

XR-DESIGN

Laajennettu todellisuus muotoilussa

Koulutusala Kulttuuriala	
Tutkinto-ohjelma Design Making -tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Ari Tarvainen	
Työn nimi XR-Design. Laajennettu todellisuus muotoilussa	
Päiväys 12.12.2021	Sivumäärä/Liitteet 73
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t)	
Tiivistelmä	
<p>Tämän opinnäytetyön taustalla olivat XR-tekniologioiden eksponentiaalinen kasvu ja koulutuksen tarve. Työn tavoitteena oli koota laaja tietoperusta XR:n kehityksestä ja sen mahdollisuuksista. Keskeisin tavoite oli opetuksen suunnittelu ja XR-tekniologioiden integroiminen korkeakouluopetukseen.</p> <p>Tutkimuksellisen kehittämistyön lähestymistapana käytettiin konstruktivistista tutkimusta, jossa aiempien kokemusten ja mallien pohjalta toteutettiin uusi konstruktio. Sen toimivuutta ja käytännön soveltuvuutta tullaan testaamaan pilottikurssin aikana. Kehittämistyön menetelminä olivat vertailukehittäminen, havainnointi ja asiantuntijahaastattelut. Tietoperustan lähteet ovat suurelta osalta englanninkielisiä tieteellisiä tutkimuksia tai muita julkaisuja. Aihepiiriin uutuuden ja tekniologioiden nopean kehityksen johdosta lähteet ovat pääasiassa 2020-luvulta.</p> <p>Opinnäytetyöprosessi perehdytti ja kehitti tekijää uudelle tekniologian alalle. Prosessin aikana kartoitettiin uudenlaista osaamista korkeakoulutukseen ja tulevaan liiketoimintaan. Lopputuloksena Savonian muotoilun opetussuunnitelmiin sisällytettiin XR Design -pilottikurssi. Kurssin jälkeen on tarkoitus selvittää opiskelijoiden kokemuksia ja kehittää tulevia koulutuksia.</p>	
Avainsanat XR, Laajennettu todellisuus, VR, Virtuaalitodellisuus, AR, Lisätty todellisuus, MR, Sekoitettu todellisuus, Yhdistetty todellisuus, Immersiivinen, Digitaalinen kaksonen	

Field of Study Culture	
Degree Programme Degree Programme in Design Making	
Author(s) Ari Tarvainen	
Title of Thesis XR Design. Extended Reality in Design	
Date 12.12.2021	Pages/Appendices 73
Client Organisation /Partners	

<p>Abstract</p> <p>The background of this thesis was the exponential growth of XR technologies and the importance of education. The aim of the work was to collect a broad knowledge base about the development of XR and its possibilities. The main goal was to plan teaching and integrate XR technologies into higher education.</p> <p>The approach of the research development work was constructive research, in which a new construction was implemented on the basis of previous experiences and models. Its functionality and practical applicability will be tested during the pilot course. The methods of development work were comparative development, observation and expert interviews. The sources of the knowledge base were largely scientific studies written in English or other publications. Due to the novelty of the topic and the rapid development of technologies, the sources were mainly from the 2020s.</p> <p>The thesis process introduced and developed the author to a new field of technology. During the process, new areas of expertise were identified for higher education and future business. As a result, the XR Design pilot course was included in Savonia Design curricula. After the course, the aim is to find out the students' experiences and develop future trainings.</p>
<p>Keywords XR, Extended Reality, X Reality, Cross Reality, VR, Virtual Reality, AR, Augmented Reality, MR, Mixed Reality, Immersive, Digital Twin</p>

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	- 6 -	4	DIGITAALISET KAKSOSET	- 42 -
1.1	Opinnäytetyön prosessi	- 6 -	4.1	Esimerkkejä digitaalisista kaksosista	- 42 -
1.2	Viitekehys	- 8 -	4.2	Teknologia digitaalisten kaksosten taustalla	- 44 -
2	KAIKKI TODELLISUUS.....	- 10 -	4.3	Digitaalisten kaksosten tulevaisuus.....	- 45 -
3	XR – LAAJENNETTU TODELLISUUS	- 20 -	4.4	Metahumans – Digitaalisesti luodut ihmiset.....	- 45 -
3.1	XR-termin määritelmä	- 20 -	4.4.1	Synteettinen media	- 46 -
3.2	XR-termin taustoja	- 21 -	4.4.2	MetaHuman Creator	- 46 -
3.3	VR – Virtuaalitodellisuus.....	- 22 -	4.4.3	Digitaalisten ihmisten tulevaisuus	- 47 -
3.3.1	Virtuaalitodellisuuden synty	- 22 -	5	XR OPETUKSESSA	- 49 -
3.3.3	Virtuaalitodellisuus koulutuksessa	- 25 -	5.1	XR opetuksen suunnittelu	- 49 -
3.3.4	Virtuaalitodellisuus viihteessä	- 26 -	5.2	Pelimoottorit.....	- 51 -
3.3.5	Eläminen virtuaalimaailmassa	- 28 -	5.2.1	Unity	- 52 -
AR – Lisätty todellisuus	- 29 -		5.2.2	Unreal Engine	- 53 -
3.3.1	Vertaus virtuaalitodellisuuteen	- 29 -	5.2.3	Pelimoottorin valinta opetukseen.....	- 55 -
3.3.2	AR-sovellusten kehitys	- 30 -	5.3	XR:n soveltuvuus korkeakouluissa ja muotoilussa.....	- 57 -
3.3.3	Puettavat AR-laitteet	- 33 -	5.4	XR Design -pilottikurssi.....	- 59 -
3.4	MR – Yhdistetty todellisuus	- 35 -	5.4.1	Ohjelmat, laitteistot ja tilat Savonian kampuksella	- 59 -
3.5	Muut XR-todellisuudet.....	- 37 -	5.4.2	Kurssin verkkosivut	- 62 -
3.5.1	CR - Elokuvallinen todellisuus	- 37 -	5.4.3	Opetussuunnitelma ja kurssin sisältö	- 63 -
3.5.2	DR - Vähennetty todellisuus	- 38 -	5.4.4	Kurssin jälkeen.....	- 64 -
3.5.3	Tulostettu todellisuus.....	- 38 -			

6 POHDINTA.....- 65 -

LÄHTEET- 67 -

KUVAT.....- 71 -

1 JOHDANTO

Miten käsitämme todellisuuden? Onko sinun todellisuutesi sama kuin minun todellisuuteni? Fyysisesti se on tunnetun ja tuntemattoman järjestelmän kokonaisuus, jota havaitsemme eri tavoin. Pystymme havaitsemaan vain pienen osan todellisuudesta, joten on paljon asioita, mitä emme pysty ymmärtämään. Ajatus on herättänyt joissakin tiedeihmisissä näkökannan, että todellisuutta voitaisiin simuloida. Simulaatiohypoteesin mukaan olemme matkalla kohti simuloitua maailmaa. Matkaa kuvataan teknologian kehitysvaiheilla. Simuloidussa todellisuudessa ei pystytä enää erottamaan todellista maailmaa simuloidusta.

Tietokonesimuloidussa virtuaalimaailmassa ihminen tiedostaa olevansa keino-todellisuudessa. Tietokoneella luodut maailmat voivat muistuttaa todellista ympäristöä tai ne voivat olla täysin kuvitteellisia. Laajennettu todellisuus (XR) viittaa kaikkiin ympäristöihin, joissa todellinen- ja virtuaalinen maailma on yhdistetty ja joissa ihmisen ja tietokoneen välinen vuorovaikutus on luotu tietokoneteknologian ja XR-laitteiden avulla. XR-teknologiat ovat kehittyneet eksponentiaalisesti ja ne ovat levinneet lähes kaikille aloille.

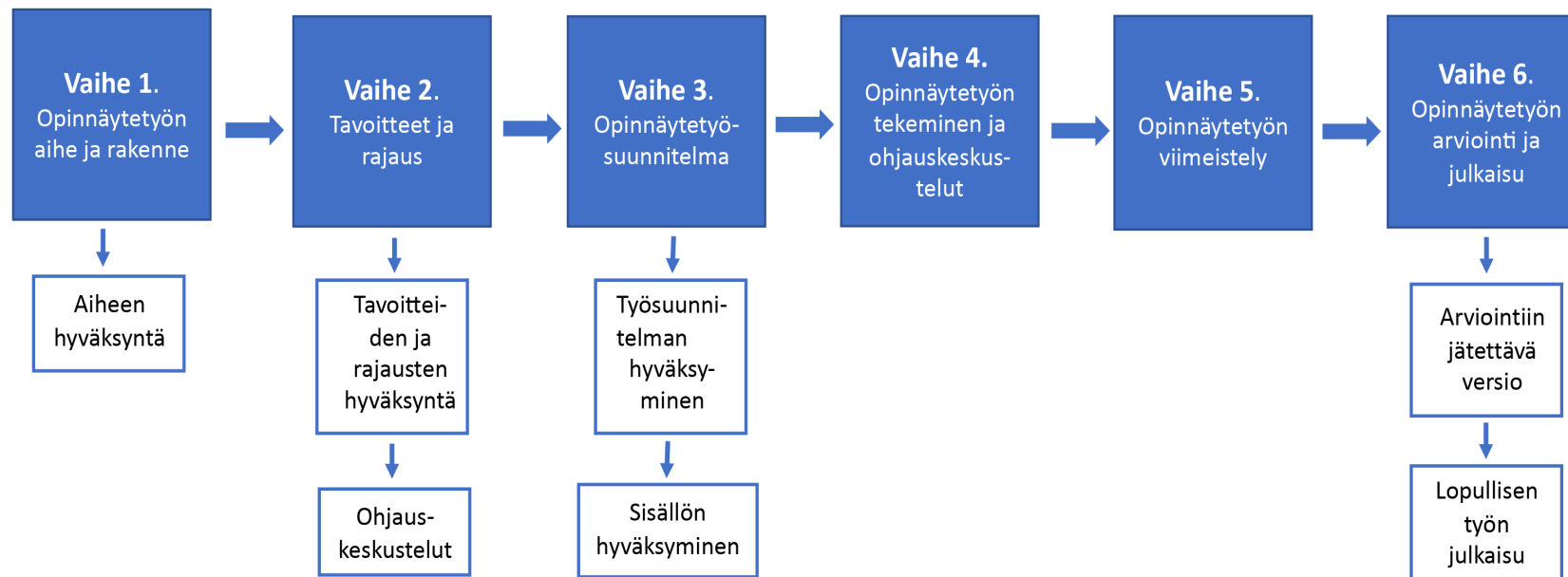
Digitaaliset kaksoset ovat virtuaalisia esityksiä, jotka toimivat fyysisten mallien tai prosessien reaaliaikaisina digitaalisina vastineina. Ne ovat 3D-malleja fyysisestä kokonaisuudesta, kuten tehdaslinjasta, rakennuksesta tai kokonaisesta kaupungista. Kun fyysisestä järjestelmästä syötetään reaaliaikaista dataa digitaaliseen kopioon, se liikkuu ja toimii aivan kuten todellinen malli. Tulevaisuudessa terveydenhuolto haluaisi hyödyntää teknologiaa virtuaalisten potilaskaksosten rakentamisella. Euroopan Unioni puolestaan haluaisi luoda digitaalisen kaksosen koko maapallosta.

