

Henri Kallo

# AR-LAITTEIDEN HYÖDYNTÄMINEN OPETUKSESSA

Kandidaatintyö  
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
[Tarkastaja:] Mikko Salmenperä  
elokuu 2023

# TIIVISTELMÄ

Henri Kallo: AR-laitteiden hyödyntäminen opetuksessa  
Kandidaatintutkielma  
Tampereen yliopisto  
Automaatiotekniikan kandidaatin tutkinto  
Elokuu 2023

---

Tässä kandidaatintutkielmassa on käsitelty, mitä lisätty todellisuus tarkoittaa ja miten lisätty todellisuus eroaa virtuaalitodellisuudesta. Työssä tutkittiin, millaisilla sovelluksilla lisättyä todellisuutta tehdään ja kuinka valitaan tehtävään sopiva ohjelma. Sen jälkeen on tutkittu mahdollisia ongelmia ja haasteita, joita lisätyn todellisuuden kanssa voi olla. Näiden jälkeen käsitellään erilaisia laitteita, joita voidaan käyttää lisätyn todellisuuden kanssa.

Seuraavaksi siirryttiin sovelluksiin, joissa hyödynnetään lisättyä todellisuutta ja jotka ovat käytössä opetuksessa. Sovellukset kattavat mittavan listan opetusaloja. Sovellusten toimintaa havainnoitiin tekstimuotoisen selityksen lisäksi kuvilla ja tai kaavioilla.

Jo olemassa olevien opetuskäytössä olevien lisättyä todellisuutta hyödyntävien sovellusten jälkeen selostettiin pari esimerkkiä lisätyn todellisuuden sovelluksista, joita voitaisiin mahdollisesti soveltaa opetuskäyttöön.

Tutkimusten perusteella saatujen tulosten mukaan, lisätyn todellisuuden hyödyntäminen opetuksessa on kannattavaa. Tulosten mukaan uusien opetusmetodien käyttäminen nostattaa opiskelijoiden innostusta ja mielenkiintoa opiskeluun.

Avainsanat: Lisätyn todellisuuden käyttö opetuksessa, AR-sovellusten käyttö opetuksessa

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# ABSTRACT

Henri Kallio: Utilize of AR-equipment in teaching  
Bachelor's thesis  
Tampere University  
Automation Technology  
August 2023

---

This bachelor's thesis has discussed what augmented reality means and how augmented reality differs from virtual reality. It explores what applications are used to create augmented reality and how to choose the right software for the job. It then explored the possible problems and challenges that can arise with augmented reality. This is followed by a discussion of the different types of devices that can be used with augmented reality.

Next, we move on to applications that use augmented reality and are used in education. These applications cover an extensive list of educational domains. In addition to textual explanations, the functionality of the applications is illustrated by pictures and or diagrams.

After the existing augmented reality applications already in use in education, a few examples of augmented reality applications that could potentially be used in education are described.

The results of the studies show that augmented reality in education is a viable option. The results show that the use of new teaching methods increases students' enthusiasm and interest in learning.

Keywords: Use of augmented reality in education, Use of AR applications in education

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

# ALKUSANAT

Kandidaatin työn tekeminen on ollut allekirjoittaneelle suuri taakka ja olen iloinen, että se valmistuu. Kandidaatin työn tekeminen on tuottanut vaikeuksia ja siksi aikataulutaminen epäonnistui.

Aiheeseen perehtyminen on ollut mielenkiintoista ja olen tyytyväinen lopputulokseen. Haluan kiittää ystäviä ja perhettä tuesta ja tsempeistä sekä tarkastajaa ohjauksesta.

Kittilässä, 11.8.2023

-Henri Kallo

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. YLEISTIETOA LISÄTYSTÄ TODELLISUUDESTA.....	2
2.1 Lisätyn todellisuuden ja virtuaalitodellisuuden eroja .....	2
2.2 Yleisimpiä ohjelmia lisätyn todellisuuden tekemiseen.....	3
2.3 Yleisiä ongelmia ja haasteita.....	4
2.4 Laitteisto .....	5
2.4.1 Heijastusnäyttö .....	5
2.4.2 Hologramminäyttö.....	6
2.4.3 Silmikkonäyttö.....	6
2.4.4 Älylasit .....	7
2.4.5 Kädessä pidettävät laitteet .....	8
3. SOVELLUKSET OPETUSTARKOITUKSEEN.....	9
3.1 Olemassa olevat sovellukset.....	9
3.1.1 Fysiikka.....	9
3.1.2 Kemia .....	9
3.1.3 Astronomia.....	10
3.1.4 Matematiikka ja geometria .....	11
3.1.5 Urheilu ja harjoittelu .....	11
3.1.6 Lääketiede ja terveydenhuolto .....	11
3.1.7 Lisätyn todellisuuden sovellus anatomiassa.....	12
3.1.8 Lisätty todellisuus taiteiden opiskelun apuna.....	13
3.1.9 Maantieto.....	13
3.1.10 Lisätty todellisuus kieltenopiskelun työkaluna .....	14
3.1.11 Lisätty todellisuus tukena historian opiskelussa .....	14
3.1.12 Mikroskoopin käytön opettaminen AR-sovelluksella.....	14
3.2 Mahdollisia sovelluksia tulevaisuudessa .....	16
3.2.1 Maanalaisten verkkojen tutkiminen ja suunnittelu.....	16
3.2.2 Huolto- ja kunnossapitosovellus .....	17
4. YHTEENVETO.....	18
LÄHTEET .....	19

# KUVALUETTELO

- Kuva 1.** Heijastusnäyttö auton kojelaudalla, sivu 6
- Kuva 2.** Looking Glass -yhtiön hologramminäyttö, sivu 6
- Kuva 3.** Silmikkonäyttö Microsoft HoloLens 2, sivu 7
- Kuva 4.** Kuva älylaseista, sivu 7
- Kuva 5.** Esimerkki kädessä pidettävästä laitteesta ja Pokemon Gosta, sivu 8
- Kuva 6.** Hahmotelma tähtitieteessä käytettävän sovelluksen toiminnasta, sivu 10
- Kuva 7.** Demonstraatio EyeSI AR -simulaattorin käytöstä, sivu 12
- Kuva 8.** Magic Mirror -sovelluksen toimintaesimerkki, sivu 13
- Kuva 9.** Kaavio esittää mikroskoopin toiminnan AR-puolen rakennetta. sivu 15
- Kuva 10.** Kuvassa Trimble SiteVisionin kehittämä laite, sivu 16

# LYHENTEET JA MERKINNÄT

AR	Augmented reality eli lisätty todellisuus
VR	Virtual reality eli virtuaalitodellisuus
3D	three dimensional eli kolmiulotteinen
UI	User interface eli käyttöliittymä
SDK	Software Developer Kit eli ohjelmistonkehityspaketti
HUD	Heads-up display eli heijastusnäyttö
HMD	Head-mounted display eli silmikkonäyttö
QR-koodi	Quick Response eli ruutukoodi, kaksiulotteinen kuvakoodi

# 1. JOHDANTO

Teknologian kehittyessä muodostuu täysin uusia systeemeitä ja tekniikoita. Aiemmin mahdottomalta tuntuneet laitteet ja keksinnöt voivat nykyään olla osa ihmisten jokapäiväistä arkea. Siksi onkin tärkeää etsiä uusille sovelluksille mahdollisia käyttötarkoituksia vanhoissa käyttökohteissa, jolloin voidaan tehostaa aiempia metodeja tai mahdollisesti luoda niistä mielenkiintoisempia.

Tämän kandidaatintyön metodi on kirjallisuusselvitys, jonka aiheena on AR-laitteiden hyödyntäminen opetuksessa. Tässä kirjallisuusselvityksessä kootaan esimerkkejä toimivista AR-sovelluksista ja esitellään yleisiä asioita, jotka liittyvät aiheeseen.

