

Maria Mattila

LAAJENNETTU TODELLISUUS OPETUKSESSA

Hyödyt ja mahdollisuudet opiskelijan näkökulmasta

Kandidaatintutkielma
Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Toukokuu 2023

TIIVISTELMÄ

Maria Mattila: Laajennettu todellisuus opetuksessa, hyödyt ja mahdollisuudet opiskelijan näkökulmasta

Kandidaatintutkielma

Tampereen Yliopisto

Tieto- ja sähkötekniikan kandidaattiohjelma

Toukokuu 2023

Laajennetun todellisuuden teknologiat (Extended Reality, XR), sisältäen virtuaalitodellisuuden (Virtual Reality, VR) ja lisätyn todellisuuden (Augmented Reality, AR), ovat yleistymässä opetuksessa, johon ne soveltuvat erinomaisesti. Kirjallisuuskatsauksen avulla selvitetään, mitkä ovat tällaisen teknologian tuomat hyödyt ja mahdollisuudet opiskelijoille ja kuinka merkittäviä kyseiset hyödyt ja mahdollisuudet ovat. Perehdytään myös siihen, kannattaisiko opetuksen olla kokonaan vai osittain varustettuna laajennetulla todellisuudella ja onko teknologian käyttö tosiaan kannattavaa opetuksessa.

Tutkimuskysymyksiin haettiin vastauksia analysoimalla laajasti kirjallisuutta, jonka pohjalta tehtiin johtopäätöksiä motivaatiosta sekä yleisesti oppimisesta. Myös teknologian tarjoamia vuorovaikutustapoja tarkasteltiin ja pohdittiin niiden hyötyjä opiskelijoiden näkökulmasta.

Laajennettu todellisuus tarjoaa immersivistä oppimista ja mukaansatempaavia kokemuksia opiskelijoille. Tutkimusten mukaan tämä teknologia auttaa opiskelijoita ymmärtämään monimutkaisia konsepteja ja parantaa heidän oppimistuloksiaan. Lisäksi laajennetun todellisuuden avulla voidaan kehittää tärkeitä opiskelutaitoja kuten ongelmanratkaisukykyä, kriittistä ajattelua ja ryhmätyöskentelyä. Vuorovaikuttaminen tapahtuu esimerkiksi simulaation tai virtuaalisten interaktiivisten elementtien kautta, jolloin opiskelija on itse aktiivisesti osallisena oppimisessa. Tällainen immerstiivinen oppiminen vahvistaa tunneyhteyttä, kasvattaa opiskelumotivaatiota ja näin tehostaa itse oppimista. XR-teknologian käyttö opetuksessa vaikuttaa positiivisesti ja näkyvästi oppimistuloksiin sekä erityisesti opiskelijoiden tunteisiin.

Tutkimuksen perusteella on kuitenkin tarvetta jatkotutkimukselle siitä, miten XR-teknologiat voitaisiin integroida tehokkaammin opetukseen. Haasteet ja rajoitukset teknologian käytössä liittyvät käytettävyysoongelmiin, erillisen koulutuksen tarpeeseen sekä laitekustannuksiin, jotka ovat kuitenkin koko ajan pienentymässä. Siksi ei ole mahdollista eikä todellisuudessa edes tarpeellista varustaa ja soveltaa opetus kokonaan laajennetulla todellisuudella. Yleisesti ottaen laajennetulla todellisuudella on potentiaalia mullistaa koko opetus ja luoda uusia mahdollisuuksia opiskelijoille käsitellä monimutkaisia konsepteja mielekiintoisella, immerstiivisellä ja interaktiivisella tavalla.

Avainsanat: laajennettu todellisuus, lisätty todellisuus, virtuaalitodellisuus, immerstiivinen oppiminen, motivaatio, vuorovaikutus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. TUTKIMUSMENETELMÄT	2
3. KESKEISET KÄSITTEET	3
3.1 Laajennettu todellisuus	3
3.2 Laajennetun todellisuuden laitteet ja ympäristöt	4
4. LAAJENNETTU TODELLISUUS OPETUKSESSA	6
4.1 Vuorovaikutus	6
4.2 Mahdollisuudet ja hyödyt opiskelijalle	8
4.3 Teknologian tuoma motivaatio	10
5. KÄYTÖN KANNATTAVUUS OPETUKSESSA	11
6. YHTEENVETO	13
LÄHDELUETTELO	16

LYHENTEET JA MERKINNÄT

AR	engl. Augmented Reality, lisätty todellisuus
CGI	engl. Computer-Generated Imagery, tietokoneohjelmalla tuotettu grafiikka
Immersio	mukaansatempaava, ”uppoutuva” kokemus
MR	engl. Mixed Reality, yhdistetty todellisuus
Multimedia	eri mediamuotojen yhdistelmä
VR	engl. Virtual Reality, virtuaalitodellisuus
XR	engl. Extended Reality, laajennettu todellisuus

1. JOHDANTO

Nopeasti kehittyvät teknologiat ovat velvoittaneet opetuksen uudistumaan ja sopeutumaan toistuvasti. Yksi merkityksellisimmistä ajankohtaisista teknologioista on laajennettu todellisuus (*Extended Reality, XR*), joka vie opiskelun mahdollisuudet aivan uudelle tasolle. Laajennettu todellisuus koostuu lisätystä todellisuudesta (*Augmented Reality, AR*), virtuaalitodellisuudesta (*Virtual Reality, VR*) sekä yhdistetystä todellisuudesta (*Mixed Reality, MR*) (Guo et al., 2021). Laajennettu todellisuus innostaa ja motivoi oppimiseen ja sillä on tutkitusti positiivista vaikutusta oppimistuloksiin. Tämä tutkielma keskittyy VR- ja AR-teknologioihin opetuksessa opiskelijoiden näkökulmasta.

Virtuaalitodellisuuden avulla opiskelijat voivat kokea todellisuuden simuloitusti ja siten saada käytännön kokemuksia käsitellyistä aiheista. Se mahdollistaa monimutkaisen tiedon esittämisen opiskelijoita hyödyttävällä tavalla eikä sitä rajoita tietokoneen näyttö. Lisätyn todellisuuden avulla opiskelijat saavat kontekstia opiskeltavaan aiheeseen, sillä se tarjoaa fyysiseen maailmaan täydentäviä virtuaalisia elementtejä (Hillman & Cornel, 2021).