Opetuksen katsotaan olevan yksi suurimmista XR:n hyödyntäjistä. Sisällöntuotanto on yksi suurimpia haasteita XR-teknologian käyttöönotolle. XR:n kehittäjiä tarvitaan lisää suuren kysynnän vuoksi. Korkeakoulujen on otettava huomioon tämä uusissa opetussuunnitelmissaan. Opetussuunnitelmien muuttaminen on pitkä prosessi ja tällä välin on löydettävä muita keinoja XR-teknologian käyttöönotolle.

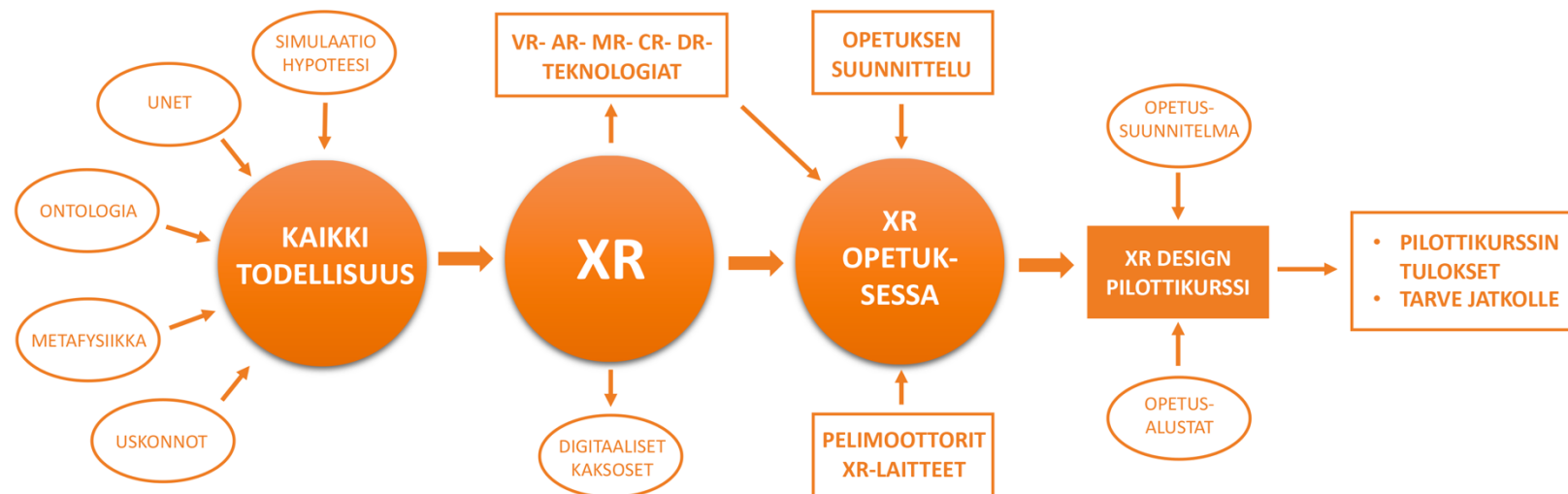
1.1 Opinnäytetyön prosessi

Opinnäytetyön prosessi on kuvattu kuuden vaiheen lineaarisena mallina (kuva 1, s.7), jossa opinnäytetyön tekeminen etenee aiheen valinnasta työn arviointiin ja julkaisuun. Vaiheiden 1 - 3 aikana opinnäytetyön ohjaaja hyväksyy työn aiheen ja sisällön. Vaiheet 4 ja 5 tekijä keskittyy opinnäytetyön toteuttamiseen. Toteutuksen yhteydessä käydään tarvittaessa ohjauskeskusteluja. Vaiheessa 6 valmis opinnäytetyö arvioidaan ja julkaistaan. Prosessin kuvaus on auttanut tekijää työn aikatauluttamisessa ja prosessin viemisessä loppuun asti.

Opinnäytetyön sisällön rakenne (kuva 2, s.7) kuvaa aihepiirien jakautumista opinnäytetyöprosessin edetessä. Sisällön rakenne on kuvattu sisällysluettelon päälukujen mukaan. Kunkin pääluvun ympärille on koottu tärkeimpiä aihekokonaisuuksia, joihin tekijä on tutustunut ennen opinnäytetyön kirjoittamista. Graafinen kaavio oli luotu opinnäytetyön suunnitelmavaiheessa ja se on auttanut tekijää rajaamaan työtä ja hahmottamaan kokonaisuutta.



KUVA 1. Opinnäytetyön prosessi (Tarvainen 2021)



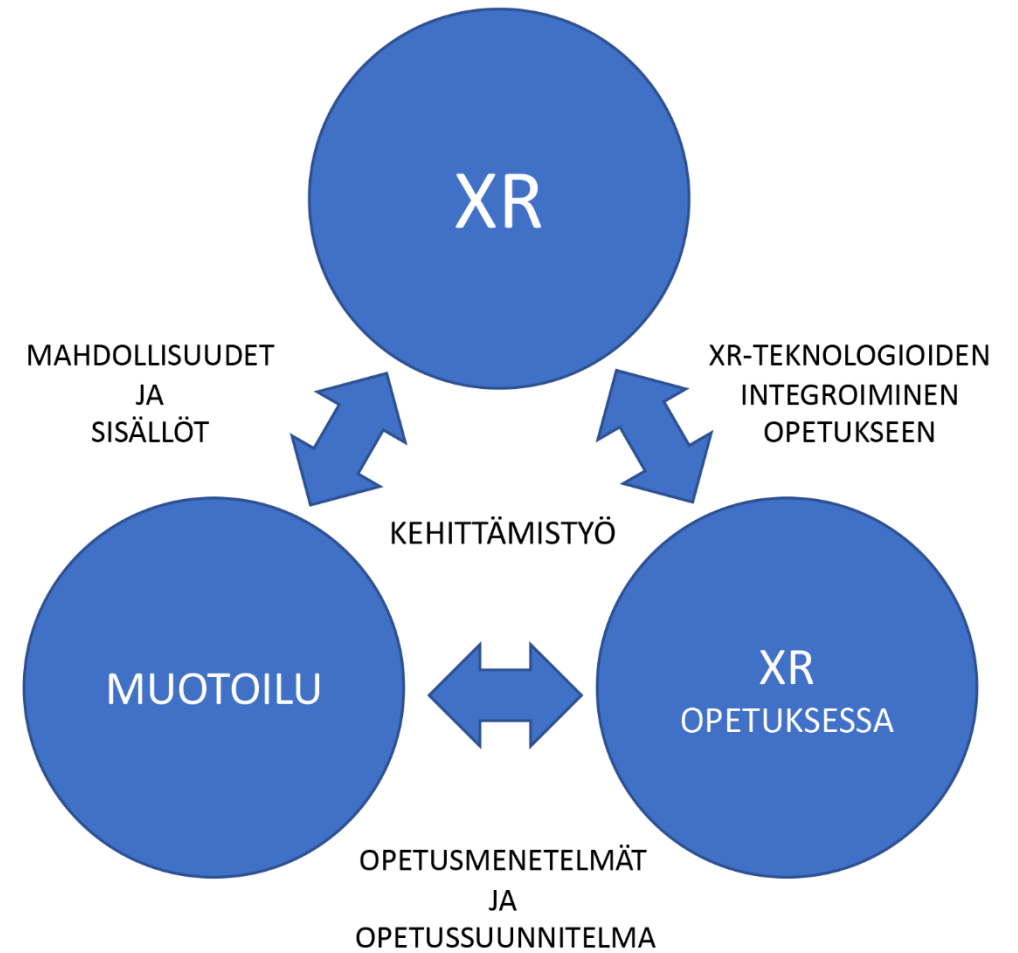
KUVA 2. Opinnäytetyön sisällön rakenne (Tarvainen 2021)

1.2 Viitekehys

XR-termillä on pitkä historia, mutta teknologiana se alkoi kasvamaan voimakkaasti vasta 2010-luvulta. Aihepiirin uutuuden vuoksi suomenkielistä lähdekirjallisuutta ei ole paljon saatavilla. Teknologian nopea kehitys vaikuttaa myös siihen, että tieto vanhenee nopeasti. Opinnäytetyön lähde-tieto koostuu pääasiassa englanninkielisistä teknologisista ja tieteellisistä julkaisuista ja tutkimuksista.

Opinnäytetyön viitekehys koostuu kolmesta osa-alueesta (kuva 3). XR-osi-ossa tutkittu laajasti XR-teknologioiden kehitysvaiheita ja niiden sovelluksia eri toimialoilla. Tietoperusta pohjautuu teknologiayritysten ja XR-kehittä-jien saavutuksien raportointiin. XR opetuksessa-osio on rajattu korkeakou-lujen XR-koulutukseen ja opetuksen suunnitteluun. Tutkimustieto perustuu yhdysvaltalaiseen "XR for Education"- tutkimukseen, joka pohjautuu yli kymmenen vuoden kokemukseen XR-alan koulutuksista. XR:n mahdolli-suudet ja teknologioiden integroiminen opetukseen ovat osa tätä kokonai-suutta.

XR:n suuntaaminen muotoilun koulutukseen perustuu osittain opinnäyte-työn tekijän omiin kokemuksiin ja havaintoihin opettajan työssä. Tiedon-haun yhteydessä on myös haastateltu asiantuntijoita. Opetusmenetelmät ja pilottikurssin opetussuunnitelma ovat tarkentuneet opinnäytetyön ede-nessä.



KUVA 3. Opinnäytetyön viitekehys (Tarvainen 2021)



Real World

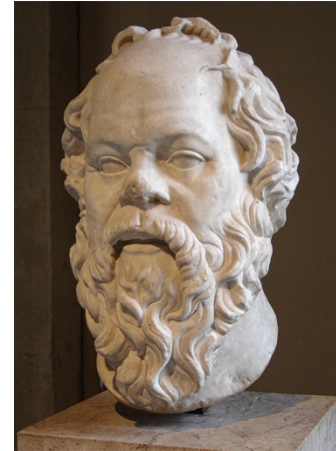
KUVA 4. Illustratio (Tarvainen 2021)

2 KAIKKI TODELLISUUS

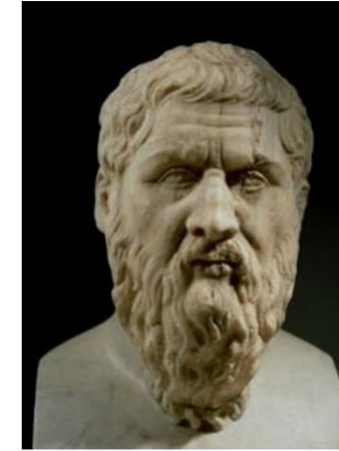
Mitä todellisuus on? Teoriat ja niiden tulkinnat ovat tuottaneet vaikeuksia kaikille niitä pohtineille. Antiikin Kreikassa Sokrateen (kuva 5) kuuluisimman oppilaan Platonin (kuva 6) filosofia jakaa todellisuuden kahteen eri tasoon. Aistittavissa olevaan alempaan todellisuuteen, joka viittaa ympärillämme olevaan maailmaan ja aistien avulla saavutettuun tietoon, joka oli hänen mukaansa muuttuvaa ja epämääräistä. Sen sijaan ymmärrettävissä ja ajateltavissa oleva korkeampi todellisuus pystyi tavoittamaan pysyvää ja todellista tietoa. (Salmenkivi 2014.)