AR (*augmented reality*) tarkoittaa lisättyä todellisuutta. Työssä käsitellään aluksi, mitä lisätty todellisuus on ja miten sitä luodaan. Lisäksi tarkastellaan erilaisia laitteita ja välineitä, joissa hyödynnetään AR-sovelluksia. Laitteiden saatavuus, hinta sekä eri laitteiden yhteensopivuus voivat rajoittaa niiden käytön yleistyneisyyttä.

Lisäksi tutkitaan, millaisia AR-sovelluksia on jo olemassa, miten niitä voitaisiin hyödyntää opetustarkoituksessa ja siten tehdä oppimisesta monimuotoisempaa ja tehokkaampaa. Työssä pohditaan myös, millaisia sovelluksia voisi toteuttaa lähitulevaisuudessa tai millaisista sovelluksista voisi olla hyötyä opetuksessa, mutta monimutkaisuutensa vuoksi ei ole mahdollista vielä hetkeen.



## 2. YLEISTIETOA LISÄTYSTÄ TODELLISUUDESTA

Tässä luvussa tutustutaan tarkemmin lisättyyn todellisuuteen. Luvussa tarkastellaan, millaisilla ohjelmilla luodaan lisätyn todellisuuden sovelluksia ja millaisia ongelmia näiden sovellusten tekemisessä voi olla sekä millaisia laitteita markkinoilta löytyy kuluttajien käyttöön.

### 2.1 Lisätyn todellisuuden ja virtuaalitodellisuuden eroja

Kaikille ei ole selvää, mitä eroavuuksia lisätyllä todellisuudella sekä virtuaalitodellisuudella on. Näiden kahden tekniikan välillä on kuitenkin merkittäviä eroavuuksia.

Lisätyssä todellisuudessa käyttäjä näkee todellisen maailman esimerkiksi kameran lävitse, mutta tähän todellisuuteen lisätään sovelluksen tarkoituksenmukaisia keinotekoisia efektejä. Käsiteltävän sovelluksen tarkoituksen mukaan nämä efektit voivat olla esimerkiksi reittiopasteita navigoinnissa, haluttujen komponenttien korostamista koneen tai laitteen huollossa, heiluvia hahmoja peli- tai viihdesovelluksissa tai kasvojen maskeerausta ynnä muita vastaavia muokkauksia kasvojentunnistukseen liittyvissä sovelluksissa.

Virtuaalitodellisuudessa kaikki, mitä käyttäjä näkee, on virtuaalisesti luotua. Virtuaalitodellisuudessa käyttäjä ei näe todellista maailmaa lainkaan eli useimmissa sovelluksissa käyttäjä ei pysty näkemään omaa vartaloaan vaan toimii vain leijuvana kamerana virtuaalitodellisuuden maailmassa. Virtuaalitodellisuudessa navigoidaan fyysisillä liikeohjaimilla, jotka näkyvät virtuaalitodellisuudessa leijuvina objekteina, mikäli sovelluksessa on oleellista nähdä ne.

Lyhyesti sanottuna merkittävin ero näiden kahden sovelluksen välillä on se, että lisätyssä todellisuudessa käytetään todellista ympäristöä hyödyksi ja siihen lisätään haluttuja ilmiöitä, kun taas virtuaalitodellisuudessa kaikki, mitä käyttäjä näkee, on virtuaalisesti luotua eikä sillä ole mitään tekemistä todellisuuden kanssa. Tässä tutkielmassa keskitytään lisättyyn todellisuuteen ja sen tarjoamiin sovelluksiin ja laitteisiin.

## 2.2 Yleisimpiä ohjelmia lisätyn todellisuuden tekemiseen

Lisättyä todellisuutta voidaan tehdä nykyään useilla eri sovellusalustoilla sekä yhdistää esimerkiksi 3D-mallinnusohjelmilla esimerkiksi Blenderillä luotuja kolmiulotteisia kappaleita näihin sovelluspohjiin. 3D (*three-dimensional*) tarkoittaa kolmiulotteista. Suosittuja lisätyn todellisuuden luomiseen käytettyjä sovelluksia ovat esimerkiksi Unityn kanssa toimiva Vuforia Engine, Wikitude, Applen ylläpitämä Apple ARKit, Googlen ARCore, AR-Toolkit sekä moni muu.

Eri alustojen SDK:ssa eli *Software Developer Kiteissä*, suomeksi ohjelmistonkehityspaketeissa, on eroja. Koska erot ovat merkittäviä, kannattaa uhrata tarpeeksi aikaa tutkimiseen, mikä ohjelmistonkehityspaketti sopii parhaiten mihinkin tarkoitukseen.

Vuforia on useiden arvioiden mukaan parhaimmista, koska siinä on niin kattavat toiminnot esineiden tunnistuksen ja 3D-mallinnuksen parissa. Nämä avainasemassa olevat toiminnot ovat seuraavat: *Ground plane* eli toiminto, joka lisää horisontaaliselle, tasaiselle pinnalle sisältöä; *Visual camera* eli toiminto, joka mahdollistaa laitteen kuvan ulkopuolella olevien objektien tukemisen, sekä VuMarks, joka tukee kustomoituja merkintöjä, joita voidaan käyttää Vuforian kasvojentunnistuksessa ja joka myös muuntaa dataa haluttuun muotoon. [1]

Wikitude sopii sovelluksiin, joita käytetään iOS-, Android- ja Älylasi-laitteistoilla. Se tukee hyvin useita paikannusteknologioita sisältäen esimerkiksi maastopaikannuksen, pilvien tunnistuksen sekä etäisyyteen pohjautuvat laskelmointitoiminnot. [1]

ARKitillä tehdyt sovellukset tukevat ainoastaan Applen omia laitteita, joten se rajoittaa sitä tukevia laitteita suuresti. Ohjelmisto tukeutuu kameran sensoreista saatavaan dataan ympäristön tarkkailussa ja luo niiden pohjalta AR-näkymän. ARKitin ohjelmistokehityspaketti sisältää esimerkiksi nopean liikkeen seurannan, se havaitsee asioiden liikumisen ja hyödyntää sen dataa myöhempää prosessointia varten. Tähän liittyen myös kasvojentunnistus on tuettu. Ohjelmistokehityspakettiin kuuluu myös *Quick Look*, joka löytää automaattisesti malleille tasot, joihin ne asettuvat ja skaalautuvat sopivan kokoisiksi. Lisäksi pakettiin kuuluu useita renderöintiin liittyviä ominaisuuksia. ARKitin jokaiseen versioon tehdään myös kattava opetuspaketti, jonka avulla käyttäjillä on helpompi opetella käyttämään sovellusta. [1]

ARCore on Googlen ylläpitämä alusta Android-laitteille. ARCorelta löytyy lisätyn todellisuuden luomiseen tarvittavat työkalut, kuten liikkeentunnistus, pintojen tunnistaminen ja havainnointi sekä valotuksen arviointi. Lisäksi löytyy kaksiulotteisia kuvia ja muotoja. Eriyisesti on hyvä mainita, että ARCore tarjoaa moniajaja eli mahdollisuuden renderöidä samaa kolmiulotteista asiaa useilla laitteilla yhtäaikaaisesti. ARCore ja Vuforia toimivat

hyvin yhteen, joten on yleistä, että niitä molempia käytetään AR-sovellusten tekemisessä. [1]

ARToolKit on avoimen lähdekoodin ja täysin ilmainen ohjelmistonkehityspaketti. Aiemmistä poiketen ARToolKittiä hyödynnetään käyttöjärjestelmien, kuten Windowsin, Linuxin ja OS X:n kanssa. Avoin lähdekoodi mahdollistaa sen, että käyttäjät voivat vaikuttaa itse uusien ominaisuuksien kehitykseen. ARToolKit on julkaissut useita valinnaisia lisäosia Unityn sekä OpenSceneGraphin kanssa. [1]

## 2.3 Yleisiä ongelmia ja haasteita

Seuraavaksi käsitellään ongelmia ja haasteita, jotka ovat ilmenneet AR-laitteiden sekä ohjelmien yhteydessä. Nämä ongelmat aiheuttavat heikkoja lenkkejä tai pullonkauloja AR-tekniikan kehitykseen.