Laajennettu todellisuus parantaa tutkitusti tunnepohjaista sitoutumista oppimiseen sekä ongelmanratkaisukykyä. XR-teknologiaa voidaan käyttää monipuolisesti erilaisen aineiden opetukseen luonnontieteistä ja matematiikasta historiaan ja taiteisiin. Näillä immersivisillä teknologioilla on potentiaalia lisätä opiskelijan motivaatiota ja sitoutumista oppimiseen, edistää täyttä opiskelijakeskeistä oppimiskokemusta sekä tukea yhteistyöhön perustuvaa oppimista. Lisäksi XR-teknologiat mahdollistavat opiskelijoiden pääsyn konkreettisemmin aiemmin fyysisesti saavuttamattomaan tai näkymättömään sisältöön. (Yang et al., 2020)

Mitä hyötyjä ja mahdollisuuksia laajettu todellisuus tuo opetukseen? Onko hyöty opiskelijoiden kannalta merkittävä vai vähäinen? Kannattaisiko opetuksen olla osittain vai kokonaan varustettu laajennetulla todellisuudella? Näihin tutkimuskysymyksiin syvennytään kirjallisuuskatsauksen avulla ja vastausten perusteella pohditaan, onko laajennetun todellisuuden käyttö opetuksessa kannattavaa.

Luvussa 2 esitellään tutkimusmenetelmät. Luvussa 3 määritellään keskeiset käsitteet ja niiden määritelmät. Luvussa 4 selvitetään, miten laajennettu todellisuus soveltuu opetukseen, mikä on sen vaikutus opiskelijoihin, mitä mahdollisuuksia ja vuorovaikutustapoja se luo ja antaa, mikä on teknologian tuoma hyöty sekä motivaatio opiskelijoille. Luku 5 on pohdintaluku, jossa käydään läpi, onko laajennetun todellisuuden teknologioiden käyttö opetuksessa kannattavaa verrattuna opetukseen ilman näitä teknologioita. Luku 6 eli viimeinen luku on yhteenveto koko tutkielmasta.

2. TUTKIMUSMENETELMÄT

Tässä luvussa käsitellään aineiston keruumenetelmiä: mitä tietokantoja ja hakusanoja ja niiden rajoja käytettiin. Lisäksi tarkastellaan, kuinka arvioitiin lähteiden luotettavuutta ja ajankohtaisuutta.

Pääaineisto kerättiin julkaisusta, jotka käsittelivät laajennettua todellisuutta opetuksessa. Myös erikseen lisätty todellisuus ja virtuaalitodellisuus opetuksessa olivat hakujen keskiössä. Hakuja tehtiin Andorin, Trepon ja Google Scholarin hakupalveluista. Lisäksi tehtiin hakuja IEEE Xplore - IEEE Electronic Library (IEL) sekä Computer Science Database (ProQuest) -tietokantoihin. Käytetyt hakusanat olivat XR, "extended reality", AR, "augmented reality", VR, "virtual reality", "immersive learning", "immersive technologies", education, school, K-12, challenges, integrate, learning ja motivation. Hakusanoilla esiintyi hyvin paljon erilaista materiaalia eri näkökulmilla. Valituksi tulivat ne lähteet, joissa keskityttiin pääasiassa yleiseen opetukseen ja oppimiseen laajennetun todellisuuden teknologioiden avulla. Kaikki tutkielmaan kootut lähteet eivät kuitenkaan liity suoraan opetukseen, sillä tarvittiin myös lähteitä, jotka liittyivät ainoastaan teknologiaan.

Lääketieteeseen liittyviä julkaisuja ilmeni todella paljon, joten jouduttiin karsimaan pois lääketieteeseen tai muihin tiettyihin aloihin painotettuja hakuja. Aiheita tarkastellaan yleisellä tasolla eikä keskittyen tiettyyn oppimisalaan. Siitä huolimatta tutkielmassa aiheita tarkastellaan hieman enemmän teknillisten alojen näkökulmasta. Myös opettajien näkökulmaa käsittelevät julkaisut karsittiin pois, sillä aiheita käsitellään opiskelijoiden perspektiivistä. Aineisto pyrittiin pitämään ajankohtaisena ja suurin osa lähteistä onkin viime vuosina julkaistua aineistoa. Yksi aineisto on vuodelta

2009, sillä tarvittiin aineistoa myös menneisyydestä, kun vertailtiin aihetta nykyi-
kaan. Aineistoksi hyväksyttiin julkaisut, jotka arvioin itse parhaani mukaan luotetta-
viksi.

3. KESKEISET KÄSITTEET

Tässä luvussa syvennytään kirjallisuuskatsauksen keskeisimpiin käsitteisiin. Ensimmäisenä käsitellään yleisesti laajennettua todellisuutta eli sitä, mitä se tarkoittaa ja miten se toimii. Tämän jälkeen syvennytään laajennetun todellisuuden laitteisiin ja ympäristöön. Millaisia ovat tällaisen teknologian laitteistot, mistä ne koostuvat, miten ne toimivat ja miten niitä käytetään? Luku antaa pohjan koko tutkielmalle ja perustelee, miksi laajennettu todellisuus on haluttu teknologia opetuksessa.

3.1 Laajennettu todellisuus

Laajennettu todellisuus on yleistermi teknologioille, jotka sisältävät virtuaalitodellisuuden (VR), lisätyn todellisuuden (AR) sekä muita näiden teknologioiden yhdistelmiä. Lisätty todellisuus on teknologia, joka on hyvin samanlainen kuin virtuaalitodellisuus; se yhdistää tietokoneella luodut kuvat (CGI) tosielämän tapahtumiin. Tämä teknologia toimii yksinkertaisesti: kerros, jossa on tietokoneella luotu kuva, asetetaan suoraan kameran tunnistimen tallentaman videon päälle. Lisätty todellisuus käyttää reaaliaikaista kuvaa fyysisestä maailmasta ja yhdistää siihen virtuaalimaailman digitaalisen sisällön. Digitaalista sisältöä luodaan fyysiseen tai todelliseen paikkaan ja syntyy uusi virtuaalinen tila, jota rikastetaan tällä digitaalisella sisällöllä. (Kuleto et al., 2021) Lisätty todellisuus siis yhdistää virtuaalisuuden ja todellisuuden (Guo et al., 2021). Kevyt lisätty todellisuus viittaa tilanteeseen, jossa käytetään suurta määrää informaatiota ja fyysistä materiaalia todellisessa maailmassa ja päästään suhteellisen vähän käsiksi virtuaaliseen informaatioon. Tällä tavalla käyttäjät ovat vuorovaikutuksessa pääasiassa fyysisten materiaalien kanssa ja ajoittain voivat manipuloida ja käyttää esitettyä virtuaalista informaatiota. (Wu et al., 2013)