Platonin taitavin oppilas Aristoteles (kuva 7) kutsui metafysiikkaa ”ensimmäiseksi filosofiaksi”. Se tutkii rajoittamatta kaikkea olemassa olevaa ja sen perussyitä. Metafysiikka pyrkii selvittämään ja kertomaan totuuden ihmisille ilmenevistä asioista, havainnoista ja harhoista, joissa todellisuuden perimmäinen luonne tulisi olla kenen tahansa ymmärrettävissä. (Van Inwagen 2002, 3.)

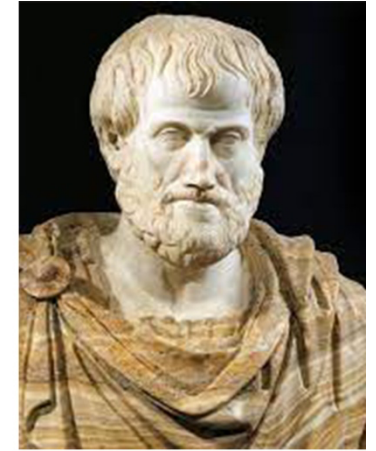
Käsitys todellisuudesta on historian aikana muuttunut useita kertoja. Renessanssin ajoista lähtien länsimaissa on kasvanut arvostelu uskonnollista näkökantaa kohtaan. 1700-luvulla filosofi Immanuel Kant (kuva 8) koki, että kristinusko, islam ja juutalaisuus esittivät virheellisen näkemyksen todellisuudesta. Hän myös näki valtauskontojen häviävän tulevaisuudessa vaiheittain. (Eskola 2009, 76.) Tieteen edistyminen johti länsimaisessa ajattelutavassa luonnontieteet vahvaan rooliin valaista tulevaisuuskäsitettä. Länsimaissa tiede jakautui yhä enemmän kahteen laajempaan lohkoon: luonnontieteisiin ja ihmistieteisiin. Samoin tieteen ja tekniikan välinen yhteys kasvoi vahvemmaksi.



KUVA 5. Sokrates (Wikiquote)



KUVA 6. Platon (Sapere)



KUVA 7. Aristoteles (Kim)

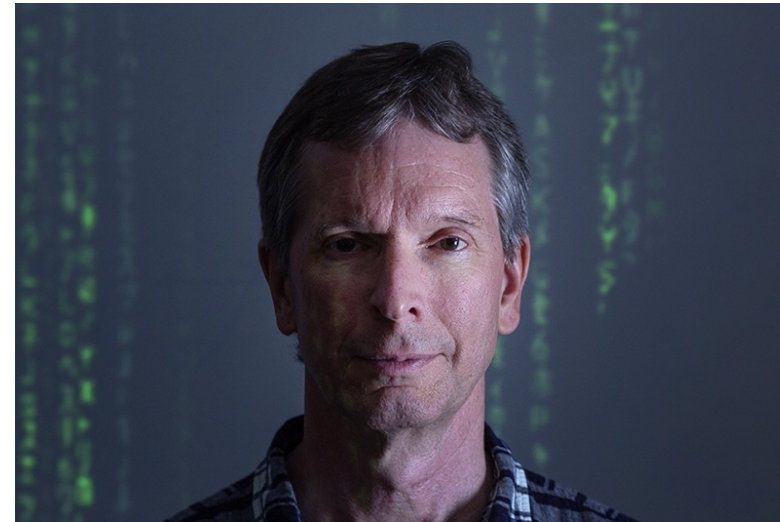


KUVA 8. Immanuel Kant (Douglas Crets)

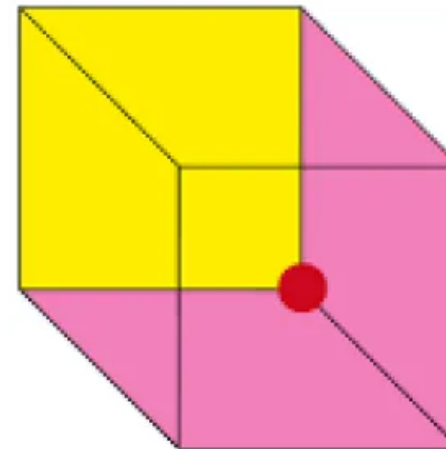
Nykyaikaisen käsityksen mukaan todellisuutta tulisi tutkia havainnon ja kokemuksen kautta, eikä niinkään pelkän matematiikan tai logiikan keinoin. Metafyysikan muoto, ontologia tutkii olemassaoloa. Ontologisen näkökannan (metafyysinen subjektivismi) mukaan todellisuuden olemassaolo on tajunnasta riippuvaista. Havainto on tämän näkökannan mukaan todellisuutta. Evoluutiossa niillä on ollut tärkeä merkitys selviytymisen ja suvunjatkamisen kannalta. (Kallio-Tamminen 2006, 232.)

Kalifornian kognitiivisen tieteen professori Donald D. Hoffman (kuva 9) on tutkinut viimeiset kolmekymmentä vuotta havainnointia, tekoälyä, aivoja ja evolutiivista peliteoriaa. Hänen mukaansa havaintojemme kautta meille esitetty maailma ei ole todellisuuden kaltainen. Aistimme muuntelevat havainnot sen mukaan, mikä meille on hyödyllisintä. Ne voivat jättää myös havaitsematta maailmasta joitakin asioita, jotka ovat evoluution kannalta merkityksellisiä. (Quanta Magazine 2019.)

Klassinen väite, että esi-isämme näkivät tarkemmin, oli kilpailuetu niitä kohtaan, jotka näkivät vähemmin tarkasti. Tuhansien sukupolvien jälkeen on uskottavaa ajatella, että me olemme niiden jälkeläisiä, jotka näkivät tarkasti, ja näin ollen meillä on tarkka näkö. Hoffmanin mukaan tämä teoria ei pidä paikkaansa. Hänen matematiikkaan pohjautuva tietokonesimulaatio evoluutiosta mallintaa havaitsemista aistien avulla. Totuutta tarkimmin kuvaavat virtuaaliset olennot, joiden odotettiin tehokkaimmin jatkavan sukuaan, eivät pärjänneet parhaiten. Tämän teorian mukaan havaitsemme todellisuutta eri tavoin. Evoluutio hyväksyy myös mallit, jotka eivät muistuta lainkaan todellisuutta. Hänen teorian mukaan havaitsemme kaikki todellisuutta hieman eri tavoin. Ihmiselle joku arkipäiväinen esine tai asia, kuten appelsiini, esittäytyy kuitenkin hyvin samankaltaisena, koska evoluution



KUVA 9. Donald D. Hoffman (Quanta Magazine)



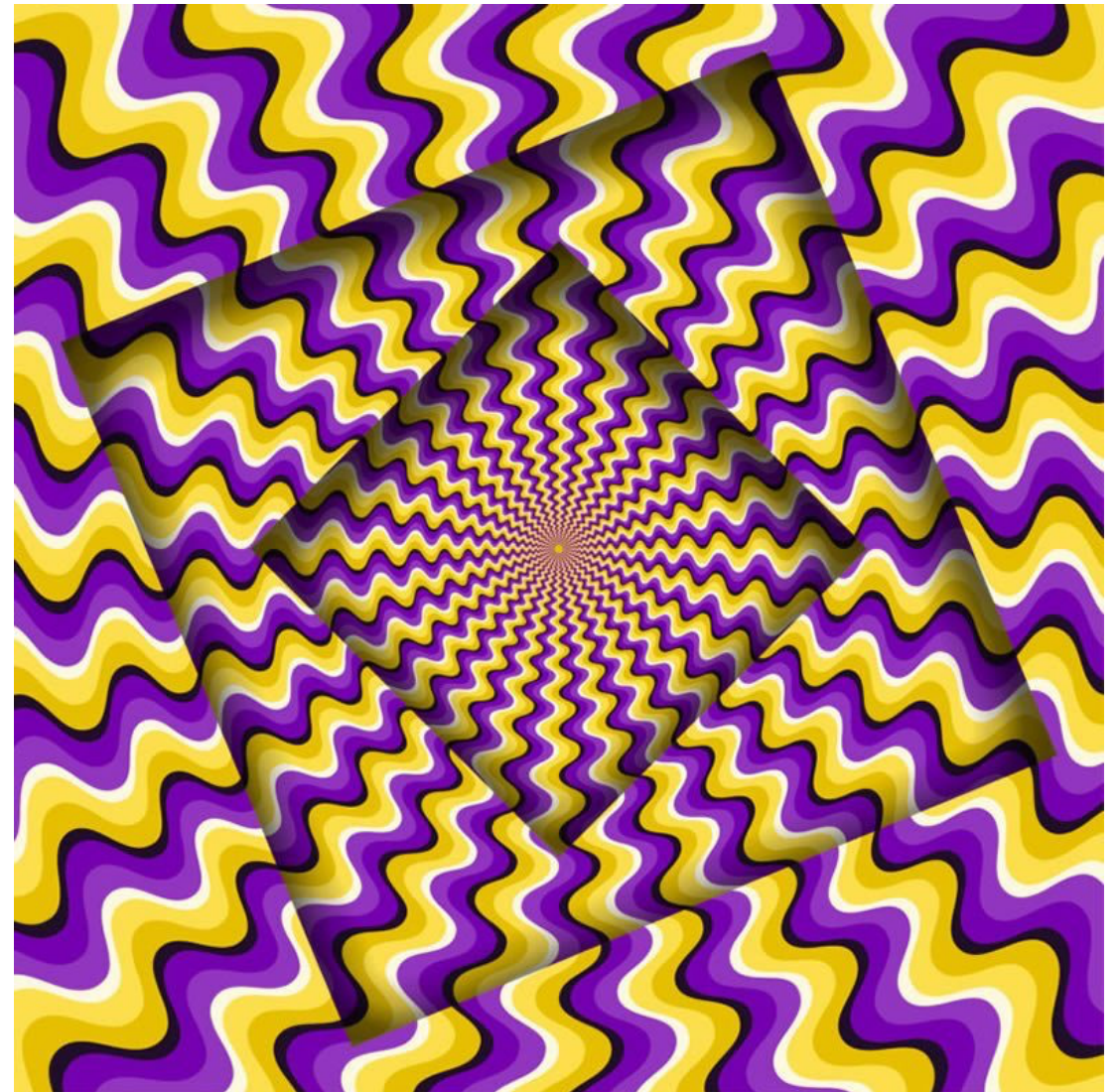
KUVA 10. Neckerin kuutio (Psychology Today)

kannalta se on osoittautunut parhaaksi tavaksi. Me emme kuitenkaan tiedä, miten se osoittautuu esimerkiksi koiralle, jonka biljoona erilaista tuoksua erottava hajuaisti ja hajumuisti ovat muodostuneet sen tärkeimmäksi aistiksi havaita ympäristöään. (Tietoisuus 2019.)