Uuden teknologian yhteydessä ongelmaksi muodostuu usein standardien puuttuminen, mikä on näkynyt myös AR-sovellusten kanssa. Standardit määrittelevät ohjelmistojen yhteensopivuuden ja sen, kuinka ne tukevat toisia vastaavia sovelluksia luoden sääntöjä ja rajoituksia kehitykseen. Näiden sääntöjen puuttuminen hidastaa ohjelmien levitystä, karsii käytettäviä laitteita ja täten vähentää AR-sovellusten kysyntää. [2]

Tietoturvallisuuden ja yksityisyyden huolet ovat läsnä AR-sovelluksissa. Käyttäjien tietämättömyys tai piittaamattomuus voi johtaa siihen, että sovelluksille annetaan liikaa oikeuksia tai sovellukset tallentavat dataa. Mikäli sovelluksiin on piilotettu haitallisia ominaisuuksia, ne voivat aktivoida huijauksia tai aiheuttaa käyttäjälle mainehaittoja. Esimerkiksi mainehaittana voisi toimia verkkokaupan sovellus, jonka avulla käyttäjä voi katsoa, miltä tuotteet näyttäisivät hänen päällään, mutta tallentaisikin käsittelemättömän kameran kuvan myöhempää levitystä varten tai muokkaisi sen vielä epäsuotuisammaksi.

Tietoturvaongelmien lisäksi lisätyn todellisuuden käyttöön sisältyy riski fyysiseen vahinkoon. Kun käyttäjän huomio on siirtynyt lisätyn todellisuuden efekteihin, se on kaikki pois ympäröivästä todellisuudesta. Esimerkiksi lisätyn todellisuuden käytöstä tunnettu Pokemon Go -peli on joidenkin tietojen mukaan aiheuttanut useita onnettomuuksia, joista osa on johtanut loukkaantumisiin ja osa jopa kuolemaan. [3]

Yksi ongelma on myös liiketoimintamallien uupuminen. AR-keskeiset liiketoimintamallit ovat usein lyhytaikaisia, ja AR-sovellus suunnitellaan vain toisen liiketoimintamallin lisä-

osaksi. Tämä johtaa siihen, että lisätty todellisuus on vain vapaaehtoinen lisuke kyseiselle tuotteelle, mutta tuote on täysin käyttökelpoinen ilmankin eikä lisäosa tuo juuri lisäarvoa tuotteelle. Näin ollen lopputulos on se, että lisäosaan pitäisi sijoittaa paljon rahaa ja sen odotettu elinikä on kohtuullisen lyhyt, jolloin sijoitettu raha menee hukkaan.

AR-tekniikan hyödyntäminen opetuksessa on tuonut positiivisia tuloksia, mutta ne eivät ole aina olleet myönteisiä. Täysin uusien opetusmuotojen hyödyntäminen aiheuttaa kognitiivisen kuormituksen kasvua, sekä mahdollisesti ongelmia käytettävyyden kanssa [4]. Kognitiivisella kuormituksella tarkoitetaan tässä tapauksessa sitä, että henkilö joutuu käyttämään enemmän ajatustyötä itse työtavan hyödyntämiseen, jolloin uuden asian oppimiseen jää vähemmän voimavaroja.

Silmikkonäytön käyttämisen tiedetään aiheuttavan osalle käyttäjistä huonovointisuutta ja huimausta. Tällaisissa tapauksissa opetuksen järjestäminen on haastavaa, kun kaikki eivät voi hyödyntää käytössä olevia laitteita. Tämän vuoksi opetustilanteet pitäisi suunnitella useammalle tavalle, jolloin tuntien suunnittelu vaikeutuu ja opettajien työmäärä kasvaa.

## 2.4 Laitteisto

Seuraavaksi esitellään erilaisia laitteita, joissa hyödynnetään lisättyä todellisuutta. Monet laitteista eivät ole suoraan opetuskäyttöön hyödyllisiä, mutta tarjoavat laajempaa kuvaa lisätyn todellisuuden mahdollisuuksista.

### 2.4.1 Heijastusnäyttö

Tekniikan yleistyttyä markkinoille on tullut runsaasti erilaisia laitteita useilta eri valmistajilta. Laittevalinnassa olennaista on tietää, mihin laitetta halutaan hyödyntää. AR-tekniikkaa hyödynnetään heijastusnäytöillä (*head up displayllä*) eli *HUDilla*, hologrammi näytöillä, älylaseilla tai käsissä kannateltavilla laitteilla. Seuraavaksi luetellaan erilaisia laitteita ja niiden käyttömahdollisuuksia. Samalla pohditaan, millaiset seikat vaikuttavat käyttömukavuuteen kuten pehmusteet, akunkesto, johtojen määrä ja tehokkuus.

Heijastusnäytön tarkoitus on pitää käyttäjän katse jatkuvasti oikeassa suunnassa ja esittää mahdollisia tietoja ja arvoja näkökentässä. Tästä esimerkkinä toimii hävittäjien kiinteät näytöt. Näistä lentäjä näkee tarvittavia tietoja, kuten horisontin suunnan, etäisyyksiä tai tähtäimen. Nykyään heijastusnäytöt ovat yleistyneet myös henkilöautoissa, ja niitä on

saatavissa muutaman sadan dollarin hintaluokissa. Näyttöön saadaan näkyviin hyödyllisiä tietoja, kuten navigaattori, nopeus- ja moottorin kierroslukumittari, ilmoituksia puhelimesta, musiikki ja kuvaa peruutuskameroista. [5], [6]

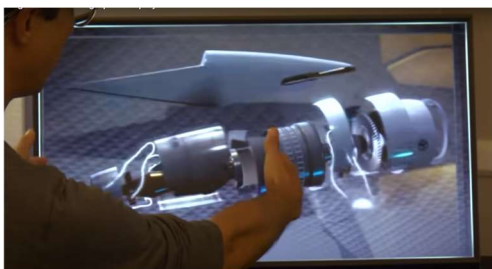


**Kuva 1:** Heijastusnäyttö auton kojelaudalla. [6]

### 2.4.2 Hologramminäyttö

*Looking Glass* yritys on valmistanut ja kehittänyt hologramminäyttöjä, joilla saadaan tarkkoja kolmiulotteisia malleja. Malleja voidaan tehdä Unity-ohjelmistolla ja valokuvilla.

Malleja on mahdollista luoda siten, että ne koostuvat osista. Niistä voidaan näyttää räjäytyskuvat, ja juuri tätä ominaisuutta voidaan hyödyntää opetuksessa. Malleja on helppompaa ymmärtää ja kehittää, kun niiden todellinen rakenne saadaan näkyviin. Hologramminäytöt eivät rajoitu vain mallien esittelyille ja räjäytyskuville, vaan niitä voidaan hyödyntää myös peliteollisuudessa. [7], [8]



**Kuva 2:** Looking Glass yhtiön hologramminäyttö. [8]

### 2.4.3 Silmikkonäyttö

Heijastusnäyttöjen ja älylasien kategoriaan kuuluu silmikkonäyttö, *HMD (head-mounted display)*. Se tarkoittaa päähän tai kypärään kiinnitettävää näyttöä. Silmikkonäytön visiiriin heijastetaan haluttuja efektejä, mutta käyttäjä voi nähdä myös visiirin lävitse.