Lisätty todellisuus rohkaisee käyttäjiä olemaan vuorovaikutuksessa ympäristönsä kanssa, kun taas virtuaalitodellisuus pyrkii eristämään käyttäjän täysin ja kuljettamaan hänet eri paikkaan tai maailmaan. (Kuleto et al., 2021) Virtuaalitodellisuudella tarkoitetaan täysin simuloitua todellisuutta, joka on rakennettu tietokonejärjestelmillä,

jotka käyttävät digitaalisia muotoja luomaan realistisen immerstiivisen kokemuksen. Se koostuu laitteistosta ja ohjelmistojärjestelmistä, jotka pyrkivät täydentämään kaiken kattavan, aistillisen illuusion läsnäolosta toisessa ympäristössä. (Yang et al., 2020) Virtuaalitodellisuuden voi jakaa kolmeen vaatimukseen: immersio, vuorovaikutus ja visuaalinen realismi. Immersio viittaa realistiseen tunteeseen, mikä saa käyttäjän totutettua virtuaalimaailmaan. Vuorovaikutus on kahden tai useamman objektin aikaansaama efekti toisiinsa, mikä on luonnollinen vuorovaikutus käyttäjän ja virtuaalisten näkymien välillä. Visuaalinen realismi tarjoaa täsmällisen esityksen virtuaalimaailmasta käyttäen tietokonegrafiikan työkaluja ja virtuaalisia skenaarioita. (Sala, 2021)

3.2 Laajennetun todellisuuden laitteet ja ympäristöt

Virtuaalitodellisuuden laitteisto koostuu päälle puettavista näytöllä varustetuista lasista ja ohjaimista. Ääni tulee usein suoraan lasista tai se välitetään kaiuttimien kautta. VR tarkoittaa myös etävuorovaikutusympäristöä, jossa käyttäjien virtuaalinen olemassaolo mahdollistetaan etäesityksellä tai virtuaalisilla esineillä. Immerstiivinen ympäristö voi olla samanlainen kuin todellinen maailma luodakseen käyttäjälleen realistisen kokemuksen. Virtuaalitodellisuus tarjoaa uuden keinon monimutkaisten emotionaalisten ärsykkeiden esittämiseen tehokkaalla ja samanaikaisesti erittäin kontrolloidulla tavalla. (Wang & Hu, 2022) Koko 360 asteen stereoskooppisen ympäristön käyttö oppimissisällön järjestämiseen, esittämiseen ja hallintaan tekevät VR:stä lähes ihanteellisen tehokkuuden mittakaavassa (Hillmann, Cornel, 2021). Navigointi mahdollistaa käyttäjälle tutkimisen, etsimisen ja liikkumisen 3D-ympäristössä. Valintojen tekeminen sekä manipulaatio tapahtuu VR:n mahdollistamana vuorovaikuttamisena virtuaaliobjektien kanssa. Kuvassa 1 on esitetty virtuaalilasit ja ohjaimet, jotka mahdollistavat virtuaaliobjektien manipuloinnin virtuaaliympäristössä.



Kuva 1. HTC Vive - lasit ja ohjaimet (Alnagrat et al., 2022)

Myös lisätty todellisuus koostuu laitteistosta ja ohjelmistosta, mutta se toimii hieman yksinkertaisemmalla tavalla. Lisätyn todellisuuden käyttö vaatii esimerkiksi mobiililaitetta sekä AR-teknologiaa tukevan sovelluksen. Laitteistona AR-teknologia yhdistää virtuaalisen tiedon ja elementit todelliseen maailmaan. Sen käyttämiin tekniisiin keinoihin kuuluvat multimedia, 3D-mallinnus, reaaliaikainen seuranta ja rekisteröinti, älykäs vuorovaikutus, tunnistus ja paljon muuta. Sen periaate on soveltaa tietokoneella tuotettua virtuaalista tietoa, kuten tekstiä, kuvia, 3D-malleja, musiikkia ja videoita todelliseen maailmaan simulaation jälkeen. Tällä tavalla nämä kahden tyyppiset tiedot täydentävät toisiaan, jolloin saadaan tehostettua oikeaa maailmaa. (Chen et al., 2019) Kuvassa 2 näkyy fyysinen ihmisen malli, jota katsotaan tabletin kameran läpi AR-sovelluksella. Ihmisen mallia täydennetään virtuaalisilla elementeillä, joilla esitetään, mikä ihmisen kehonosa sijaitsee missäkin.



Kuva 2. Esimerkki lisätystä todellisuudesta (Sala, 2021)

Suhteellisen edullinen ja laadukas XR-laitteisto on nykyään laajemmin saatavilla. Nämä laitteet ovat kehittymässä kevyemmiksi ja vapaammin liikuteltaviksi. Keveys on tärkeä tekijä, sillä päähän kiinnitetyt näytöt, etenkin VR:llä, aiheuttavat nopeasti uupumusta ja kipua päässä ja niskalihaksissa, mikä haittaa pidempiä opiskelujaksoja. Liikkuvuus on myös tärkeä tekijä, sillä siten ihmiset voivat käyttää laitteita ilman tietokoneisiin yhdistyneiden kaapeleiden häirintää. (Schwaiger, 2021). On tärkeää, että erillisen laitteiston käyttäminen on opiskelijoille mahdollisimman helppoa ja mukavaa, jotta keskittyminen säilyisi juuri virtuaalisessa oppimateriaalissa eikä fyysisissä häiriötekijöissä.

4. LAAJENNETTU TODELLISUUS OPETUKSESSA

Laajennetun todellisuuden teknologiat yleistyvät nopeasti, sillä niiden kustannukset vähentyvät ja helppokäyttöisyys lisääntyy. Laajennetun todellisuuden teknologiat ovat yksi aktiivisimmista innovaatioalueista korkeakoulutuksen pedagogiikassa.

Seuraavissa alaluvuissa käsitellään, miten laajennettu todellisuus voi auttaa opiskelijoita oppimistavoitteiden saavuttamisessa. Ensimmäisenä kerrotaan virtuaali- ja lisätyn todellisuuden vuorovaikutustavoista oppimistilanteessa. Seuraavassa alaluvussa käsitellään laajennetun todellisuuden tuomia mahdollisuuksia ja hyötyjä opiskelijoille. Viimeisessä alaluvussa syvennytään siihen, miten laajennettu todellisuus vaikuttaa opiskelijoiden motivaatioon.