Lähes kaikki neurotieteilijät ovat samaa mieltä siitä, että vaikka käsityksemme ovat suurelta osin todenmukaisia, emme aina näe totuutta. Esimerkiksi illuusiot, kuten Neckerin kuutio (kuva 10, s 9), osoittavat, että miellemme voidaan huijata havaitsemaan asioita, joita ei ole siellä. Onko kuvassa oleva keltainen neliö kuution kaukaisin vai läheisin puoli? Kun katsoo kuutiota, voi aiheuttaa sen siirtymisen molemmille tasoille. Neckerin kuutiolla ei siis ole todellista suuntaa, vaan ainoastaan se, mikä on mielessä. Neurotieteilijät ovat käyttäneet tällaisia illuusioita väittääkseen, että kaikki käsityksemme ovat hallusinaatioita, jotka perustuvat siihen, mitä aivomme ennustavat olevan totta. Toisin sanoen, mitä näemme, ei ole vain osumaa verkkokalvolle, vaan myös käyttäjien tuottamaa kokemusta. (Psychology Today 2019.)

Vuonna 1998 Hoffman julkaisi kirjan "Visual Intelligence", jossa hän esitteli 35 sääntöä, jotka ohjaavat linjan, värin, muodon, syvyyden ja liikkeen havaitsemista. Kirjassa kerrotaan, miten ihmiset käsittelevät kaksiulotteisia kuvia luodakseen kolmiulotteisen ympäristön (kuva 11) tai kuinka yksilöt käyttävät visiointikykyään rakentaessaan maailmaa ympärilleen. Hänen mielestään havainto ei ole objektiivista todellisuutta ja hän uskoo, että olemme tarkastelleet kaikkea väärin.

Hoffmanin oletus siitä, että käytämme vain osan informaatiosta, jotka aivomme havaitsee, saa tukea muutama vuosi sitten tehdystä tieteellisestä koekkesta, jossa ryhmä vapaaehtoisia osallistui MRI-laitteella kuvattuun



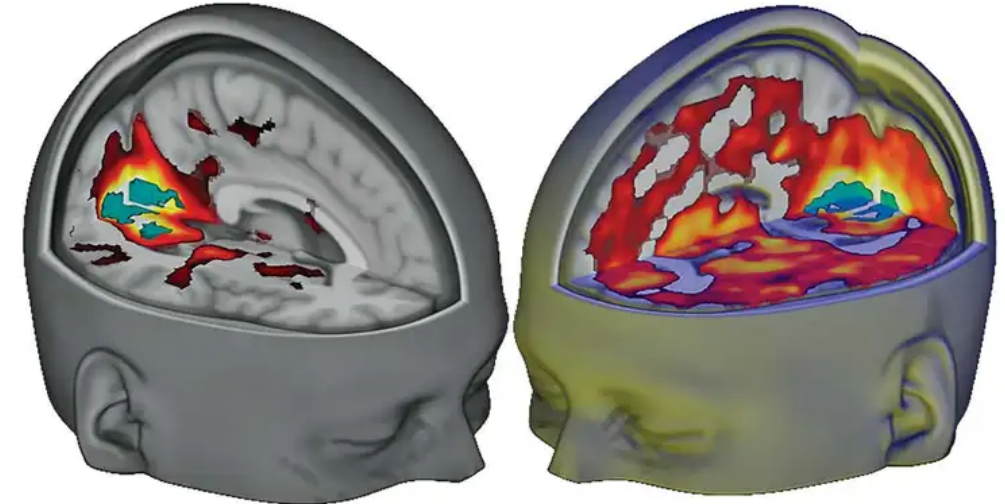
KUVA 11. Litteä paikallaan oleva 2D-kuva (Wide Insights Forum)

aivotutkimukseen. Ryhmän jäsenillä testattiin LSD:n vaikutusta aivotoimintaan. Tutkimus vahvisti vuosikymmen aikaisemmin tehdyn havainnon, että LSD vähentää informaation suodatusta aivojen muihin osiin.

Normaalisti väliaivojen sivuseinämissä sijaitseva talamus suodattaa pois sen mielestä merkityksettömät tiedot. Emme siis pysty havaitsemaan kaikkea, koska se olisi liikaa tietoa. Tämä koe jatkaa vuonna 2016 tehtyä laajaa tutkimusta, jossa LSD:n todettiin lisäävän visuaalisia näkyjä (myös silmät kiinni) aivojen usealla muulla alueella kuin pään takaosan aivokuorella, joka normaalisti käsittelee visuaalista tietoa. (kuva 12.) Osa koehenkilöistä on kertonut myös yhtenäisestä tunteesta maailmankaikkeuden kanssa. LSD:n vaikutukset ovat johtaneet tutkijoita uusiin teorioihin visuaalisista hallusinaatioista. (The Guardian 2019.)

Näkemistä on pidetty läpi historian ihmisen tärkeimpänä aistina. Yksilön kehityksen ja evoluution ansiosta olemme jo sopeutuneet ympäröivään todellisuuteen. Ihmissilmä pystyy havaitsemaan näkyvän valon, joka sijaitsee sähkömagneettisessa spektrissä 400 - 700 mm:n aallonpituusalueella. Valoinformaatio siirtyy verkkokalvon kautta näkörataa pitkin aivoihin, jonka jälkeen muistin ja muiden kehonaistien avustuksella pystymme muodostamaan näköhavainnon. (Hietanen, Visuri & Nyberg 2009.)

Aivojen luomaa todellisuutta sanotaan sisäiseksi malliksi eli skeemaksi. Näköhavainnon yhteydessä sisäinen malli olettaa ulkopuolisen maailman olevan vakaa. Todellisuus aivojen sisäisessä maailmassa rakentuu jo lapsen aivoissa, kun he liikkuvat, koskettelevat ja siirtävät kohteita ympäristössään. Sisäinen malli on kuitenkin epätäsmällinen ja matalaresoluutioinen



KUVA 12. LSD:n vaikutus aivoihin kuvantamismenetelmällä (New Scientist 2016)

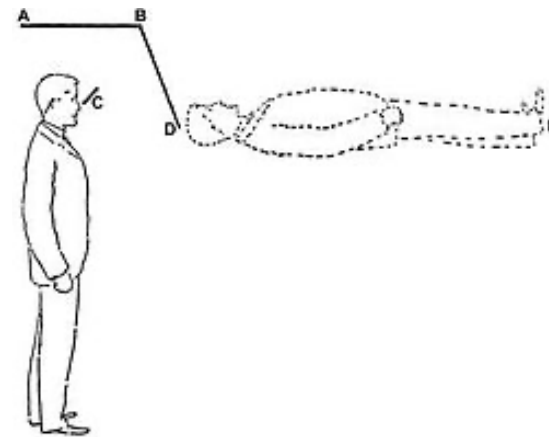
simulaatio, josta jää paljon yksityiskohtia pois. Aivot toimivat energiatehokkaasti, joten saamme katsehavainnosta vaikutelman, että olisimme nähneet kohteesta kaiken. (Eagleman 2018, 58 - 65.)

Ihmisen havaintokyky ulottuu vain pieneen osaan todellisuutta. Mikroskoopin ja teleskoopin keksimisen myötä ihminen kykenee näkemään pieniä atomeita ja avaruuden kaukaisia kohteita. Kukaan ei pysty väittämään, että näiden laitteiden avulla löydetyt maailmat syntyivät vasta silloin, kun ne pystyttiin havaitsemaan. Uusia todellisia maailmoja tulee tulevaisuudessakin havaittavaksi, kun vaan laitteemme ja kykymme tarkentuvat avaamaan ne meille. (Paloheimo 2014.)

Vuonna 1896 kalifornialainen psykologi George M. Stratton haki vastausta kysymykseensä: "Onko käännetty näkymä välttämätön edellytys sille, että näemme asiat pystyasennossa?". Hän teki useita kokeita kehittämällä erilaisia puettavia laseja (kuva 13.), jotka käänsivät näkyvän maailman ylösalaisin ja vasemman oikealle. Ensimmäisellä kerralla hän käytti linssettä vasemman silmänsä edessä peittämällä oikean silmän laastarilla. Aluksi sisätiloissa tehdyssä kokeessa esineet näkyivät käänteisinä ja havaintokyvyn motorinen koordinaatio häiriintyi. Kolmantena päivänä hän huomasi sopeutuvansa uuteen ympäristöön aivojen "käännettyä" kuvan oikein päin. Lasien käyttämisen jälkeen Stratton koki vahvaa jälkivaikutusta ja hänellä meni "oudon tutun" ympäristön takaisinsaavuttamisessa useita tunteja, sekoittaen esimerkiksi oikean vasemmasta. Myöhemmin hän toisti kokeitaan pidemmällä aikavälillä ja ulkotiloissa. Yhdessä kokeessa hän rakenteli peilejä valjaiden avulla siten, että näkökenttään tuli kuva hänestä itsestään ylhäältä päin. (kuva 14.) Inversiokokeidensa johtopäätökseksi hän totesi, että vain



KUVA 13. Strattonin lasit (Science Direct 2017)



KUVA 14. Strattonin peilikoe (Hall 2017)

todellisen kokemuksen perusteella ihminen oppii, mikä visuaalinen sijainti vastaa tiettyä kosketuksen tunnetta. Strattonin optiseen inversioon pohjautuvia teorioita ei ole tieteellisesti todistettu, mutta niitä on hyödynnetty useassa myöhemmässä tutkimuksessa. (Wade 2020, 253 - 257.)

Todellisuudessa on paljon asioita, mitä emme ymmärrä, joten voisiko olla mahdollista, että elämme simuloitussa todellisuudessa? Oxfordin yliopiston filosofi ja futurologi Nick Bostrom esitti vuonna 2003 yksityiskohtaisen argumentin simulaatiohypoteesille, jonka mukaan on mahdollista, että me elämme jo simuloitussa maailmassa. Hänen mukaansa todellisuutta voidaan simuloida niin, että sitä ei voi enää erottaa todellisesta maailmasta. Bostromin näkemystä on perusteltu muun muassa tietokonepeleillä, jotka vain muutama vuosikymmen sitten olivat varustettuja alkeellisella ja pikselöidyllä grafiikalla (kuva 15), verrattuna tämän päivän virtuaaliseen todellisuuteen, jota on jo vaikea erottaa "oikeasta" todellisuudesta. (kuva 16) Samaan aikaan aivotoiminnan kartoitus on edennyt myös huimaa vauhtia. Teknologia pystyy tulevaisuudessa, kun laskentateho kasvaa valtavasti, kehittämään simulaatioita, joita on enää mahdoton erottaa todellisuudesta. (Wox 2020.)