Silmikkonäyttö on suosittu etenkin peliteollisuudessa. Esimerkkejä suosituista silmikkonäyttö laitteista VR ja AR teknologian parissa ovat Oculusin ja nykyisin Metan Quest 2 ja kuvassa 3 esitetty Microsoftin HoloLens 2.



**Kuva 3:** Silmikkonäyttö Microsoft HoloLens 2. [9]

## 2.4.4 Älylasit

Teknologia on saatu mahdutettua pieneen tilaan ja tarjolla on myös älylaseja. Älylasit ovat joko normaalien silmälasien tai aurinkolasien kokoisia ja näköisiä. Vaihtoehtoisesti ne voivat olla myös kehysten kannatteleva laitteisto. Edellä mainittu laitteisto on sangan mukaisesti menevänä moduuli, jonka sisään on rakennettu tarvittava tekniikka, sekä katsekentän eteen tuleva linssi.

Yksinkertaisimmissa älylaseissa ei ole lainkaan AR-tekniikkaa, vaan ne ovat enemmänkin langattomien kuulokkeiden ja lasien yhdistelmä. Hintavammat mallit tuovat mukanaan AR-tekniikan, ja sen tuomat mahdollisuudet. Audio-ominaisuuksien lisäksi älylaseista löytyy linssi ja kamera, jolle on monia käyttötarkoituksia. Kameralla voi esimerkiksi kuvata, lukea viivakoodeja, luoda pohja lisätyn todellisuuden efekteillä. Linssiin projektoidaan efektit. Älylaseja hyödynnetään muun muassa pelaamisessa, urheilussa sekä turismissa [10].



**Kuva 4:** Kuva älylaseista. [11], [12]

### 2.4.5 Kädessä pidettävät laitteet

AR-tekniikkaa voidaan hyödyntää myös kädessä pidettävillä laitteilla, kuten älypuhelimilla, tableteilla sekä myöhemmin esiteltävällä trimble Sitevisionin suunnittelemalla laitteella. Näistä eniten käytettyjä ovat älypuhelimet niiden yleisyyden vuoksi.

Laitteen kamera kuvaa ympäristöä ja AR-tekniikkaa hyödyntävä ohjelma lisää ja muokkaa halutut efektit kuvaan. Tästä yleinen esimerkki on Pokemon Go -peli ja sosiaaliseen mediaan keskittyvien sovellusten suodattimet ja tehosteet.



**Kuva 5:** Esimerkki kädessä pidettävästä laitteesta ja Pokemon Go:sta. [13]

## 3. SOVELLUKSET OPETUSTARKOITUKSEEN

Tässä kappaleessa perehdytään tämän kirjallisuusselvityksen tärkeimpään kysymykseen, millaisia lisätyn todellisuuden sovelluksia opetuksessa käytetään. Kappaleessa kerrotaan useista eri sovelluksista, joita käytetään monilla eri aloilla. Sovelluksien toimintaa on pyritty avaamaan. Lisäksi opiskelijoiden mietteitä sovelluksen käytettävyydestä ja hyödyllisyydestä on nostettu esille.

### 3.1 Olemassa olevat sovellukset

Nykyään lisättyä todellisuutta hyödynnetään useilla eri opetuksen aloilla ja tasoilla ympäri maailmaa. Lisättyä todellisuutta on jo sovellettu luonnontieteiden ja insinöörialojen opetuksessa, ja se on katsottu erityisen tehokkaaksi kyseisillä aloilla [14]. Lisättyä todellisuutta hyödynnetään lisäksi myös geometrian [15], fysiikan [16], kemian [17], tähtitieteen [18], matematiikan [19], urheilun, liikuntakasvatuksen [20], lääketieteen ja terveydenhuollon [21–24], anatomian [25], taiteen [26], maantiedon [27], kielten [28] sekä historian [29] opetuksessa.

#### 3.1.1 Fysiikka

Fysiikan opetuksessa lisätty todellisuus mahdollistaa muun muassa vaikeasti saavutettavien materiaalien esittelemistä, konkreettisten asioiden opettamista sekä helpottaa kokeilemista vaativien tehtävien toistettavuutta. Sovelluksien avulla opiskelijat voivat tutustua esimerkiksi ydinvoimaloiden toimintaperiaatteeseen ja nähdä laitteistoja, joiden näkeminen olisi vaikea järjestää ilman lisättyä todellisuutta.

Lisätyn todellisuuden sovellus voi myös mahdollistaa oppimisympäristön muokkaamisen yksilöllisten tarpeiden mukaiseksi. Vaikeustaso tai asiaan syventyvyys on muokattavissa lisätyn todellisuuden sovelluksissa, jolloin niitä voi hyödyntää monilla eri opetuksen tasoilla. [16]

#### 3.1.2 Kemia

Kemian opetuksessa testattiin Android-sovellusta, jonka avulla helpotettiin molekyylien rakenteen havainnollistamista. Sovellus tunnisti kameran avulla QR-koodin ja muodosti



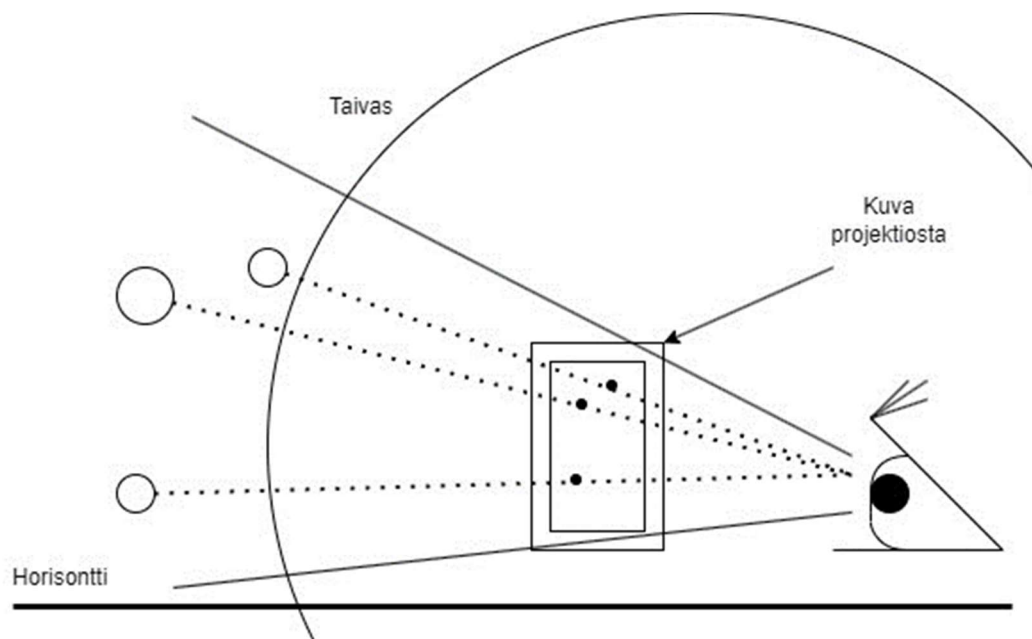
sen jälkeen valitun molekyylin kolmiulotteisen mallin näytölle. Kolmiulotteisen mallin tutkiminen on havainnollistavampaa verrattuna kaksiulotteiseen kuvaan etenkin, kun mallia voi tutkia useammasta perspektiivistä.

Kolmiulotteisen mallin tarkastelu helpottaa molekyylin isomerian ja symmetrian ymmärtämistä. Mahdollisuus mallin monipuolisempaan tarkasteluun tarjoaa hyötyjä opetuksessa ja oppimisessa. [17]

### 3.1.3 Astronomia

Lisätyn todellisuuden hyödyntäminen antaa työkaluja tähtitieteen opettamiseen ja opiskeluun. Tähtien havainnointi tapahtuu normaalisti yöaikaan, jolloin on pimeää. Taivaan kappaleiden katsominen vaatii selkeän kelin. Opetus kuitenkin tapahtuu luokkahuoneessa toimistoaikoihin ja tähtien katseluun käytettävä välineistö on usein kookasta, eikä siten löydy luokkahuoneesta. Muun muassa nämä syyt aiheuttavat haasteita tähtitieteiden opettamisessa.