4.1 Vuorovaikutus

Laajennettu todellisuus luo turvallisen sekä rajatun tilan vuorovaikuttaa virtuaaliympäristössä, joka voisi olla todellisessa maailmassa vaarallinen, kallis tai mahdoton järjestää. Esimerkiksi vuonna 1996 Byrne loi virtuaalisen kemiaympäristön, jotta opiskelijat oppisivat tutkimalla sekä vuorovaikuttamalla esitetyn informaation kanssa. Sen sijaan, että opiskelijat istuisivat luokahuoneessa passiivisesti katselemissa kuvia atomikiertoradoista perinteisellä oppitunnilla, he voisivat itse sijoittaa elektroneja atomeihin ja nähdä atomiradalle ilmestyvien elektronien liikehdintää. Tällä konstruktiivisella lähestymistavalla opiskelijat ovat itsekin mukana luomassa mukaansatempaavaa virtuaalimaailmaa. Siten opiskelijoiden rooli on aktiivinen heidän oppimisprosessissaan. Tulokset eivät silloin osoittaneet VR:n olevan muita opetusmenetelmiä parempi, mutta interaktiivisuus, tärkeä VR:n ominaisuus, osoittautui olennaiseksi oppimisessä. Tässä tutkimuksessa korostettiin, että VR ei tarjoa pelkästään passiivista vuorovaikutusta. Sen todellisuuden rekonstruktio on malli, jossa käyttäjät voivat toimia ja olla vuorovaikutuksessa toisensa kanssa. Käyttäjät käyttäytyvät kuin todellisessa maailmassa. Tämä tärkeä ominaisuus voittaa havainnoinnin luontaiset rajoitukset, joiden tulisi koskea vain fyysisesti havaittavia esineitä. (Sala, 2021)

Virtuaalitodellisuutta voi luonnehtia kolmella sanalla: immersivisyys, vuorovaikutus ja osallistuminen. Mukaansatempaava virtuaaliympäristön luonne tarjoaa opiskelijoille todellisuudentajua ja antaa heille mahdollisuuden ymmärtää ja tutkia aktiivisesti ympäristön sisältöä luennon sijaan perinteisessä luokahuonetilanteessa. Immersio

voidaan kokea henkisesti tai fyysisesti eli aistillisesti. Molemmat ovat kriittisiä kun halutaan luoda onnistunut kokemus VR:stä. Käyttäjät tulkitsevat visuaalisia, auditii-visia, ja tuntoaistisiin perustuvia vihteitä tiedon keräämiseen samalla, kun he käyttävät asentoaistijärjestelmiään navigointiin ja objektien hallitsemiseen, jolloin saavutetaan synteettisen ympäristön fyysinen immersio. Mentaalinen immersivisyys viittaa syvästi sitoutuneeseen olotilaan VR-ympäristössä. (Chen, 2016) Siksi vuorovaikutaminen virtuaaliympäristössä on niin mielenkiintoista opiskelijoille. Se antaa heille mahdollisuuden käyttää aktiivisesti aistejaan ja näin tuntee olevansa ympäristössä läsnä. VR myös mahdollistaa syvemmän keskittymisen tarvittavaan tehtävään, sillä ympäristö on rajattu ja se sisältää vain olennaisia asioita. Tämä tekee vuorovaikutuksesta tehokkaampaa, kun ympäristössä ei ole ärsykeitä, joita voi todellisessa maailmassa olla.

Aikaisemmin lisätyn todellisuuden järjestelmiä käytettiin vain virtuaalisten mallien katseluun useilla sovellusalueilla. Nämä rajapinnat tarjosivat erittäin intuitiivisen menetelmän kolmiulotteisen tiedon katseluun, mutta vain vähän tukea AR-sisällön luomiseen tai muokkaamiseen. (Billinghurst et al., 2009) Nykyään AR tarjoaa laajempia vuorovaikutustapoja. Lisättyjä elementtejä on mahdollista manipuloida, muokata ja luoda. Opiskelijoille voi tulla lisää aivotoiminnallista kuormaa, kun oikean maailman lisäksi on muita huomioitavia elementtejä. On hyvä muistaa, että vuorovaikutaminen on päivittäistä toimintaa. Toimintojen tulisi vaatia minimaalista visuaalista huomiota, sillä objektien toiminnallisuus tulee käyttäjältä muutenkin intuitiivisesti. Ihanteellisessa käyttöliittymässä pitäisi minimoida visuaalinen huomio ja käyttäjien eli tässä tapauksessa opiskelijoiden häiritseminen. Huomiota vievät elementit ilmestyisivät vain, kun niitä tarvitaan, muuten ne jäävät kokonaan näkymättömiksi. Lisäksi vuorovaikutuksen tulisi kohdistua mieluummin suoraan fyysisiin esineisiin kuin esimerkiksi puhelimen näyttöön. (Lin et al., 2017) Lisätty todellisuus integroi virtuaalisen tiedon todelliseen maailmaan vuorovaikutteisena kokemuksena.

Laajennettu todellisuus mahdollistaa opiskelijoiden välisen yhteistyön fyysisestä etäisyydestä riippumatta. Esimerkiksi jonkinlaisen mallin suunnitteluprojekti onnistuu työskentelemällä eri puolilla mallia jaetussa virtuaaliympäristössä. Myös roolipeliharjoitukset virtuaaliympäristössä, kuten asiakaspalveluskenaario tai liiketapaamiset, voivat kehittää viestintä- ja ongelmanratkaisutaitoja. Lisäksi simuloitujen laboratoriot, joissa opiskelijat voivat tehdä vaarallisempia kokeita ja olla vuorovaikutuksessa laboratoriolaitteiden kanssa, ovat mahdollisia. Opiskelijat voivat työskennellä toteuttaen laboratorioharjoituksen ryhmänä, keskustella huomioistaan ja oppia toisiltaan.

4.2 Mahdollisuudet ja hyödyt opiskelijalle

Laajennettu todellisuus luo lukuisia uusia ja erilaisia mahdollisuuksia opiskella. Kuten edellisessä luvussa todettiin, opiskelijat voivat olla itse aktiivisesti osana opetusta. Noin kaksi vuosisataa sitten sveitsiläinen pedagogi Johann Heinrich Pestalozzi (1746-1827) havaitsi, että oppilaat oppivat parhaiten fyysisen aktiviteetin ja aistien käyttämisen kautta. Laajennetulla todellisuudella voidaan stimuloida opiskelijoissa samoja aisteja, joita fyysinen aktiviteetti ja aistien käyttäminen aktivoivat. Se tarjoaa heille intensiivisempää osallistumista oppimiseen, jossa opiskelijat ottavat aktiivisia rooleja. (Sala, 2021)

Laajennetun todellisuuden avulla käyttäjät voivat saada kokemuksia abstrakteista, harvinaisista, vaarallisista ja etäisistä asioista. XR laajentaa dramaattisesti tehtävien ja toimintojen valikoimaa sekä antaa oppijoille mahdollisuuden aktiiviseen ja kokemukselliseen oppimiseen sellaisissa ympäristöissä, joissa se on aiemmin ollut mahdotonta. (Pomerantz, 2019)

Virtuaalitodellisuuden käyttö on yleistynyt esimerkiksi videopeleissä ja siksi nuoret suosivat VR-tekniologiaa. Opiskelijat ovat innostuneita myös lisätystä todellisuudesta ja sen käyttö koetaan mielekkääksi. (Akçayır et al., 2017). Laajennetun todellisuuden teknologioita voidaan soveltaa monen erilaisen aineen ja aiheen opetukseen. Esimerkiksi kieltenoppiminen virtuaalitodellisuuden sekä lisätyn todellisuuden avulla voidaan luoda hyvinkin mukaansatempaavia oppimiskokemuksia. Opiskelija voisi harjoitella kielentaitojaan keskustelemalla virtuaalisen tai lisätyn kielenosaajan kanssa, jolloin ei tule myöskään turhia paineita omasta osaamistasosta.