Space X:n ja Teslan omistaja Elon Musk sekä huippuyliopisto MIT:in tutkija ja videopelisuunnittelija Rizwan Virk jakavat Bostromin ajatukset. Muskin mielestä elämme jo korkeamman älyn luomassa simulaatiossa. Virk puolestaan uskoo, että simuloitu todellisuus voisi syntyä esimerkiksi edistyneen sivilisaation kehittämässä tietokonepelissä. 80-luvulla Pac-Manin ja Space Invadersin aikoina pelinkehittäjät eivät olisi uskoneet Fortniten ja World of Warcraftin kaltaisiin kolmiulotteisiin peleihin, koska niiden luomiseen olisi tuolloin tarvittu kaikki maailman laskentateho. (TM 2017, 2019.) Silloin ei ollut mahdollista renderöidä kaikkia pikseleitä reaaliajassa. Hän näki valtavan



KUVA 15. Pac-Man- tietokonepeli 80-luvulla (The Guardian 2020)

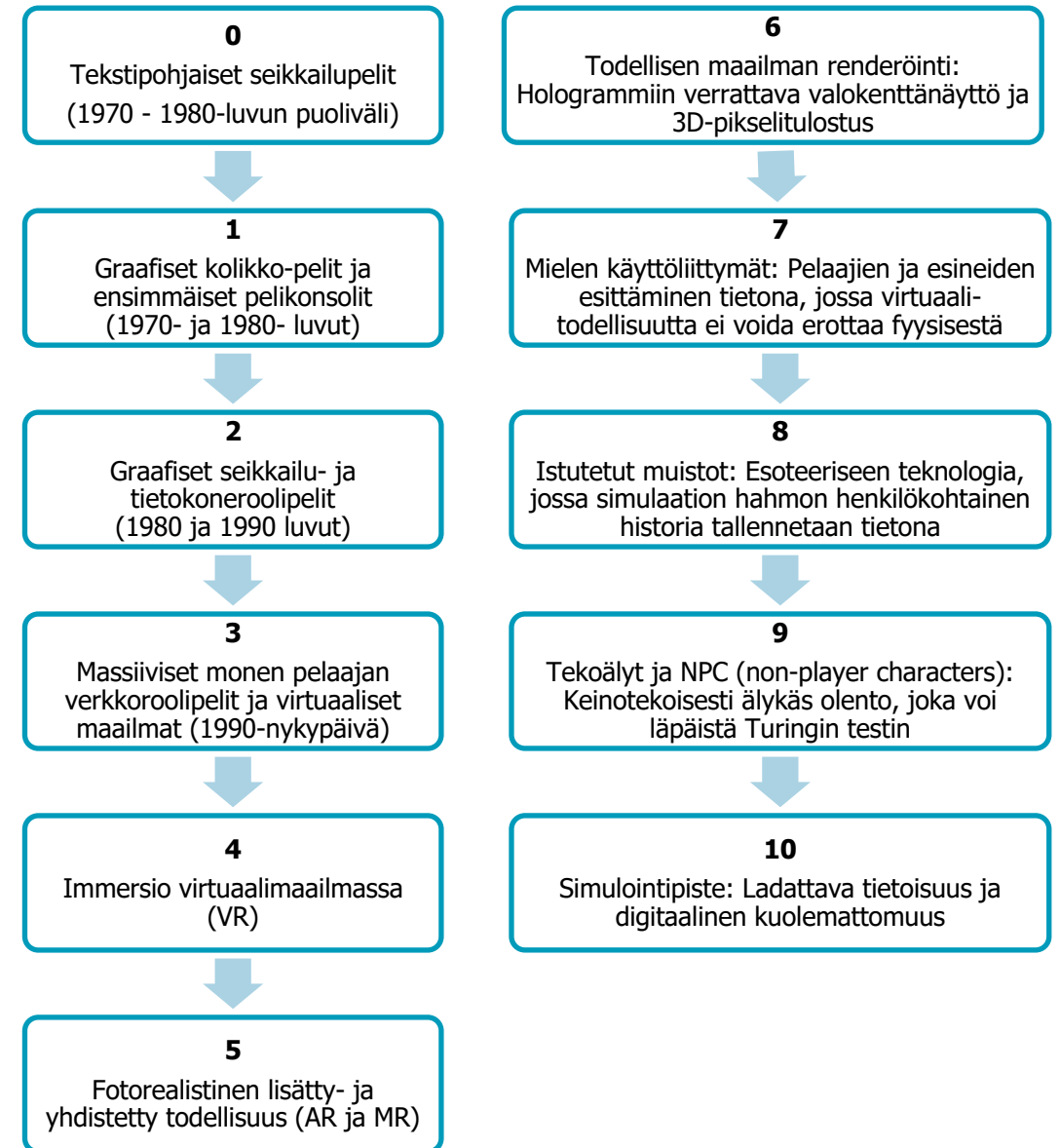


KUVA 16. Cyberpunk 2077- peli (Inspiration Grid 2019)

edistysaskeleen tapahtuvan vuonna 1993, kun Doom-tietokonepeli julkaistiin. Sen optimointitekniikan ansiosta peli renderöi ainoastaan pelaajalle tarpeelliset asiat. Kesti siis muutaman vuosikymmenen ajan, että selvitettiin, kuinka fyysisiä esineitä mallinnetaan 3D-malleilla ja miten ne renderöidään rajoitetulla laskentateholla. Tämä johti lopulta jaettujen online-videopelien virtaan. (Wox 2020.)

Virkin mukaan olemme puolivälissä saavuttaaksemme simuloitun todellisuuden. Tällä hetkellä olemme hänen esittämästään kymmenestä teknologian kehitysvaiheesta (kuva 17.) tasolla viisi, johon kuuluu nykyinen VR- ja AR-tekniikka. Tasolla kuusi meidän tulee oppia renderöimään samat asiat ilman, että käytämme minkäänlaisia laseja. Lisäksi se, että nykyiset 3D-tulostimet voivat tulostaa 3D-pikseleitä (vokseleita) esineille, todistaa sen, että suurin osa esineistä voidaan jo jakaa tietona. Hän ennustaa, että saavutamme vaiheen 10, eli simuloitupisteen, luultavasti parin vuosikymmenen ja sadan vuoden välillä. Tätä vaihetta voidaan verrata Matrix-elokuvan kaltaiseen realistiseen simulaatioon, jossa aivokuoresta tuleva signaali saatiin tuotua tietokoneelle. Teknisesti vaikeinta on saada elokuvan mukainen täysin immersiiivinen kokemus tietokoneen ja aivojen välille. Tämä aivotietokoneeliitäntä on alkuvaiheessa, mutta siinä on jo edistytty. (Wox 2020.)

Bostromin simulaatiohypoteesilla, jonka mukaan todellisuus on harhaa, on pitkä tieteellinen ja filosofinen historia. Platonin "Luolavertaus", René Descartesin "Uniargumentti", Zhuangzin "Perhosen uni" ja "Schrödingerin kissa" ovat esimerkkejä oman aikakautensa simulaatiohypoteeseista. Nykyajan tiedeihmissä ajatus saa paljon kritiikkiä, mutta on myös paljon niitä, jotka puolustavat teoriaa. Simulaatiohypoteesi sai lisää kannatusta, kun Donald



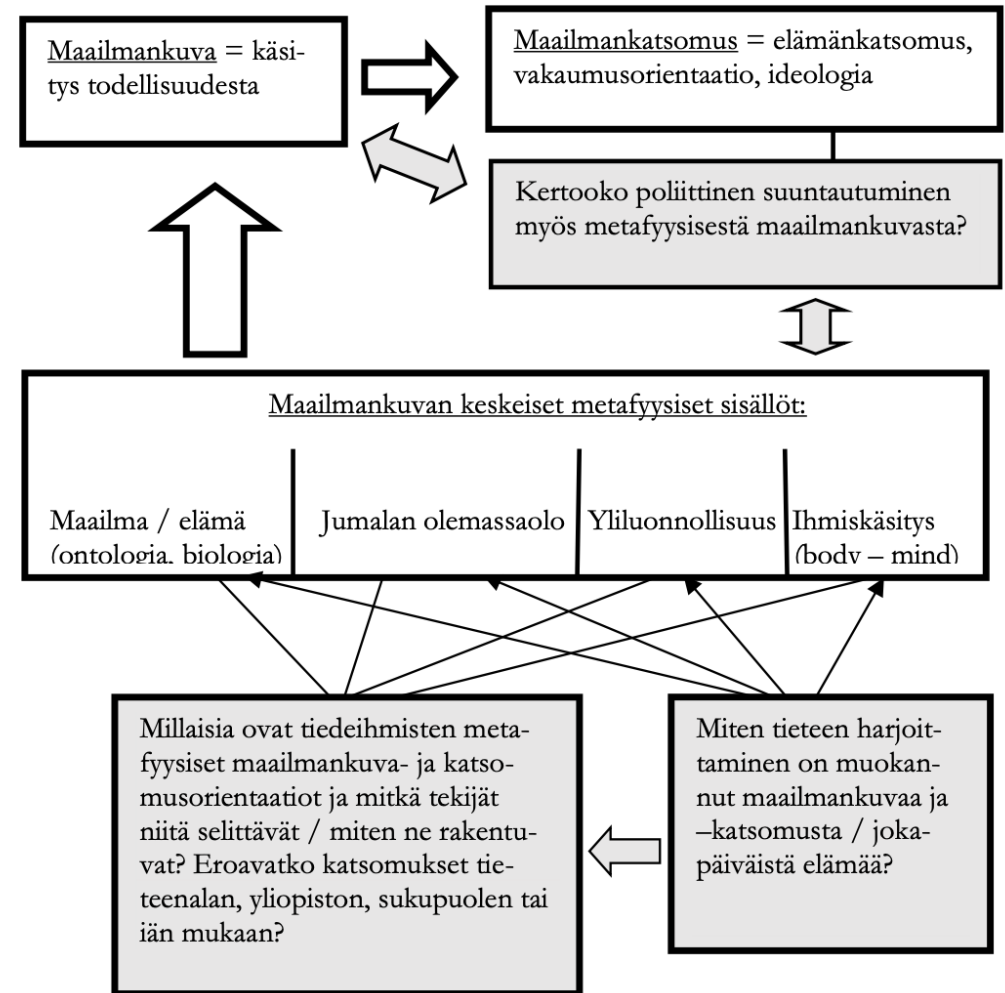
KUVA 17. Rizwan Virkin vaiheet simulaatiohypoteesissa (Tarvainen 2021)

Trump valittiin presidentiksi ja korealainen elokuva voitti eniten Oskareita. Näitä asioita ei voinut monen mielestä tapahtua reaali maailmassa.

Vuonna 2016 korkean profiilin fyysikot ja filosofit kokoontuivat New Yorkissa keskustelemaan, että elämmekö jo nyt tietokonesimuloidussa maailmassa. Bostromin simulaatiohypoteesi oli aiheista suosituin. Filosofian professori David Chalmers piti vaikeampana todellisen maailmankaikkeuden todistamisen, koska kaikki saamamme todisteet voidaan simuloida. Hän ei pitänyt ajatusta myöskään erityisen pelottavana, jos luojamme olisikin vain joku teini-ikäinen hakkeri seuraavassa universumissa. Kosmologi Max Tegmark antoi puolestaan neuvon mennä ulos ja tehdä todella mielenkiintoisia asioita, jotta simulaattori eivät sulje sinua pois päältä. (Scientific American 2016.)