Yksi merkittävin ongelma tähtitieteen opettamisessa ovat väärinkäsitykset. Niiden aiheuttajat ovat epärealistiset opetustilanteet ja paperipohjaisten tasopallojen käyttäminen, jotka vääristävät tähtikuvioiden muotoja. Opetuksessa käytettävä lisätyn todellisuuden sovellus hyödyntää digitaalista kompassia ja G-sensoria paikantamaan laitteen sijainnin sekä asennon. Näiden avulla se pystyy näyttämään näytöllä tähtien paikat kyseisen suuntauksen mukaisesti riippumatta, missä käyttäjä on maapallolla [18]. Kuvassa 6 on havainnoitu sovelluksen toimintaa.



**Kuva 6:** Hahmotelma tähtitieteessä käytettävän sovelluksen toiminnasta.

### 3.1.4 Matematiikka ja geometria

Matematiikan opetuksessa, etenkin geometrian puolella lisättyä todellisuutta saadaan hyödynnettyä muodostamalla kolmiulotteisista kuvista malleja. Niitä voidaan pyörittää ja tarkastella useammasta kuvakulmasta.

Matematiikan opiskelussa funktioiden ymmärtäminen koordinaatistossa voi olla haastavaa. Etenkin, jos funktiot saavuttavat kolmannen asteen tai sisältävät suuria määriä trigonometriaa. Coimbran tutkielmassa [19] mainitaan, että oppilaat ovat kokeneet lisätyn todellisuuden hyödyntämisen helpottavan oppimista ja lisäävän havaittavuutta.

### 3.1.5 Urheilu ja harjoittelu

Urheilun ja harjoittelun kanssa lisättyä todellisuutta voidaan soveltaa useissa eri urheilulajeissa. Teknologiaa hyödynnetään muun muassa tenniksessä, seinäkiipeilyssä, juoksussa sekä kamppailulajeissa. Lisättyä todellisuutta käytetään tekniikoiden ja asentojen parantamiseen ja liikeratojen kehittämiseen.

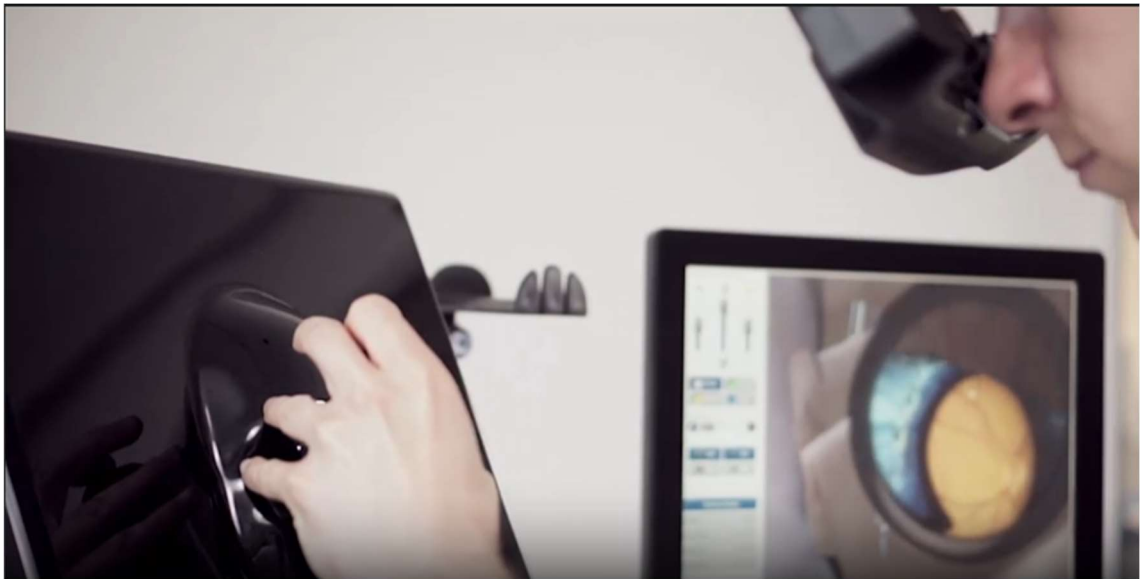
On olemassa lisättyä todellisuutta hyödyntävä sovellus, jonka avulla ohjataan sokeita juoksijoita. Ja esimerkiksi seinäkiipeilyssä lisätyn todellisuuden avulla voidaan muodostaa reittejä, joita pitkin urheilijan tulee kulkea. [20]

### 3.1.6 Lääketiede ja terveydenhuolto

Lääketieteen ja terveydenhuollon opetuksessa lisätyllä todellisuudella on erilaisia sovelluksia. Carlsonin ja Gagnon tutkielmassa [21] käsitellään sovellusta, joissa luodaan simulaatioita potilaskohtaamisista. Potilaskohtaamiset voidaan määrittää matalan- tai korkean tarkkuuden mukaisesti riippuen oppilaan kokemuksesta ja opintojen edistyneisyydestä. Oppilaan tehtävänä on tehdä kriittisiä päätöksiä sovelluksessa esitettyjen väitteiden ja kysymysten pohjalta. Tutkimuksen mukaan 87 prosenttia kokeiluun osallistuneista pitivät simulaation hyödyntämistä parempana opetusmuotona verrattuna perinteisempään opetusmalliin.

The ProMIS AR tarjoaa simulaattorin, jota käytetään kouluttamaan käyttäjälle suolistokirurgisia tehtäviä kuten ompeleita ja sigma kolektomia eli sigmasuolen poistoa [22]. Toi-

nen lisättyä todellisuutta hyödyntävä opetussimulaattoreiden kehittäjä on The ImmersiveTouch system [23], jonka tarjoama simulaattori keskittyy neurologiseen harjoitteluun. Edellä mainitun harjoitussimulaattorin käytön on katsottu vähentävän epäonnistumisia rintaruuvien asentamisessa sekä parantavan aivokammioavanteiden tekemistä. The EyeSI AR simulaattori tarjoaa käyttäjälle opetusvälineistön, jolla käyttäjä harjoittelee silmän tutkimiseen liittyvää toimenpidettä [24]. Kuvassa 7 näemme kuinka simulaattorissa käyttäjä asettaa linssin potilaan silmälle ja kuvaa sitä. Harjoituksen on katsottu nopeuttavan kuvantamisen suorittamista, kun oppilas löytää oikean kohdan ja suuntauksen nopeammin.



**Kuva 7:** Demonstraatio EyeSI AR simulaattorin käytöstä. [24]

### 3.1.7 Lisätyn todellisuuden sovellus anatomiassa

Anatomian opiskeluun suunniteltu sovellus “Magic Mirror” pyytää käyttäjää lisäämään perustietojaan järjestelmään, jonka jälkeen sovellus hakee tietopankistaan CT-kuvat, jotka sopivat käyttäjän tarjoamiin tietoihin. CT-kuvapankissa on kuvia sisäelimestä, jotka sovellus asettelee kameran kuvassa olevan henkilön päälle niihin kohtiin, joissa ne sijaitsisivat normaalisti. Kuvassa 8 havainnoidaan sovelluksen toimintaa.