Laajennettu todellisuus antaa opiskelijoille mahdollisuuden opiskella omaan tahtiin ja toistaa oppitunteja tarvittava määrä, mikä puolestaan hyödyttää erikykyisiä opiskelijoita (Kavanagh et al., 2017). XR antaa myös opiskelijoille mahdollisuuden kontrolloida oppimisstrategioitaan aktiivisemmin, mikä lisää myös opettajan ja opiskelijan vuorovaikutusta ja yhteyttä (Guo et al., 2021). Tällöin opiskelijalle on selkeämpää määrittää oppimisen määrän, kun yhteys ja ymmärtäminen opettajaan vahvistuu.

Tutkimusten mukaan AR-tekniologia tarjoaa monia etuja oppimisen näkökulmasta. Lisätty todellisuus auttaa opiskelijoita tutkimaan maailmaa tarjoamalla virtuaalisia elementtejä todellisten objektien rinnalla ja helpottaa sellaisten asioiden havainnointia, joita ei olisi helppo havaita paljaalla silmällä. AR-komponentit, kuten videot sekä 3D-kuvat, voivat auttaa opiskelijoita ymmärtämään paremmin oppimissisällön (Akçayır et al., 2017). Tutkimukset osoittavat, että lisätyn todellisuuden kautta opittu

sisältö muistetaan vahvemmin kuin ei-lisätyn todellisuuden kautta. Sama huomattiin virtuaalitodellisuuden kannalta: opiskelijoiden, jotka oppivat kolmiulotteisesta virtuaaliympäristöstä, oppimistulokset olivat parempia verrattuna ryhmään, jolla oppimisprosessi oli tavallisessa oppimisympäristössä. (Gudoniene & Rutkauskienė, 2019). AR-teknologia on viime vuosina herättänyt paljon huomiota matematiikassa ja luonnontieteissä, sillä se luo henkilökohtaisen oppimisympäristön ja kohentaa opiskelijoiden aktiivisuutta. AR tarjoaa reaaliaikaista vuorovaikutusta, konkretisoitua tietoa ja pystyy luomaan pysyvä oppimisympäristöjä. Muita lisätyn todellisuuden etuja ovat luomisen kokemus, mitä ihmiset eivät voi saada todellisessa elämässä. AR:n soveltaminen luonnontieteissä voi auttaa opiskelijoita ymmärtämään abstrakteja käsitteitä kolmiulotteisen kuvien esittämisen avulla. (Guo et al., 2021)

Virtuaalisella harjoittelulla on myös suoraa vaikutusta oikean elämän taitoihin eli sillä on siirtovaikutus. Siirtovaikutus viittaa osaamiseen soveltaa opittua asiaa erilaisissa tilanteissa ja ympäristöissä. Esimerkiksi VR:llä voidaan opetella tietyn tilan hahmottamista ja sitten opiskelija osaa navigoida todellisessa rakennuksessa ongelmitta. Vielä rajallisen empiirisen näytön perusteella, näyttäisi siltä, että virtuaalitodellisuuden avulla voidaan opettaa manuaalisia ja kognitiivisia kykyjä vaativia tehtäviä. Tulokset osoittavat, että immersivisessä oppimisessä on havaittavissa monimutkaisempienkin taitojen siirtovaikutusta. Osallistujat, jotka harjoittelivat virtuaalisesti, olivat tarkempia ja tekivät vähemmän virheitä kuin osallistujat, jotka harjoittelivat epäinteraktiivisilla keinoilla. Lisäksi VR-osallistujat olivat tietoisempia tehtävästä välittömästi harjoituksen jälkeen. Tutkimuksen mukaan VR:llä opittu asia voidaan siirtää todelliseen maailmaan ja se on huomattavasti tehokkaampi keino kuin video- tai tekstipohjaiset menetelmät. (Dobrowolski et al., 2021). Laajennettu todellisuus mahdollistaa todellisen maailman käytännön taitojen oppimisen aktiivisella tavalla. Kuten edellisessä kappaleessa todettiin, AR antaa kontekstia opittavalle asialle, jolloin uusi asia on helpompi ymmärtää. AR:n reaaliaikainen ja interaktiivinen luonne tarjoaa välitöntä palautetta opiskelijoille, mikä tukee oppimisprosessien hallintaa. Molemmat AR ja VR voivat esittää rikastetusti konsepteja todellisesta maailmasta ja siten opiskelija saa selkeämmän kuvan, miten tietty tehtävä tai harjoitus toimii todellisen elämän tilanteessa ja ympäristössä.

VR-koulutustutkimuksen mukaan osallistujat oppivat neljä kertaa nopeammin, tunneyhteys oli 3,5 kertaa vahvempi, he olivat 2,5 kertaa itsevarmempia ja neljä kertaa keskittyneempiä. Juuri koulutus hyötyy erityisesti laajennetusta todellisuudesta. Lisätty todellisuus tarjoaa kontekstuaalisen peittokuvan oppimisen apuvälineeksi, kun taas virtuaalitodellisuus pystyy näyttämään monimutkaista tietoa

tilassa, jota näytön koko ei rajoita. (Hillmann, Cornel, 2021) Näin ollen on todellista näyttöä laajennetun todellisuuden hyödyistä opetuksessa. Tulokset eivät vain koske ainostaan oppimistuloksia, vaan pääasiassa oppimiseen liittyviä tunteita.

4.3 Teknologian tuoma motivaatio

Oppimiseen motivoituneet opiskelijat sitoutuvat enemmän suoritettavaan tehtävään kuin motivoimattomat opiskelijat. Motivaatio voidaan määritellä yksilön voimaannuttavaksi ominaisuudeksi aloittaa ja hallita käyttäytymistään tiettyä tehtävää varten. Lisätty todellisuus kohentaa opiskelijoiden motivaatiota, sillä parantamalla kurssimateriaalin visualisointia, ymmärrys kasvaa. (Kaur et. al, 2020) Vaihtoehtoisesti tiedonetsimiselle, lisätty tarjoaa välitöntä ja relevanttia tietoa ja opastusta, mikä puolestaan lisää motivaatiota. Tutkimustulosten perusteella AR lisää oppimismotivaatiota, positiivisuutta ja tyytyväisyyttä sekä auttaa opittavan asian ymmärtämisessä. (Akçayır et al., 2017). Tästä voidaan päätellä, että lisätty todellisuus motivoi opiskelijoita suorittamaan annettu tehtävä alusta loppuun, sillä sellainen tehtävä aiheuttaa pääasiassa positiivisia tunteita. Kun taas kynällä ja paperilla tai tietokoneella annettu tehtävä ei aiheuta yhtä miellyttäviä tuntemuksia opiskelijoissa.