Psykologian tohtori Jorma Hietämäki teki tutkimuksen väitöskirjassaan suomalaisten eri tieteenalojen yliopisto-opettajien maailmankuvista ja -katsomuksista (kuva 18). Käsitys siitä, että näkyvä maailma on jonkinlaista harhaa, sai 2,5 %:n kannatuksen. Vaikka prosenttiluku oli Hietämäen mukaan pieni, niin silti voidaan käsittää, että joka neljäskymmenes suomalainen tiedeihtinen ajattelee elävänsä simuloidussa maailmassa. Toinen mielenkiintoinen seikka kyseisessä tutkimuksessa oli, että tiedeihtimisistä suurin osa ei usko yliluonnollisiin ilmiöihin, mutta noin 40 % uskoo Jumalaan. (Hietämäki 2015.)

Simuloidussa todellisuudessa emme siis pysty erottamaan todellista maailmaa simuloidusta. Näin ollen unta voidaan pitää eräänlaisena simulaationa. Syvässä unessa opitaan tietoja ja REM-unessa taitoja. Tutkimusten mukaan REM-unen aikana rationaalista ajattelua hallitseva järjestelmä on pois päältä



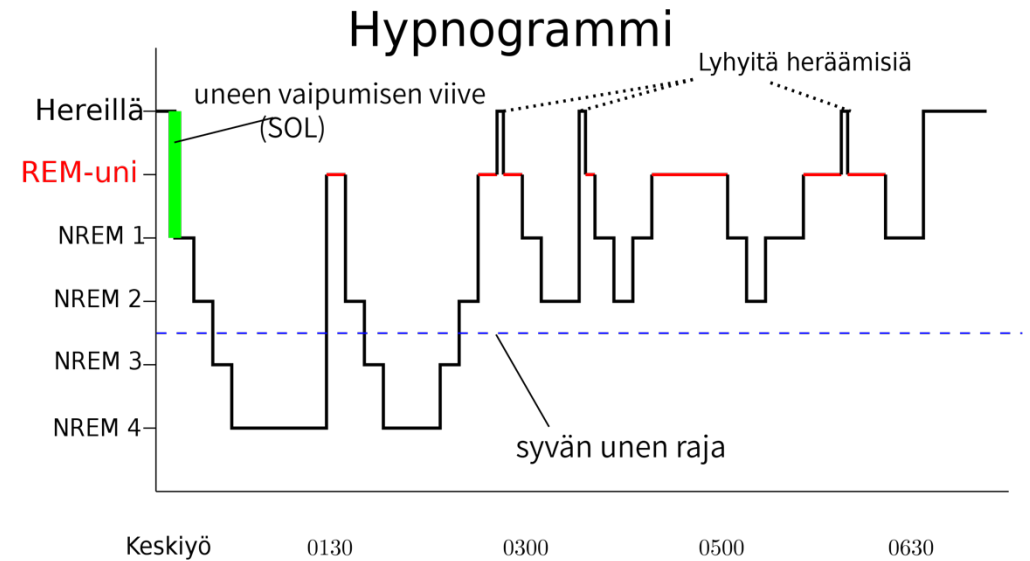
KUVA 18. Tutkimuksen keskeiset aiheet valkoisella- ja niihin liittyvät kysymykset harmaalla pohjalla (Jorma Hietämäki 2015)

ja aivojen limbinen järjestelmä, joka käsittelee tunteita, on hyvin aktiivinen. (Uniliitto 2019.) REM-uni (kuva 19.) on siis pohjimmiltaan tiedollista simulaatiota tai maailman luomista. Unien näkijä luo spontaanisti vaihtoehtoisia ja yksityiskohtaisia maailmoja ja on itse vakuuttunut niiden todellisuudesta. (Psychology Today 2020.)

Joissakin kulttuureissa unia pidetään tärkeämpänä kuin valveillaoloa. Valve-todellisuuden uskotaan olevan harhaa. Länsimaissa on vieraannuttu unien merkityksestä. Poikkeuksen tekevät lähinnä taiteilijat, jotka hyödyntävät uniaan inspiraation lähteenä (Maunonen 2016). Unissa aivojen luoma sisäinen malli ei ole sidoksissa aikaan tai paikkaan eikä logiikan tai fysiikan lainalaisuuksiin. Tutkijoiden mukaan unien tarkoitus on harjaannuttaa niiden näkijää kohtaamaan valvemaailmaa ja sen tapahtumia. (Kajava 2017.)

Turun yliopiston tajunnan tutkija ja professori Antti Revonsuo (2016, 157-158) on kehittänyt uhkasimulaatioteorian, jossa henkilökohtaiset uhkat ovat aina sidoksissa siihen aikaan ja paikkaan, jossa olemme. Uhkamuistot ovat tallentuneet tässä mallissa pitkäkestoiseen muistiimme ja toistuvat unissa herkimmin voimakkaan emotionaalisen latauksen myötä. Toisessa, sosiaalisen simulaation teoriassa koemme sosiaalisia tilanteita, joissa esiintyy yleensä 2 - 4 henkilöä tai hahmoa. Unet simuloivat sosiaalisia tilanteita, joita harjoitteleminen unissa todennäköisesti siksi, että valvetilassa meille jää epäselväksi kohtaamiemme henkilöiden toiminnan syyt ja niiden merkitykset. (Kajava 2017.)

Todellisuuden ja unen eroa on historian aikana kyseenalaistettu useita kertoja. Neljä vuosisataa eaa. kiinalainen filosofi Zhuangzi esitti "perhosen uni"- (Butterfly Dream) argumentin, jossa hän näkee unessa olevansa perhonen.



KUVA 19. Unirytmii: syvän- ja REM-unen vaiheet (Peda.net 2016)

Herättyään hän havaitsi olevansa oma itsensä, mutta hän ei kyennyt määrittelemään, että oliko hän Zhuangzi, joka unessa tunsi olevansa perhonen, vai perhonen, joka uneksi olevansa Zhuangzi. Tunnettu ranskalainen filosofi ja matemaatikko René Descartes (1596-1650) ei uskonut, että aistiemme kautta saadut tietomme ovat välttämättä tarkkoja. Hän muun muassa totesi yhdessä unessaan tuntevansa tulen antaman lämmön, vaikka tulta ei todellisuudessa ollutkaan. Tämän takia, että tuntee tulen, ei voi todistaa onko hereillä vai unessa. Lisäksi aistit voivat välittää tulen lämmön, vaikka todellisudessa ei tunne sitä. Valvemaailmassa ei siis voi luottaa, että tuli on olemassa. Descartes ei ota väitteitään kirjaimellisesti, mutta hänen ajatuksensa on se, että aisteja voidaan pettää. Jos emme voi luottaa aisteihimme ympärillämme olevasta todellisesta maailmasta, niin emme voi myöskään luottaa aistihavaintoihin perustuviin johtopäätöksiin. (Alanen 2018.)

Virtuaalimaailmassa ihminen pystyy tiedostamaan olevansa keinotodellisudessa. Tietokoneella luotu keinotekoinen ympäristö voi olla täysin kuvitteellinen tai se voi muistuttaa todellista ympäristöä (kuva 20.). Tietokonesimulointua ympäristöä voi tarkastella erilaisilla näytöillä tai katselulaitteilla. Taide, viihde ja media ovat olleet pitkään kiinnostuneita teknologioista, joilla luodaan mielikuvituksellisia maailmoja, sisällytetään kertomuksia fiktiivisiin tiloihin ja huijataan aisteja. Tietokonepelien lisäksi XR-teknologiat tulevat muuttamaan markkinoita ja mullistamaan elämäämme mahdollisesti siihen pisteeseen, jossa virtuaalimaailmasta tulee yhtä seurattava ja elämää rikastuttava asia kuin fyysisestä maailmasta. Fotorealismista on tullut tärkein kehityskohde, johon kaikki alan teknologiayritykset nyt pyrkivät. Futuristien mukaan virtuaalitodellisuuden on tarkoitus tulla täysin realistiseksi vuoteen 2030 mennessä. Tuolloin useimmat ihmiset tulevat viettämään huomattavan osan ajastaan vaihtoehtoisessa todellisuudessa.



KUVA 20. Tietokoneella luotu ja valokuvattu rakennus (Liyanage 2016)

3 XR – LAAJENNETTU TODELLISUUS

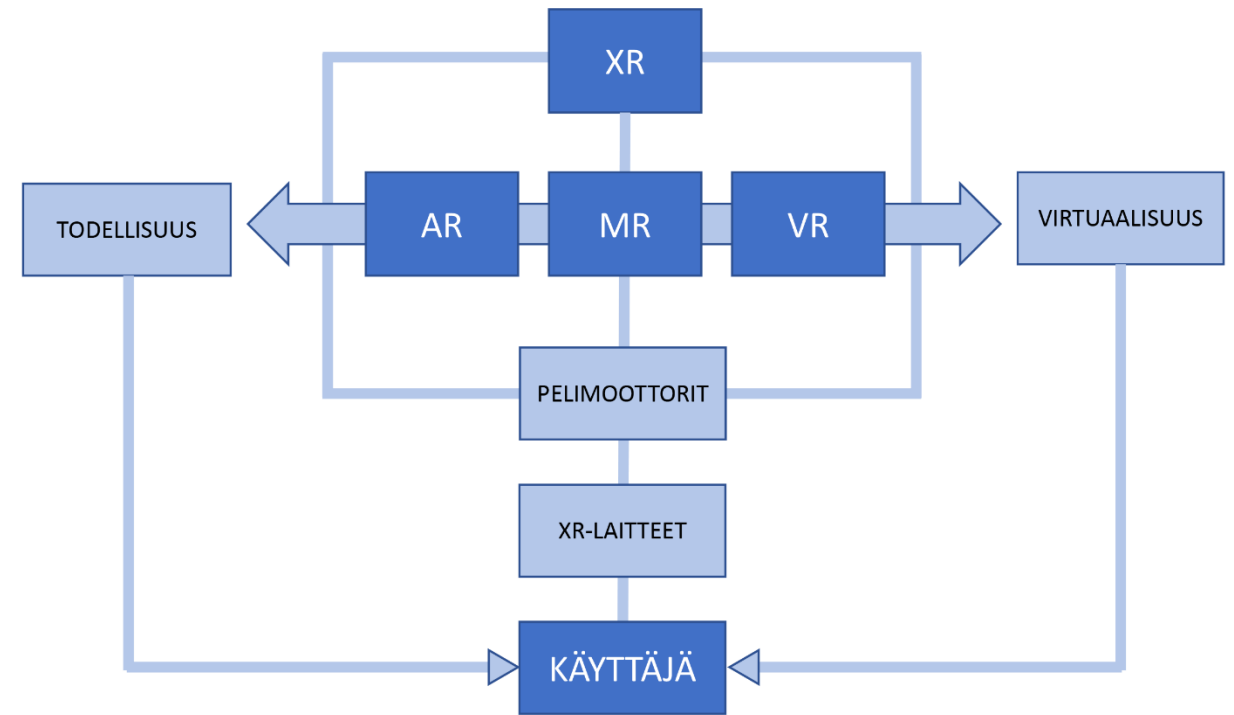
Tässä luvussa esitellään laajennetun todellisuuden käsite ja perehdytään sen sisältämiin teknologioihin (kuva 21.).