Sovellus tarjoaa käyttäjälle peruskäsitteen sisäelinten sijainneista ja niiden toiminnoista. Sovellus tarjoaa myös harjoituksen, jossa käyttäjän on aseteltava sisäelimet oikeisiin kohtiin. Sovellus pisteyttää harjoituksen ja tarkemmasta asettelusta saa enemmän pisteitä. Sisäelinten lisäksi sovellus visualisoi myös lihaksistoa ja luustoa. [25]



**Kuva 8:** Magic mirror sovelluksen toimintaesimerkki. [30]

### 3.1.8 Lisätty todellisuus taiteiden opiskelun apuna

Lisättyä todellisuutta testattiin myös taiteen parissa. Di Serion tutkimuksessa [26] ryhmä 13–16-vuotiaita nuoria olivat kahdella oppitunnilla, joissa toisessa käytettiin perinteistä kalvoesitystä ja toisessa sovellusta, joka hyödynsi lisättyä todellisuutta.

Oppituntien jälkeen tehtiin kysely, jossa keskityttiin opiskelijoiden motivaation määrään. Kyselyn perusteella tutkimuksessa päädyttiin siihen tulokseen, että erilaisten opetusmuotojen hyödyntäminen nostattaa opiskelijoiden innostuneisuutta ja siten mielenkiintoa keskittyä ja oppia.

### 3.1.9 Maantieto

Turanin tutkimuksessa [27] keskityttiin tarkkailemaan kognitiivisen kuorman vaikutusta maantiedon opiskelussa, kun oppilaat saivat käyttää lisätyn todellisuuden tarjoamia opiskelu metodeja. Kyselyn mukaan suuri osa oppilaista ei kokenut kognitiivisen kuorman kasvaneen vaan pikemminkin päinvastoin.

Osa opiskelijoista koki, että lisätyn todellisuuden käyttäminen opiskelussa teki siitä helpompaa. Uuden teknologian hyödyntäminen ei aiheuttanut kognitiivista kuormaa vaan kevensi opiskelemisen taakkaa vanhoihin malleihin verrattuna.

### **3.1.10 Lisätty todellisuus kieltenopiskelun työkaluna**

Lisättyä todellisuutta testattiin kieltenopiskelussa matkapuhelinsovelluksen avulla. Sovelluksessa käyttäjä löysi mobiililaitteen kameran avulla kohteita eripuolilta kampusta. Käyttäjä pystyi valitsemaan merkittyjä kohteita ja siten näytölle avautui selitys kohteesta.

Sovelluksen tarkoitus on tarjota käyttäjille selitys englanniksi ja siten opettaa käyttäjälle uusia vieraskielisiä sanoja ja täten laajentaa käyttäjän englanninkielistä sanastoa. Sovellus on tarkoitettu käyttäjille, joille englanti on vieraskieli. [28]

### **3.1.11 Lisätty todellisuus tukena historian opiskelussa**

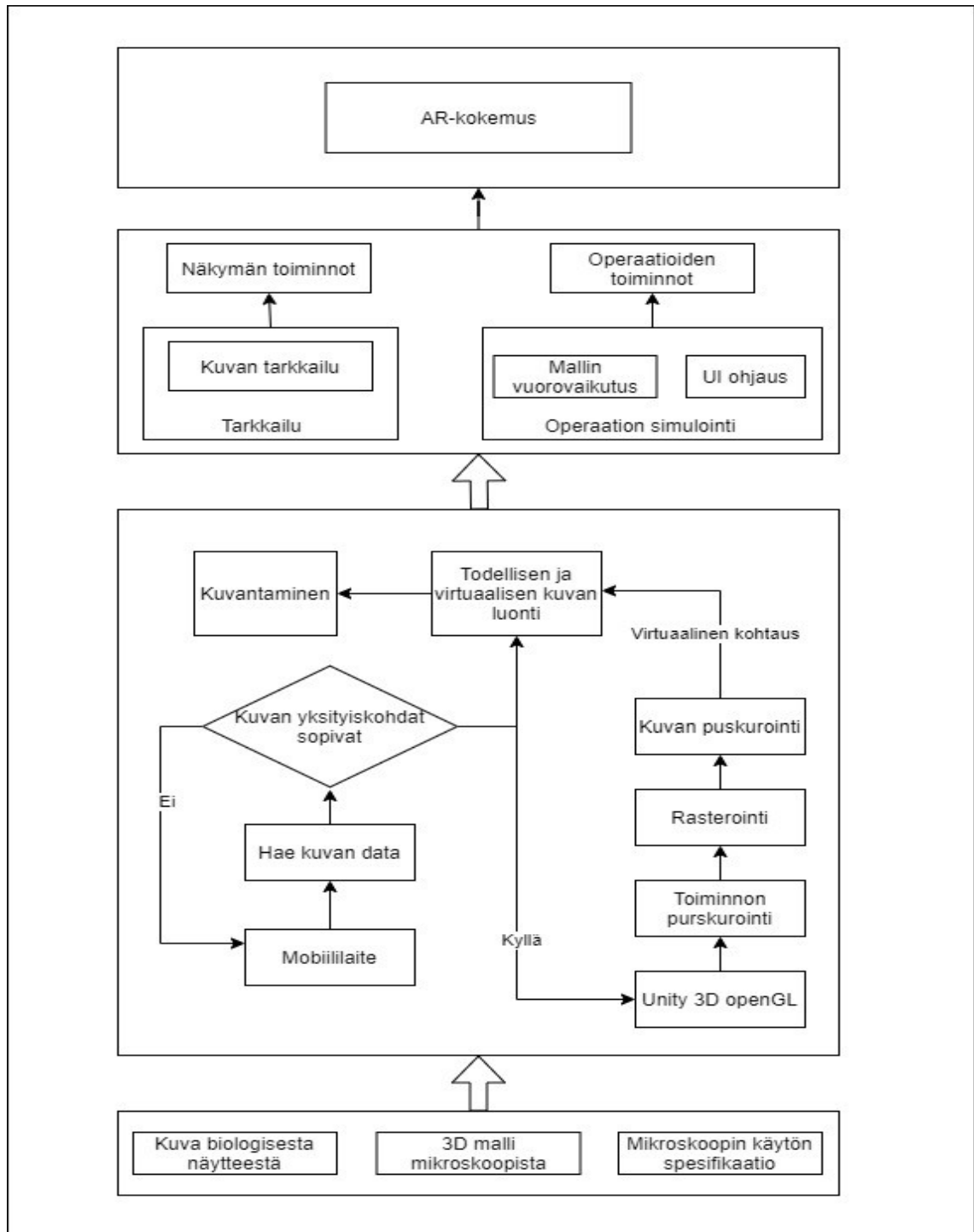
Osa historian opetuksesta koostuu perinteisesti vuosiluvuista, sodista, kartoista ja miten kartat muuttuivat sotien myötä. Lisätyn todellisuuden avulla voidaan luoda tehosteita, joiden avulla opiskelija uppoutuu paremmin opetettavan aiheen ympäristöön.

Kun opiskelijat saavat fyysisesti läsnä olevan tuntemuksen tapahtuman miljööstä, voivat he suhtautua tapahtumiin empaattisemmin. Tutkimuksen mukaan, jos historian tapahtumaan saa tunnepitoisemman otteen niin oppilaiden koetulokset ja tietämys aiheesta paraniivat [29].

### **3.1.12 Mikroskoopin käytön opettaminen AR-sovelluksella**

Fuzhoun yliopistossa tehty tutkimuksessa ”Virtual & augmented reality for biological microscope in experiment education” on tehty koejärjestelyt, joissa opiskelijoille opetetaan mikroskoopin käyttöä perinteisellä kirjaopetuksella sekä AR- ja VR-tekniikoilla. [30]

Tutkimuksessa selitetään ensin, miten mikroskoopilla operoidaan ja siten mitä asioita sen käytössä tulee huomioida. Nämä säätöön vaikuttavat elementit on huomioitu VR- ja AR-sovelluksissa. Niitä muuntelemalla mikroskoopin näkymä muuttuu, joten tällä tavalla simuloidaan oikean mikroskoopin käyttöä.