Motivaation kohottaminen opetuksessa on välttämättömyys, sillä motivaatio lisää valmiutta suorittaa ja suoriutua vaikeistakin tehtävistä. Opiskelumotivaation vahvistuminen voidaan saavuttaa juuri laajennetulla todellisuudella. Tutkimusten mukaan yleisin motivaation lähde ovat virtuaalitekniikan tuomat yhteistyömahdollisuudet ja sitoutuneisuus. Myös teknologioiden pelimäisyys ja uutuusmaisuus ovat syynä motivaatiolle, sillä pelielementit ja tuoreet teknologiset innovaatiot lisäävät nautinnon ja innostuneisuuden tunnetta etenkin nuorissa. (Kavanagh et al., 2017) Virtuaalitodellisuus motivoi opiskelijoita jo pelkästään teknologian takia. Sen interaktiivinen ja yhteistyöpohjainen luonne on erinomainen oppimisen väline ja motivaation lähde verrattuna tavallisiin oppimisen keinoihin.

Virtuaalitodellisuus tarjoaa mahdollisuuden osallistua realistisiin simulaatioihin sekä virtuaalisiin tutkimuksiin, jotka muutoin olisivat mahdottomia tai liian vaarallisia toteuttaa todellisuudessa. Koulut eivät todennäköisesti usein harkitse matkustamista historiallisiin sijainteihin vaihtoehtona oppimiselle. Vauhtoehtoisesti VR:n kautta opiskelijat voivat kuitenkin tutkia esimerkiksi antiikin ajan rakennuksia tai jopa puhtaasti kuvitteellisia rakenteita ilman tarvetta koskaan lähteä luokkahuoneestaan.

(Kavanagh et al., 2017) Myös erilaiset harjoitukset on mahdollista toteuttaa virtuaaliympäristössä, jolloin opiskelija saa konkreettista kokemusta opittavasta asiasta ja näin myös käytännössä pystyy osoittamaan osaamisensa.

Teknologinen kehitys on mahdollistanut uudenlaisten koulutustekniikoiden käytön, jossa yksi innovatiivisista työkaluista on virtuaalitodellisuus. Se tarjoaa kolmiulotteisia ympäristöjä, jotka puolestaan mahdollistavat vuorovaikuttamisen. Sellainen opetusväline stimuloi oppilaiden motivaatiota ja ylläpitää heidän huomionsa oppimisprosessin aikana. (Chen 2016)

5. KÄYTÖN KANNATTAVUUS OPETUKSESSA

Tutkijat ovat myös pitkään pohtineet, voiko ja pitäisikö virtuaali- ja lisätyn todellisuuden muuttaa koulutusprosessia. Tästä on erilaisia mielipiteitä. Siitä huolimatta, mitä enemmän tutkimusta tehdään, sitä enemmän positiivisia puolia nousee esiin. Yksi uusimmista virtuaalitodellisuuden tutkimuksista osoittaa, että opiskelijat, jotka opiskelevat tekniikan alalla virtuaalitodellisuuden avulla olivat erittäin motivoituneita heille annetuista tehtävistä ja työskentelivät tehtävien parissa jopa vapaa-ajalla. Tulokset osoittivat, että opiskelijat, jotka oppivat kolmiulotteisen virtuaaliympäristön avulla, saavuttivat parempia oppimistuloksia verrattuna niihin, jotka opiskelivat tavallisessa oppimisympäristössä. Tutkimusten mukaan lisätty todellisuus auttaa muistamaan paremmin ja pidempään kuin kolmiulotteinen virtuaaliympäristö. Lisätyn todellisuuden kautta opittu sisältö muistetaan vahvemmin kuin ei-lisätyn todellisuuden kautta opittu sisältö. AR-teknologia tarjoaa opiskelijoille paremman tavan oppia interaktiivisessa tilassa. Se antaa opiskelijoille mahdollisuuden olla vuorovaikutuksessa ja mahdollistaa sosiaalisen kommunikaation. AR-teknologia tuo uudentyyppisiä automatisoituja sovelluksia ja parantaa oppimisympäristön tehokkuutta ja houkuttelevuutta opiskelijoille todellisessa maailmassa. (Gudoniene & Rutkauskienė, 2019)

Lisätty todellisuus edistää opiskelijoiden motivaatiota ja auttaa kehittämään heidän tutkimustaitojaan. Toisaalta tutkimuksissa on myös todettu, että opiskelijat pitävät AR:ää monimutkaisena ja, että he kohtaavat usein teknisiä ongelmia. Ilman hyvin suunniteltua käyttöliittymää ja opastusta, AR:n käyttö voi olla opiskelijoille liian monimutkaista. Erilaiset AR-sovelluksia tarjoavat laitteet voivat lisäksi aiheuttaa teknisiä

ongelmia. (Akçayır et al., 2017). Käytettävyysongelmat ovat oppimisen kannalta kriittisiä, sillä käyttöön turhautuminen vaikuttaa motivaatioon. Siksi on ehdottoman tärkeää minimoida tällaiset ongelmat.

Laitekustannukset tulee ottaa huomioon, kun pohditaan käytön kannattavuutta. Opiskelijoiden ei odoteta hankkivan esimerkiksi VR-lasit itse, sillä se voisi johtaa epätasa-arvoisuuteen. Vuosien mittaan teknologian kehitys auttoi kuitenkin alentamaan virtuaalitodellisuuden rajapintojen kustannuksia. Näin virtuaalitodellisuus on helpompi integroida koulutusprosesseihin. Vaikka kustannukset ovat laskeneet, integrointi opetukseen ei välttämättä ole niin hyvällä tasolla, että sitä voitaisiin käyttää ongelmitta opetuksessa. On pidettävä huolta, että oppimateriaali integroidaan opiskelijoiden tarpeet huomioiden. Myös mahdolliset ohjelmointivirheet on vähennettävä testaamalla useammin toimivuutta.

Tulisi ymmärtää, miksi valitaan juuri XR-oppimisaktiviteetteja muiden opetus- ja oppimismuotojen sijaan. Näennäiset oppimisen hyödyt tai lisääntyneet opiskelijoiden mieltymykset voidaan katsoa uutuusvaikutukseksi verrattuna ei-immersiivisiin oppimisvalintoihin. Korkeammin vuorovaikutteiset virtuaaliympäristöt toimivat oppimisaktiviteetteina, sillä mukaansatempaava toiminta stimuloi emotionaalista osallistumista, mikä on välttämätöntä, jotta oppiminen siirtyisi työmuistista pitkäaikaisuuteen. (Ryoo & Winkelmann 2021). Usein oppimisessa ongelmana on juuri opitun asian unohtaminen erityisesti koesuorituksen jälkeen. Opiskelijat voivat valmistautua kiireessä kokeisiin, mutta koesuorituksen jälkeen aihe saattaa unohtua. Koeaihe ei välttämättä herättänyt opiskelijoiden mielenkiitoa oppitunneilla, mutta hyväksytty koesuoritus motivoi valmistautumaan kokeeseen. Jos koeaihetta olisi oppitunneilla käyty läpi opiskelijoiden mielestä mielenkiintoisella tavalla esimerkiksi immersivisessä VR-ympäristössä, olisi monimutkaisempikin aihe jäänyt heidän mieleensä pidemmäksi aikaa. Tällöin kokeisiin valmistautuminen perustuisi enemmänkin aiheen kertaamiseen, sillä aihe olisi paremmin muistissa. Myös itse koe tai muu osaamisen näyttö voisi olla VR- tai AR-ympäristössä toteutettu.