3.1 XR-termin määritelmä

Laajennettua todellisuutta tarkoittava ”XR”-termi viittaa kaikkiin ympäristöihin, joissa reaalin- ja virtuaalinen maailma on yhdistetty. Se viittaa myös ihmisen ja koneen välisiin vuorovaikutuksiin, jotka syntyvät tietotekniikan ja puettavien laitteiden välillä. Sekoitettun todellisuuden sisällönluomiseen tarvitaan olemassa olevien anturien, toimilaitteiden ja verkossa jaettujen virtuaalimaailmojen fuusiota. Uusia todellisuuden muotoja luodaan tuomalla digitaalisia objekteja fyysiseen maailmaan ja fyysisen maailman objekteja digitaaliseen maailmaan.

Englanninkielisestä sanasta Extended Reality käytetään ”XR”-lyhenteen lisäksi myös termejä ”X Reality” ja ”Cross Reality”. Laajennettu todellisuus (XR) on kattotermi. Se sisältää virtuaalisen todellisuuden (VR), lisätyn todellisuuden (AR), yhdistetyn todellisuuden (MR) ja elokuvallisen todellisuuden (CR) sekä kaiken niiden välissä olevan.

XR on laaja, osallistava ja joustava termi. Kirjain ”X” viittaa määrittämättömään muuttujaan, joka voi tarkoittaa mitä tahansa todellisuutta. Tämänhetkissä tekniikoissa silmien eteen tulee näyttöpinta tai linssi, joka heijastaa muokattua tai prosessoitua todellisuutta käyttäjälle. Ääni voi olla myös osana tätä immersivistä kokemusta.



KUVA 21. XR-teknologioiden viitekehys (Tarvainen 2021)

XR-teknologia on levinnyt jo kaikkialle. Sillä on sovelluksia arkkitehtuurissa, autoteollisuudessa, urheilussa, kiinteistömaailmassa, lääketieteessä, terveydenhoidossa, vähittäiskaupassa, avaruusmatkustamisessa, kirjastopalveluissa, koulutuksessa, uutisissa, musiikissa ja matkailussa.

XR-käsitteeseen liittyy erilaiset teoriat virtuaalisuudesta, tietokonevisioista ja koneoppimisesta sekä ihmisen ja koneen välisestä yhteistyöstä. Kasvava kymmene hallita digitaalisia laitteita tulee johtamaan biologisen- ja digitaalisen maailman sekoittumiseen. Ranskalaisen filosofi Gilles Deleuzen mukaan virtuaalisuus ei ole kuitenkaan todellisuuden vastakohta eikä digitaalinen biologian vastakohta. (Stanford 2008.)

3.2 XR-termin taustoja

Steve Mannin, Tom Furnessin, Yu Yuanin, Jay Iorionin ja Zixin Wangin vuonna 2018 kirjoittamassa tutkimusraportissa "All Reality" XR:ää tutkitaan hieman tarkemmin (All Reality 2018).

Vuonna 1961 Charles Wyckoff jätti patentin XR-elokuvalleen, joka antoi ihmisille mahdollisuuden nähdä ydinräjähdys ja muita ilmiöitä ihmisen normaalin näköalueen ulkopuolella. Kolmekymmentä vuotta myöhemmin Wyckoff ja Mann rakensivat yhdessä "XR Vision"-laitteita puettaviksi tietokoneiksi High Dynamic Range (HDR)-kuvantamisen avulla. (All Reality 2018.)

Human Eyes Corporationin johtaja Jim Malcolmin mukaan XR ei tarkoita mitään erityistä tekniikkaa. Se on sanko, johon on kerätty kaikki todellisuudet.

Human Eyes antoi uudelle Vuze-kameralleen XR-lisänimen, koska sillä voi kuvata useilla eri menetelmillä. XR:n liittäminen tuotenimeen osoittaa, että se tekee jotain enemmän. Se myös yksinkertaistaa asioita kuluttajajoukolle, jolle ei ole täysin selvillä kaikki erilaiset todellisuudet. (Wired 2019.)

Vuosien varrella Sony Corporationin kaltaiset yritykset ovat liittäneet termin "XR" joihinkin tuotteisiinsa lisäämään niihin uutta lisäarvoa. Sony haki jo vuonna 1988 XR-liitteen omaaville tuotteilleen USA:n patentti- ja tavaramerkkiviraston hyväksyntää, mutta se ei kuitenkaan pystynyt omistamaan XR-tavaramerkkiä. (Wired 2019.)

Khronos Group käynnisti vuonna 2017 "OpenXR"-nimisen aloitteen luomalla avoimen ja maksuttoman käyttöliittymäalustan ulkopuolisille kehittäjille. Tarkoituksena on valmistaa uusia sovelluksia, jotka tarjoavat tulevaisuudessa korkean suorituskyvyn pääsyn myös muihin, kuin AR- ja VR-alustoihin ja laitteisiin. (TechHQ 2019.)

XR-termistä on tullut tänä päivänä digitaalisten sisältöjen kattotermi, joita suuret teknologiayritykset, kuten Microsoft, Samsung, Apple, Google ja Facebook liittävät puhelimiin ja kasvoille tuleville laitteille (Wired 2019).

3.3 VR – Virtuaalitodellisuus

Virtuaalitodellisuus (VR) on kolmiulotteista, tietokonesimulaatiolla tuotettua aistien muodostamaa keinotekoista ympäristöä. VR-sovellukset upottavat käyttäjän immersiviseen tietokoneella luotuun ympäristöön, jossa simuloidaan keinotekoisesti todellisuutta vastaavaa tai täysin kuvitteellista ympäristöä interaktiivisten laitteiden avulla, jotka lähettävät ja vastaanottavat tietoa. Laitteina voivat toimia näytöt, laajakankaat, stereoskooppiset katselulaitteet, kuulokkeet, datakäsineet tai virtuaalivaatteet. Virtuaalitodellisuudessa hyödynnetään yleensä näkö-, kuulo- ja tuntoaisteja. Näin käyttäjälle luodaan kokonaisvaltainen vaikutelma uudesta ympäristöstä. Käyttäjä voi kiertää simuloitua tilaa, muuttaa katselukulmaa ja perspektiiviä, jotka ovat yhteydessä pään liikkeisiin ja askelmiin. Datakäsineitä käyttävä voi lisäksi poimia tai muokata esineitä, joita hän näkee virtuaaliympäristössä.

3.3.1 Virtuaalitodellisuuden synty

Virtuaalitodellisuus-termin otti käyttöön vuonna 1987 Jaron Lanier. Hänen suunnitelmansa ja tutkimuksensa edesauttoivat useiden tuotteiden syntyyn alkuvaiheessa olevalle VR-teollisuudelle (kuva 22). Kehittämistä yhdistävän ketjun tärkeissä rooleissa olivat USA:n puolustusministeriö, Yhdysvaltain kansallinen tiedesäätiö ja NASA. Kyseisten virastojen rahoittamat ja yliopistojen tutkimuslaboratorioiden toteuttamat projektit tuottivat suuren joukon lahjakkaita kykyjä tietokonegrafiikan, simulaation ja verkkoympäristöjen aloilla sekä vakiintuneita yhteyksiä akateemisten alojen, armeijan ja kaupallisen työn välille. (Lowood 2021.)



KUVA 22. Jaron Lanierin perustaman VPL-yrityksen ensimmäinen VR-laitteisto "EyePhone" 1980-luvulla Piilaaksossa. (LTX 2018)

Maalauksilla ja muilla eri tekniikoilla tehdyillä näkymillä on luotu illusiivisia tiloja asuinrakennuksiin ja julkisiin tiloihin jo antiikin ajoista lähtien ja ne huijautuivat 1700- ja 1800-luvun panoraamamaalauksiin (kuva 23). Panoraamakuvituksissa hämärtyvät visuaaliset rajat kaksikulotteisten maalausten ja kolmiulotteisten tilojen välillä paikassa, mistä niitä katsottiin. Näin luotiin illuusio upotuksesta kuvattuihin tapahtumiin. Tämä kuvaperinne kannusti luomaan joukon uusia medioita, futuristisista teatterisuunnitelmista, stereo-optikoinnista ja 3D-elokuvista IMAX-elokuvateattereihin. Fred Waller ja Ralph Walker esittelivät New Yorkin maailmanmessuilla vuonna 1939 elokuvateattereissa käytetyn laajakuvaformaatin Cineraman (kuva 24), jota alun perin kutsuttiin Vitaramaksi. Keksintö oli peräisin Wallerin tutkimuksista ja visioista syvyyden havaitsemisesta. Tutkimustyö sai hänet keskittymään perifeerisen vision merkitykseen upotuksesta keinotekoiseen ympäristöön. Hänen tavoitteenaan oli suunnitella projektiotekniikka, joka pystyisi kattamaan koko ihmisen näkökentän. Vitaraman prosessissa käytettiin useita kameroita ja projektoreita sekä kaaren muotoista näyttöä, jotta saavutettaisiin illuusio uppoutumisesta katsojan havaitsemaan tilaan. USA:n armeijan ilmavoimat käyttivät kyseistä järjestelmää toisen maailmansodan aikana sotalentokoneiden puolustusharjoituksissa nimellä "Waller Flexible Gunnery Trainer". Tästä tuli esimerkki viihdeteollisuuden ja sotilaallisen simuloinnin välisestä yhteydestä, joka edisti myöhemmin virtuaalitodellisuuden kehitystä. (Lowood 2021.)

1960-luvun lopulla Morton Heilig rakensi yksittäisen konsolin, johon oli liitetty stereoskooppisia kuvia, ääni, liiketuoli, tuoksut, puhallettu ilma ja lämpötilan muutokset. Hän oli patentoinut vuonna 1962 tämän todellisia kokemuksia vastaavan "Sensorama-simulaattorin", jonka parissa työskennellessään hän suunnitteli myös päähän asennettavan 3D-TV-näytön, jonka patentti oli jo



KUVA 23. Panoraama Gettysburgin taistelusta, maalaus Paul Philippoteaux, 1883; Gettysburgin kansallisessa sotapuistossa Pennsylvaniassa (The Salt Lake Tribune 2013)



KUVA 24. Cinerama laajakuvaformaatti (Gartenberg Media)

vuodelta 1960. Heilig ei onnistunut Sensoraman markkinoinnissa, mutta hän laajensi ideaansa useamman katsojan teatterikonseptille, joka patentoitiin Walt Disney Companylle nimellä "Thrillerama". (Lowood 2021.)

1950-luvulla tietokoneella oli vielä laskukoneen maine. Vuonna 1960 psykoakustiikkaan erikoistunut MIT:in professori Joseph Licklider esitteli ihmisen ja tietokoneen välisen symbioosin ja sovelsi psykologisia periaatteita ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutuksesta ja rajapinnoista. Hän väitti, että tietokoneiden ja aivojen välinen kumppanuus tulisi ylittämään molempien yksittäiset kyvyt. Myöhemmin Yhdysvaltain puolustusministeriön uuden tietojenkäsittelytekniikan toimiston (IPTO) perustajajohtajana Licklider pystyi rahoittamaan ja kannustamaan hankkeita, jotka sopivat hänen näkemykseensä ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutuksesta. Samalla ne palvelivat myös sotilaallisia järjestelmiä tietojen visualisoinnista valvontajärjestelmiin. (Lowood 2021.)

