatavilla: <https://lib-proxy.tuni.fi/login?url=https%3A%2F%2Fwww.proquest.com%2Fscholarly-journals%2Fchapter-1-introduction-virtual-augmented-reality%2Fdocview%2F2099872876%2Fse-2%3Faccountid%3D14242>
- [5] Valve-yhtiön virallinen Valve Index verkkosivusto. Saatavilla (21.11.2023): <https://www.valvesoftware.com/fi/index/headset>
- [6] Microsoft HoloLens 2. Saatavilla (22.11.2023): <https://www.microsoft.com/en-us/hololens>
- [7] A. V. Ivanova, VR & AR TECHNOLOGIES: OPPORTUNITIES AND APPLICATION OBSTACLES. *Strategičeskie rešeniâ i risk-menedžment (Online)* 3 (2018): 88–107. Saatavilla: https://www.jsdrm.ru/jour/article/view/787?locale=en_US#tab1
- [8] T. T. de Back, A. M. Tinga, P. Nguyen, M. M. Louwse, Benefits of Immersive Collaborative Learning in CAVE-Based Virtual Reality. *International Journal of Educational Technology in Higher Education* 17.1 (2020): 1–18. Saatavilla: <https://doi.org/10.1186/s41239-020-00228-9>
- [9] M. Limniou, D. Roberts, and N. Papadopoulos. "Full Immersive Virtual Environment CAVE in Chemistry Education." *Computers and education* 51.2 (2008): 584–593. Saatavilla: <https://doi-org.lib-proxy.tuni.fi/10.1016/j.compedu.2007.06.014>
- [10] N. Seymour, VR to OR: A Review of the Evidence That Virtual Reality Simulation Improves Operating Room Performance. *World journal of surgery* 32.2 (2007): 182–188. Saatavilla: <https://doi.org/10.1007/s00268-007-9307-9>
- [11] J. -A. Nguyen, S. Jo. R. Angeles, A. Richardson, S. Srivastava, Exploring Virtual Reality (VR) as an Anatomy Teaching Supplement. *The FASEB journal* 36.S1 (2022): n. pag. Saatavilla: <https://doi.org/10.1096/fasebj.2022.36.S1.L8004>

- [12] A. Bredikhin, M. Liulukin, E. Nikitina, D. Nikushchenko, A. Stiopin, Y. Mikhola-zhina, Diagnostics of Motion Sickness (Kinetosis) and Training of Resistance to It in VR Simulators. *Procedia computer science* 212 (2022): 254–263. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.11.009>
- [13] K. Lee, Augmented Reality in Education and Training. *TechTrends* 56.2 (2012): 13–21. Saatavilla: <https://doi.org/10.1007/s11528-012-0559-3>
- [14] V. M. Herbert, R. J. Perry, C. A. LeBlanc, K. N. Haase, R. R. Corey, N. A. Giudice, C. Howell, Developing a Smartphone App With Augmented Reality to Support Virtual Learning of Nursing Students on Heart Failure. *Clinical simulation in nursing* 54 (2021): 77–85. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.ecns.2021.02.003>
- [15] Y. Turkan, R. Radkowski, A. Karabulut-Ilgu, A. H. Behzadan, A. Chen, Mobile Augmented Reality for Teaching Structural Analysis. *Advanced engineering informatics* 34 (2017): 90–100. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2017.09.005>
- [16] T. Prodromou, ed. *Augmented Reality in Educational Settings*. Leiden Boston: Brill, 2020. Print.
- [17] R. W. Marklin, A M. Toll, E. H. Bauman, J. J. Simmins, J. F. LaDisa, R. Cooper, Do Head-Mounted Augmented Reality Devices Affect Muscle Activity and Eye Strain of Utility Workers Who Do Procedural Work? Studies of Operators and Manhole Workers. *Human factors* 64.2 (2022): 305–323. Saatavilla: <https://doi.org/10.1177/0018720820943710>
- [18] E. J. Ramirez, *The Ethics of Virtual and Augmented Reality: Building Worlds*. Milton: Taylor and Francis, 2022.
- [19] *Tampereen yliopiston opiskelun eettiset ohjeet ja niiden rikkomusten käsittely*. Tampereen yliopisto, Saatavilla: <https://www.tuni.fi/fi/opiskelijan-opas/kasikirja/uni/opiskelu-0/opiskelun-etiikka-0/opiskelun-eettiset-ohjeet-ja-niiden-rikkomusten-kasittely> . Viitattu 21.11.2023
- [20] M. Madary and T. K. Metzinger. Real Virtuality: A Code of Ethical Conduct. Recommendations for Good Scientific Practice and the Consumers of VR-Technology. *Frontiers in robotics and AI* 3 (2016): n. pag. Saatavilla: <https://doi.org/10.3389/frobt.2016.00003>
- [21] L. Jensen, and F. Konradsen, A Review of the Use of Virtual Reality Head-Mounted Displays in Education and Training. *Education and information technologies* 23.4 (2018): 1515–1529. Saatavilla: <https://doi.org/10.1007/s10639-017-9676-0>
- [22] S. Kraus, D. K. Kanbach, P. M. Krysta, M. M. Steinhoff, N. Tomini, Facebook and the Creation of the Metaverse: Radical Business Model Innovation or Incremental Transformation? *International journal of entrepreneurial behaviour & research* 28.9 (2022): 52–77. Saatavilla: <https://doi.org/10.1108/IJEER-12-2021-0984>
- [23] Meta Horizon Workrooms verkkosivusto. Saatavilla (22.11.2023): <https://workrooms.workplace.com/signup/>

- [24] K. Abramczuk, Z. Bohdanowicz, B. Muczyński, K. H. Skorupska, D. Cnotkowski, Meet Me in VR! Can VR Space Help Remote Teams Connect: A Seven-Week Study with Horizon Workrooms. *International journal of human-computer studies* 179 (2023): 103104-. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2023.103104>