Nykyään luokkahuoneiden oppimisprosessit muuttuvat koulutusteknologioiden työkalujen ansiosta. Koulutus kehittyy nopeammin, kun se pystyy ottamaan paremmin käyttöönsä korkeamman tason teknologian työkaluja ja integroimaan ne opetusmenetelmiin. Integroinnin tarkoituksena on opetuksen ja oppimisen tehostaminen. Oppimisen tukemiseksi ja opiskelijoiden sitouttamiseksi on tärkeää käyttää parhaimpia ja uusimpia oppimisstrategioita ja -työkaluja. Tavoitteena on tarjota opiskelijoille rikkastettu koulutus, joka tarjoaa pääsyn tietoihin ja materiaaleihin, joita ei ole muualta saatavilla. Näiden teknologioiden käyttö luokkahuoneissa on tuottanut hyviä tuloksia

koulutuksessa. Hallitukset ovat pakottaneet yliopistot siirtymään verkko-opetukseen ja virtuaaliopetukseen hetkessä. Kuitenkin uusien menetelmien käyttöönotto on yliopistoille pääasiassa myönteinen asia. (Alnagrat et al., 2022) Laajennetun todellisuuden avulla opetuksessa voidaan käyttää helpommin niin rikasta ja monimutkaista sisältöä, kuin opittava aihe vaatii. Myös opiskelijan ikään nähden voidaan soveltaa sen tasoista laajennetun todellisuuden sisältöä eli teknologia sopii kaikenikäisille opiskelijoille. Näistä myönteisistä havainnoista huolimatta VR-järjestelmät eivät ole vielä saavuttaneet laajaa käyttöä koulutuksessa (Kavanagh et al., 2017).

Tutkimustulosten perusteella laajennetun todellisuuden teknologian käyttö ja soveltaminen opetukseen on todella hyödyllistä ja kannattavaa. Vaikka ongelmakohtia on, XR-teknologioita kehitetään jatkuvasti. Tulevaisuudessa hyödyt ja mahdollisuudet tulevat varmasti voittamaan nykyiset ilmenneet ongelmat. Tällä hetkellä ei ole mahdollista, että koko opetus olisi varustettu laajennetulla todellisuudella, eikä siihen ole tarvettakaan. Luennon pitäminen voisi hyvinkin onnistua virtuaalisesti laseilla, jolloin luotaisiin samankaltainen vaikutelma kuin todellisesta luennosta. Virtuaalinen luento ei kuitenkaan ole huomattavasti parempi vaihtoehto kuin tavallinen luento tai etäluento Teams- tai Zoom-sovelluksen kautta. Kuitenkin, jos halutaan etänä harjoitella, muokata tai luoda jotain projektia yhdessä, olisi kannattavaa pitää Teams- tai Zoom-sovelluksen vertainen virtuaalinen tapaaminen. Erityisesti ryhmätehtävät tai skenaarioiden harjoittelu on todella kannattavaa pitää simuloitusti, sillä silloin ne ovat myös huomattavasti helpompia järjestää ja pystytään tekemään jotain, mikä ei todellisessa maailmassa olisi yhtä helppoa tai mahdollista. On siis ehdottoman kannattavaa käyttää laajennetun todellisuuden teknologioita osana opetusta niin tunnepohjaisen hyödyn, uusien mahdollisuuksien kuin oppimismotivaation takia.

6. YHTEENVETO

Tutkielmassa käytiin läpi laajennetun todellisuuden tuomia hyötyjä ja mahdollisuuksia opiskelijoille ja soveltuvuutta opetukseen. Laajennetun todellisuuden soveltaminen opetukseen vaikuttaa huomattavasti opiskelijoihin ja oppimistuloksiin. Se kasvattaa opiskelumotivaatiota, vahvistaa tunneyhteyttä, parantaa ongelmanratkaisukykyä ja tämä kaikki tehostaa oppimista ja tunnepohjaista kokemusta opiskelusta. On hieman vaikeaa verrata lisätyn todellisuuden teknologioita vaikutuksiltaan keskenään, sillä eri lähteet osoittivat hieman eri tuloksia. Itselleni tuotti vaikeuksia arvioida

teknologioiden tehokkuutta oppimisessa, sillä oppimisen tekijöitä on monia. Toisaalta aihetta tutkitaan ilmiönä ja siinä mielessä laajennetun todellisuuden hyödyistä ja mahdollisuuksista opiskelijan näkökulmasta on yritetty kertoa mahdollisimman kattavasti ja monesta eri näkökulmista.

Laajennetun todellisuuden teknologioissa on vielä parannettavaa. Erityisesti lisättyä todellisuutta on vielä kehitettävä käytettävyyden ja käyttäjäkokemuksen suhteen. Opiskelijoille on tarjottava yksinkertainen käyttöliittymä ja välittömät opasteet. Tämä on tärkeää niin oppimismotivaation kuin keskittymisen suhteen. Virtuaalitodellisuus tarjoaa opiskelijoille rajatun tilan, minkä vuoksi opiskelijat voivat keskittyä paremmin tiettyyn asiaan tai aiheeseen. Valitettavasti kaikki opiskelijat eivät voi käyttää ja opiskella VR:llä, sillä moni kokee pahoinvointia tai huimausta päälle puettavista lasista. AR on siinä mielessä VR:ää parempi, että se vaatii vain mobiililaitteen, joka löytyy valmiiksi hyvin monelta opiskelijalta eikä sen käyttö aiheuta pahoinvointia. Myös oppimateriaalien sujuva integrointi VR-ympäristöön voi olla heikkoa, mutta sitä kehitetään jatkuvasti. Tästä huolimatta opiskelijat ovat enemmän innoissaan virtuaalitodellisuudesta, sillä se on immersivisempi teknologia kuin lisätty todellisuus. Itse koen, että lisätystä todellisuudesta opetuksessa oli laajemmin tietoa saatavilla kuin virtuaalitodellisuudesta todennäköisesti sen takia, että AR on yksinkertaisempi integroida opetukseen. Näiden kahden teknologian vertailu ei ole tutkielman tarkoitus, mutta on silti mielenkiintoista verrata niitä soveltuvuuden ja käytettävyyden kannalta. Sekä lisätty todellisuus että virtuaalitodellisuus toisivat yhdessä epäilemättä mielenkiintoa ja positiivista vaikutusta opiskeluun.