**Kuva 9:** Kaavio esittää mikroskoopin toiminnan AR-puolen rakennetta

Kokeen ensimmäisen ryhmän opiskelijat opettelivat mikroskoopin käyttöä perinteisillä keinoilla tekstikirjan avulla. Sen jälkeen tekivät testin osaamisen tarkastamiseksi ja sitten suorittivat kokeen. Toisen ryhmän opiskelijat hyödynsivät AR-tekniikkaa tekstikirjan lisäksi ja tekivät VR-tekniikan avulla testin ennen kokeen suorittamista. Kokeesta saadut tulokset osoittavat, että AR/VR-tekniikoiden hyödyntämisellä oli myönteisiä vaikutuksia.

AR-tekniikan hyödyntäminen lisäsi opiskelijoiden teoreettista tietämystä ja VR-tekniikan hyödyntäminen lisäsi merkittävästi käytännönpuolen taitoja kokeessa.

## 3.2 Mahdollisia sovelluksia tulevaisuudessa

Seuraavaksi muutama esimerkki sovelluksista, joita voisi käyttää opetuksessa taikka kouluttamisessa. Ensimmäinen esimerkki on kaupallisessa käytössä, mutta sen voisi tuoda koulutukseen. Toinen esimerkin olen keksinyt itse enkä tiedä onko sellainen kehitteillä vai onko ajatus liian monimutkainen toteuttaa käytännössä.

### 3.2.1 Maanalaisten verkkojen tutkiminen ja suunnittelu

Infrastruktuurissamme on runsaasti maanalaisia sähkö-, lämmitys- ja vesiputkiverkostoja. Näiden verkostojen kunnossapidossa törmätään ongelmiin, mikäli ei olla varmoja, miten ja missä kytkennät kulkevat. Tietämättömyydestä voi aiheutua vahinkoja ja turhia kuluja. Trimble SiteVision on suunnitellut laitteiston, jolla voidaan tarkastella kohteita niiden todellisessa kokoluokassa ja oikeassa ympäristössä lisättyä todellisuutta hyödyntäen. [31]



**Kuva 10:** Kuvassa Trimble SiteVisionin kehittämä laite. [32]

Verkostot on mallinnettu ja niihin on yhdistetty tarkat paikkatiedot, jotka mahdollistavat jopa senttimetrin tarkkuudella verkostojen tarkastelun. Verkoston näkeminen oikean

kokoisena ja todellisessa paikassa selkeyttää sen monimutkaisuuden ymmärtämistä. Tämä myös helpottaa huomioimaan puita, rakennuksia ja muita esteitä sekä mahdollisesti tuo esille, mikäli suunnitelmassa on puitteita ja jokin ei ole toteutettu järkevästi. [31]

Trimble SiteVision voisi toimia todella hyvin myös opetustyökaluna. Tällöin oppilaille voitaisiin tarjota rajattomasti oikeita, käytössä olevia esimerkkejä verkostojen asetteluista ja ongelmakohtista. Esimerkiksi tehtävänä voisi olla ahdas tila, johon tulisi mahduttaa runsaasti kytkentöjä ja päällekkäisyyksiä. Oppilaat mallintaisivat oman suunnitelmansa kohteesta, jonka jälkeen sitä voisi verrata käytössä olevaan ratkaisuun ja toisten oppilaiden suunnitelmiin.

### 3.2.2 Huolto- ja kunnossapitosovellus

Yksi sovelluksen kehitysidea on huolto- ja kunnossapitotehtävissä hyödynnettävä sovellus. Tässä sovelluksessa käyttäjällä olisi käytössään älylasit tai silmikkonäyttö. Sovellus tunnistaisi huollettavan kohteen esimerkiksi viivakoodilla tai muilla tunnistuspisteillä. Kun sovellus olisi tunnistanut huollettavan kohteen, esimerkiksi paperikoneen niin sen jälkeen sovellus tarjoaisi ohjeet, kuinka huolto suoritetaan.

Esimerkiksi kuvaan perustuvan tunnistamisen avulla sovellus tunnistaisi työstettävän kohteen osat ja siten neuvoisi työvaiheet. Ohjeet sisältäisivät tarvittavien edessä olevien suojiin ja osien irrottamiset sekä siihen tarvittavat työkalut, sovellus osoittaisi mistä kohdasta osat irtoavat. Kun tarvittavat osat olisi irrotettu ja työstettävä osa olisi näkyvässä, niin sitten sovellus neuvoisi mitä tehdä ja millaisilla välineillä. Ohjeet voisi sisältää esimerkiksi kiristysmomenteja, pulttien kokoja, osien nimiä, mahdollisia varoituksia herkistä tai kuumista osista ynnä muita hyödyllisiä huomautuksia.

Sovellus voisi sisältää yleisimmät huollot, kuten kausihuollot, öljynvaihdot tai useimmin hajoavien osien vaihtamiset. Laite voisi myös jakaa ajankohtaista kuvaa työn etenemisestä, jolloin etäkonsultaatio olisi mahdollista. Tallennetut videot tarjoaisivat todistusaineistoa tehdyistä toimenpiteistä ja opetuskäyttöön soveltuvaa lähikuvaa työntekijän näkökulmasta.

Kyseistä sovellusta voisi hyödyntää kunnossapitohenkilöiden kouluttamisessa. Tuotteiden huoltoon saisi yksityiskohtaista opetusmateriaalia, jolloin voitaisiin varmistaa, että esimerkiksi kaukana toimivien tehtaiden huoltoihin lähetettävät kunnossapitohenkilöt tietäisivät varmemmin mitä tehdä kohteessa.



## 4. YHTEENVETO

Tämän kirjallisuusselvityksen tarkoituksena oli selvittää, miten lisätyn todellisuuden sovelluksia hyödynnetään opetuksessa. Työtä ei ole rajattu vain yhden opiskelualan tutkimiseen vaan siinä on pyritty kattavaan selvitykseen erilaisista käytössä olleista sovelluksista eri aloilla. Pidin tärkeänä, että työssä pohjustetaan myös kattavasti mitä tarkoittaa lisätty todellisuus, jotta lukija pääsee heti jäljille. Kappale kaksi ja sen alakappaleen keskittyvät pohjustukseen. Pohjustukseen katsoin parhaaksi lisätä myös tietoa laitteistosta ja kuinka lisättyä todellisuutta hyödyntäviä sovelluksia tehdään. Ongelmien ja haasteiden mainitseminen on myös oleellista, jotta lukija on tietoinen myös vaaroista ja muista huomioitavista kohteista.

Oleellisin kappale työssäni on kappale kolme. Siinä on listattu kattavasti olemassa olevia sovelluksia eri aloilla. Näiden sovellusten toiminnallisuutta on avattu tekstillä, kuvilla ja kaavioilla. Kaikista suurimman vaikutuksen minuun teki lääketieteessä ja terveydenhuollossa käytettävät sovellukset, koska ne vaikuttavat todella kliinisiltä ja futuristisilta.

Sovellusten mittava määrä oli positiivinen yllätys, kuten myös lisättyä todellisuutta hyödyntävien alojen kirjon laajuus. Suunnittelin tekeväni työhön lisättyä todellisuutta tukevan sovelluksen, mutta törmäsin ongelmiin, jotka saivat minut muuttamaan tutkielmani rakennetta nykyiseen malliin. Olisi hienoa nähdä yliopistossamme opintoja, jotka hyödyntävät lisättyä todellisuutta, täten olisi mahdollista päästä itsekkin kokemaan miten tällainen uusi teknologia toimii opetuksessa.

# LÄHTEET

- [1] Program Ace, 5 Top augmented Reality Tools for App Development, 2021, Päivitetty 14.5.2021. Saatavissa (viitattu 5.5.2021): <https://program-ace.com/blog/augmented-reality-sdk/>
- [2] D. Dubrova, Augmented reality issues – what you need to know. The App Solutions. Saatavissa (viitattu 26.8.2022): <https://theappsolutions.com/blog/development/augmented-reality-challenges/>
- [3] PokemonGo death tracker, 2023, Saatavissa (viitattu 28.4.2023): <https://pokemongodeathtracker.com/>
- [4] K. R. Bujak, I. Radu, R. Catrambone, B. MacIntyre, R. Zheng, G. Golubski, A psychological perspective on augmented reality in the mathematics classroom, Elsevier. Saatavilla (viitattu 19.6.2023): <https://www.sciencedirect.com.libproxy.tuni.fi/science/article/pii/S0360131513000560>
- [5] B. Nadelm, The best car heads-up display for 2022, Tom’s Guide. Saatavissa (viitattu 22.9.2022): <https://www.tomsguide.com/best-picks/best-car-heads-up-display>
- [6] Hudway, tuote Hudway drive, 2022. Saatavissa (viitattu 22.9.2022): <https://store.hudway.co/drive>
- [7] Looking Glass Factory, EarthLink, 2022, Saatavissa (viitattu 22.9.2022): <https://lookingglassfactory.com/>
- [8] Adam Savage’s Tested, Hands-On with Looking Glass 8K Holographic Display!, Youtube-video, Saatavissa (viitattu 22.9.2022): <https://www.youtube.com/watch?v=mxhcPm6PwME>
- [9] v2, 2022, Saatavissa (viitattu 22.9.2022): <https://www.v2.fi/images/games/news/25360/pic1.jpg>
- [10] A. Syberfeldt, O. Danielsson, P. Gustavsson Augmented Reality Smart Glasses in the Smart Factory: Product Evaluation Guidelines and Review of Available Products. Saatavissa (viitattu 15.12.2022): <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7927376>
- [11] cdn, 2022, Saatavissa (viitattu 15.12.2022): [https://cdn.shopify.com/s/files/1/0594/7706/5879/products/Vuzix\\_M4000\\_Frame-001\\_1800x1800.jpg?v=1637606024](https://cdn.shopify.com/s/files/1/0594/7706/5879/products/Vuzix_M4000_Frame-001_1800x1800.jpg?v=1637606024)
- [12] Lifewire, 2022, Saatavissa (viitattu 15.12.2022): [https://www.lifewire.com/thmb/UPF34wZ0LOmlyPMDMNdwIEwu5J4=/fit-in/750x0/filters:no\\_upscale\(\):max\\_bytes\(150000\):strip\\_icc\(\):format\(webp\)/VuzixBlade-5b58945fc9e77c009724963b.jpg](https://www.lifewire.com/thmb/UPF34wZ0LOmlyPMDMNdwIEwu5J4=/fit-in/750x0/filters:no_upscale():max_bytes(150000):strip_icc():format(webp)/VuzixBlade-5b58945fc9e77c009724963b.jpg)
- [13] J. Karsten, D. M. West, Why Pokemon Go’s technology is no fad, Brookings, Saatavissa (viitattu 22.8.2023): [https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2016/07/pokemon\\_go.jpg?resize=2000,1333](https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2016/07/pokemon_go.jpg?resize=2000,1333)

- [14] M. Sirakaya, D. A. Sirakaya, Augmented reality in STEM education: a systematic review, *Saatavissa* (viitattu 20.6.2023): <https://www.tandfonline-com.lib-proxy.tuni.fi/doi/full/10.1080/10494820.2020.1722713>
- [15] S. Gargrish, A. Mantri, D. P. Kaur, Augmented Reality-Based Learning Environment to Enhance Teaching-Learning Experience in Geometry Education, *Saatavissa* (viitattu 20.6.2023): <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050920314824>
- [16] M. Fidan, M. Tuncel, Integrating augmented reality into problem based learning: The effects on learning achievement and attitude in physics education, *Saatavissa* (viitattu 20.6.2023): <https://www-sciencedirect-com.libproxy.tuni.fi/science/article/pii/S0360131519301885>
- [17] F. S. Irwansyah, Y. M. Yusuf, I. Farida, M. A. Ramdhani, Augmented Reality (AR) Technology on The Android Operating System in Chemistry Learning, *Saatavissa* (viitattu 27.6.2023): <https://www.proquest.com/docview/2556524012?accountid=14242&parentSessionId=hbq2xhUUC2Lje1n1f9iu-WIa1Nrh0RrHTwpdlQ5tnHYw%3D&pq-origsite=primo>
- [18] J. Zhang, Y. Sung, H. Hou, K. Chang, The development and evaluation of an augmented reality-based armillary sphere for astronomical observation instruction, *Saatavissa* (viitattu 27.6.2023): <https://www-sciencedirect-com.lib-proxy.tuni.fi/science/article/pii/S036013151400013X>
- [19] T. Coimbra, T. Cardoso, A. Mateus, Augmented reality: An Enhancer for Higher Education Students in Math Learning?, *Saatavissa* (viitattu 7.7.2023): <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050915031233>
- [20] P. Soltani, A. H.P. Morice, Augmented reality tools for sports education and training, *Saatavissa* (viitattu 7.7.2023): <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360131520301226>
- [21] K. J. Carlson, D. J. Gagnon, Augmented Reality Integrated Simulation Education in Health Care, *Saatavissa* (viitattu 7.7.2023): <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1876139915001012>
- [22] K. S. Tang, D. L. Cheng, E. Mi, P. B. Greenberg, Augmented reality in medical education: a systematic review, *Saatavissa* (viitattu 8.8.2023): <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7082471/>
- [23] Immersive Touch, 2023, *Saatavissa* (viitattu 8.8.2023): <https://www.immersive-touch.com/immersivesim-ar-vr>
- [24] VRmagic, Eyesi Indirect, 2023, *Saatavissa* (viitattu 8.8.2023): <https://www.vrmagic.com/medical-simulators/eyesi-indirect/>
- [25] M. Ma, P. Fallavollita, I. Seelback, A. M. Von Der Heide, E. Euler, J. Wascike, N. Navab, Personalized Augmented Reality for Anatomy Education, *Saatavissa* (viitattu 8.8.2023): <https://onlinelibrary-wiley-com.libproxy.tuni.fi/doi/full/10.1002/ca.22675>
- [26] A. Di Serio, M. B. Ibanez, C. D. Kloos, Impact of an augmented reality system on students' motivation for a visual art course, *Saatavissa* (viitattu 8.8.2023): <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360131512000590>

- [27] Z. Turan, E. Meral, I. F. Sahin, The impact of mobile augmented reality in geography education: achievements, cognitive loads and views of university students, *Saatavissa* (viitattu 8.8.2023): <https://www-tandfonline-com.lib-proxy.tuni.fi/doi/full/10.1080/03098265.2018.1455174>
- [28] P. E. Liu, M. Tsai, Using augmented-reality-based mobile learning material in EFL English composition: An exploratory case study, *Saatavissa* (viitattu 8.8.2023): <https://bera-journals-onlinelibrary-wiley-com.lib-proxy.tuni.fi/doi/full/10.1111/j.1467-8535.2012.01302.x>
- [29] J. Challenor, M. Ma, A Review of Augmented Reality Applications for History Education and Heritage Visualisation, *Saatavissa* (viitattu 8.8.2023): <https://www.mdpi.com/2414-4088/3/2/39>
- [30] X. Zhou, Virtual & augmented reality for biological microscope in experiment education, *Saatavissa* (viitattu 4.5.2021): <http://www.vrih.com/vrih/html/EN/10.1016/j.vrih.2020.07.004/article.html>
- [31] Trimble Sitevision, 2022, *Saatavissa* (viitattu 31.10.2022): <https://sitevision.trimble.com/>
- [32] Building point pacific, kuva tuotteesta, 2022, *Saatavissa* (viitattu 21.11.2022): [https://www.buildingpointpacific.com/sites/default/files/product-images/sitevision\\_2.png](https://www.buildingpointpacific.com/sites/default/files/product-images/sitevision_2.png)