Yleisesti ottaen laajennetun todellisuuden teknologiat opiskelijoiden keskuudessa otetaan positiivisesti vastaan ja konkreettisia parannuksia oppimistuloksissa on huomattu. Keskeisimpiin laajennetun todellisuuden tuomiin opiskelumahdollisuuksiin kuuluu immerstiivinen oppiminen eli opiskelija tuntee olonsa uppoutuneeksi käsiteltävään aiheeseen sekä yhteistyö täysin uudella tasolla. Myös ongelmanratkaisukyky, muisti ja erityisesti motivaatio vahvistuvat. Uusi teknologia mahdollistaa sellaisten asioiden tekemisen, mikä olisi tavallisessa oppimisympäristössä mahdotonta järjestää. Tästä päätellen voidaan todeta, että lisätyn todellisuuden teknologioista on paljon hyötyä ja ilonaihetta juuri opiskelijoille.

Sanoisin, että tutkielman tavoitteet pääasiassa toteutuivat, sillä tutkielma vastasi kokonaisuudessaan tutkimuskysymyksiin. Löydettyjen vastausten perusteella ei ollut vaikea arvioida käytön kannattavuutta ja sitä, miten paljon opetuksesta tulisi varustaa laajennetulla todellisuudella. Hyötyjen ja mahdollisuuksien tunnistaminen ei tuottanut

vaikeuksia, mutta niiden merkittävyyden mittaaminen oli haastavampaa. Vaikka yksittäisen hyödyn merkittävyyttä on vaikea arvioida, voi sanoa yleisen hyödyn olevan merkittävä, sillä erilaisia hyötyjen ja mahdollisuuksien muotoja ilmeni lukuisia. Hyödyt ja mahdollisuudet tulevat kasvamaan tulevaisuudessa etenkin, kun saadaan tehostetua teknologian käytettävyyttä sekä integrointia opetusmateriaaliin. Tällöin laajennettu todellisuus tulee soveltumaan erinomaisesti opetukseen ja avaa vielä enemmän mahdollisuuksia opiskelijoille. Jatkotutkimuksena voisikin miettiä, kuinka laajennetun todellisuuden teknologiat ovat valmiita käyttöön ihan käytännössä eikä vain teoriatasolla. Olisi hyödyllistä tehdä arvio siitä, mikä on teknologian käyttöönoton nykyinen tilanne ja miten sitä voisi parantaa ilmenneiden ongelmien perusteella.

LÄHDELUETTELO

- Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational research review*, 20, 1-11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>
- Alnagrat, A., Ismail, R. C., Idrus, S. Z. S., & Alfaqi, R. M. A. (2022). A Review of Extended Reality (XR) Technologies in the Future of Human Education: Current Trend and Future Opportunity. *Journal of Human Centered Technology*, 1(2), 81-96. <https://doi.org/10.11113/humentech.v1n2.27>
- Billinghamurst, M., Kato, H., & Myojin, S. (2009). Advanced interaction techniques for augmented reality applications. In *Virtual and Mixed Reality: Third International Conference, VMR 2009, Held as Part of HCI International 2009, San Diego, CA, USA, July 19-24, 2009. Proceedings 3* (pp. 13-22). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-02771-0_2
- Chen, Y. L. (2016). The effects of virtual reality learning environment on student cognitive and linguistic development. *The Asia-Pacific Education Researcher*, 25, 637-646. <https://doi.org/10.1007/s40299-016-0293-2>
- Chen, Y., Wang, Q., Chen, H., Song, X., Tang, H., & Tian, M. (2019). An overview of augmented reality technology. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1237, No.2, p. 022082). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1237/2/022082>
- Dobrowolski, P., Skorko, M., Pochwatko, G., Myśliwiec, M., & Grabowski, A. (2021). Immersive virtual reality and complex skill learning: transfer effects after training in younger and older adults. *Frontiers in Virtual Reality*, 1, 604008. <https://doi.org/10.3389/frvir.2020.604008>
- Gudoniene, D., & Rutkauskiene, D. (2019). Virtual and augmented reality in education. *Baltic Journal of Modern Computing*, 7(2), 293-300. <https://doi.org/10.22364/bjmc.2019.7.2.07>
- Guo, X., Guo, Y., & Liu, Y. (2021). The development of extended reality in education: Inspiration from the research literature. *Sustainability*, 13(24), 13776. <https://doi.org/10.3390/su132413776>
- Ibáñez, M. B., & Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers & Education*, 123, 109-123. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.002>
- Kaur, D. P., Mantri, A., & Horan, B. (2020). Enhancing student motivation with use of augmented reality for interactive learning in engineering education. *Procedia Computer Science*, 172, 881-885. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.05.127>
- Kavanagh, S., Luxton-Reilly, A., Wuensche, B., & Plimmer, B. (2017). A systematic review of virtual reality in education. *Themes in Science and Technology Education*, 10(2), 85-119.

- Kuleto, V., Stanescu, M., Ranković, M., Šević, N. P., Păun, D., & Teodorescu, S. (2021). Extended reality in higher education, a responsible innovation approach for generation y and generation z. *Sustainability*, 13(21), 11814. <https://doi.org/10.3390/su132111814>
- Lin, S., Cheng, H. F., Li, W., Huang, Z., Hui, P., & Peylo, C. (2016). Ubii: Physical world interaction through augmented reality. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 16(3), 872-885. <https://doi.org/10.1109/TMC.2016.2567378>
- Pomerantz, J. (2019). Teaching and learning with extended reality technology. *Information and technology transforming lives: connection, interaction, innovation*, 137-157.
- Ryoo, J., & Winkelmann, K. (2021). Innovative learning environments in STEM higher education: Opportunities, challenges, and looking forward. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58948-6_4
- Sala, N. (2021). Extended Reality in Education. *Chaos and Complexity Letters, Eco-System*, 15(2), 225-240.
- Schwaiger, M. (2021). Europe Needs to Integrate Immersive Learning Quickly at All Education Levels—But How? What to Learn From 25 EU Projects in This Field. *Journal of Elementary Education*, 14(Spec. Iss), 63-85. <https://doi.org/10.18690/rei.14.Spec.Iss.63-85.2021>
- Wang, Y., & Hu, X. B. (2022). Three-dimensional virtual VR technology in environmental art design. *International Journal of Communication Systems*, 35(5), e4736. <https://doi.org/10.1002/dac.4736>
- Wu, H. K., Lee, S. W. Y., Chang, H. Y., & Liang, J. C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & education*, 62, 41-49 <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.10.024>
- Yang, K., Zhou, X., & Radu, I. (2020). XR-ed framework: Designing instruction-driven and Learner-centered extended reality systems for education. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2010.13779>