Toinen virtuaalitodellisuuden pioneeri oli sähköinsinööri ja tietojenkäsittelytieteen tutkija Ivan Sutherland. Hänen vuonna 1963 suunnitteleamalla Sketchpad-järjestelmällä (kuva 25.) pystyttiin piirtämään interaktiivisesti kynällä CRT-näytölle. Tästä tietojen esittämisen rakenteesta oli hyötyä kuvien interaktiiviseen käsittelyyn. Hän pohti jo 60-luvun puolivälissä, kuinka tietokonekuvilla voisi rakentaa uskottavia ja yksityiskohtaisia virtuaalimaailmoja. Yhdysvaltain asevoimien tutkimusorganisaatio (DARPA) sponsoroi 60-luvulla tämän vision mukaisia siirräntälaitteita, joista yksi tunnetuimpana oli Douglas Engelbartin keksimä tietokoneen hiiri (kuva 26) (Lowood 2021).

Sutherlandin jätettyä DARPA:n, hän siirtyi töihin Harvardin yliopistoon. Siellä hän suunnitteli päähän asetettavaa näyttölaitetta. Itse näyttö oli kuitenkin



KUVA 25. Ivan Sutherlandin Sketchpad (ResearchGate 2019)



KUVA 26. Douglas Engelbartin tietokoneen hiiri (Timegraphics 2018)

niin raskas, että se jouduttiin ripustamaan paikalleen erityisellä jousitusjärjestelmällä. Kaksi pienempää CRT-näyttöä asennettiin käyttäjän korvien lähelle, josta peilit heijastivat kuvia silmiin luoden 3D-stereovisuaalisen ympäristön, jota voitiin tarkastella lyhyeltä etäisyydeltä. (kuva 27.) (Lowood 2021.)

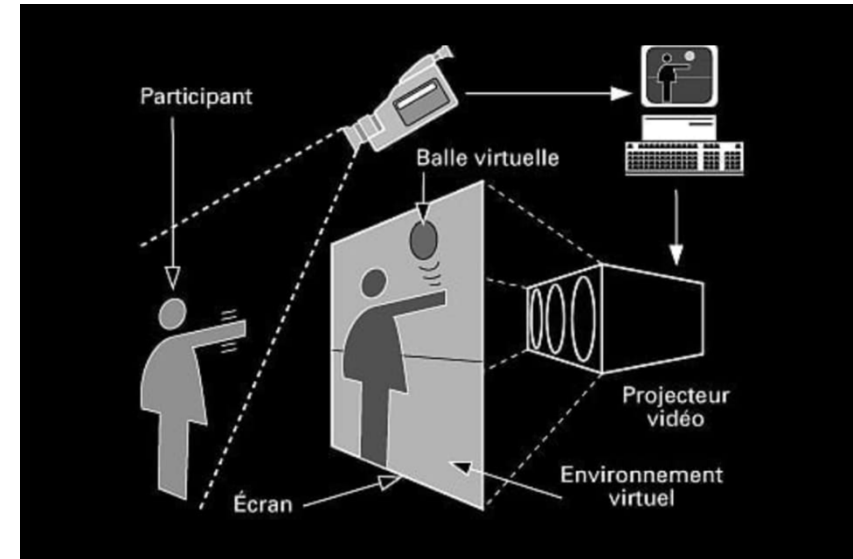
3.3.3 Virtuaalitodellisuus koulutuksessa

Yksi tärkeimmistä VR-järjestelmien sovellusalueista on aina ollut tosielämän harjoittelu. Simulaatioiden suuri etu on, että ne voivat tarjota yhtä suuren tai melkein yhtä suuren todellisuuden tunteen aitoon harjoitteluun verrattuna, mutta turvallisesti ja pienemmällä kustannuksilla. Kaupallisten simulaattoreiden ensimmäinen merkittävä sovellus oli lentäjien koulutus ensimmäisen maailmansodan aikana. Ensimmäisissä järjestelmissä lentäjät istuivat simuloitussa ohjaamossa, jota pystyttiin liikuttamaan hydraulisesti lentäjän ohjausliikkeiden mukaan. Näin pystyttiin lisäämään lennonhallinnan tunteen. Toisen maailmansodan aikana Britannian hallituksen tilaamassa simulaattorijärjestelmissä pystyttiin heijastamaan näytöille lentoreitti ja laskeutuminen, mutta ei vielä lentäjän itse valitsemia lentoreittejä. 1970-luvulla uudet järjestelmät pystyivät tuottamaan yksinkertaisia 3D-malleja, joissa oli parisataa poligonipintaa. Käytössä oli rasterigrafiikka. Realistisuuden lisäämiseksi pinnoille mallinnettiin lisäksi kiinteitä esineitä tekstuureineen. 1970-luvun lopulla sotilaslentosimulaattoreihin tuli päähän asennetut näytöt pääasiassa siksi, että kypärä vei huomattavasti vähemmän tilaa kuin heijastetut näytöt. Päänseurantalaite pystyi seuraamaan ohjaajan silmänliikkeitä sovit- taen tietokoneella luodut kuvat näkökenttään ja reagoimaan koneen ohjaukseen. (Lowood 2021.)



KUVA 27. Sutherlandin päähän asetettava näyttölaite (Informit 2016)

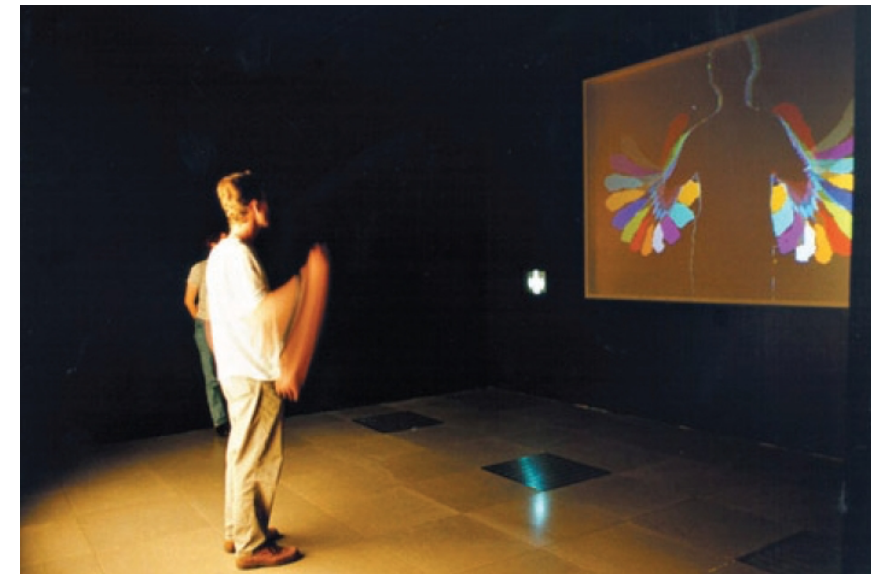
Lentosimulaattoreiden ja lisätyn todellisuuden kehitys sekä ihmisen ja tietokoneen välinen lisääntyvä vuorovaikutus osoitti, että immersivisyys ja reaaliaikaiset ohjausjärjestelmät mahdollistavat tutkimuksen ja koulutuksen lisäksi ihmisen suorituskyvyn parantamisen. Sähköinsinöörit Sutherland ja Furness toivat simulaattoriteknologian reaalimaailmasta virtuaalimaailmaan. Näissä järjestelmissä visuaalinen todenmukaisuus oli vähemmän tärkeää kuin immersivisyys ja kaikkien aistien huomioon ottaminen. Kyseisellä lähestymistavalla oli merkittävä vaikutus lääketieteelliseen- ja tieteelliseen tutkimukseen. Virtuaalitodellisuus tuotiin leikkaussaleille telepresenssi-teknologian avulla, käyttämällä robottilaitteita, joita ohjattiin etäyhteyden kautta. Ensimmäinen robottileikkaus tehtiin vuonna 1998 Pariisin Broussais-sairaalassa. (Lowood 2021.)



KUVA 28. Videoplace-järjestelmän kuvaus (Virtualspeech 2019)

3.3.4 Virtuaalitodellisuus viihteessä

Kun virtuaalimaailma muuttui edelleen yksityiskohtaisemmaksi ja immersivisemmäksi, ihmiset alkoivat viettää aikaa näissä tiloissa viihteen, esteettisen inspiraation ja seurustelun vuoksi. Viihteen kannalta oli tärkeämpää rakentaa virtuaalisia fantasiatiloja kuin kopioida todellista maailmaa. Myron Kruegerin kehittämä Videoplace-järjestelmä käsitteli vuorovaikutusta osallistujan digitoidun kuvan ja tietokoneella luotujen graafisten objektien välillä (kuvat 28 ja 29). Videoplace poikkisi monessa suhteessa koulutuksesta ja tutkimussimulaatioista. Järjestelmä käänsi painopisteen käyttäjältä, joka havaitsi tietokoneen luoman maailman, tietokoneelle, joka havaitsi käyttäjän toimet ja muunsi nämä toiminnot esineiden ja tilan koostumukseksi virtuaalimaailmassa. Kun painopiste siirtyi reagoitukykyyn ja vuorovaikutukseen, Krueger havaitsi, että esitetyn tilan luonnonmukaisuudesta tuli vähemmän tärkeää.



KUVA 29. Videoplace jäljittää käden siirtymisen vaiheita (Grueger 2011)

Kyky käsitellä virtuaalikohteita, eikä vain katsella niitä, oli keskiössä kiinnostavien ja mukaansatempaavien virtuaalimaailmojen esittelyssä. Datakäsitteen merkitys oli tästä syystä suuri kaupan ja populaarikulttuurin aloilla. Vuonna 1982 Thomas Zimmerman keksi ensimmäisen optisen käsineen ja vuotta myöhemmin rakennettiin ”Digital Data Entry Glov”- käsine (kuva 30), jonka joustavuuden, kosketusherkkyden ja käden liikkeen seurantaan rakennetun anturitekniikan ansiosta tuli varteenotettava vaihtoehto tietokoneen näppäimistöille. (Lowood 2021.)

Jaran Lanierin yritys VPL-Research nimesi 7. kesäkuuta 1989 ”Virtuaalitodellisuuden päiväksi”. Sinä päivänä sekä VPL että Autodesk esittelivät julkisesti ensimmäiset kaupalliset VR-järjestelmät. Autodeskin VR CAD (Tietokoneavusteinen suunnittelu) perustui VPL:n RB2 (Reality Buid for Two) teknologiaan, mutta sitä vähennettiin käytettäväksi henkilökohtaisilla tietokoneilla (personal computer). Tämän jälkeen näytti, että VR oli kaikkialla, Mattelin Nintendosta elokuvaan. Lukuisia VR-yrityksiä perustettiin 1990-luvun alussa lähinnä Piilaaksoon, mutta vuosikymmenen puolivälissä suurin osa oli jo lopettanut. Se ei saanut kovinkaan laajaa vetovoimaa niin nopeasti, kuin alan harrastajat olivat ennustaneet. Luultavasti tärkein varhaishankkeista oli Disneyland ´s Star Tour, immerssiivinen lentosimulaattorimatka, joka perustui George Lukasin Star Wars -elokuvasarjaan (kuva 31). Samaan aikaan Virtual World Entertainment avasi Battle Tech-keskuksia, jotka perustuivat Yhdysvaltojen armeijan SIMNET-malliin ja verkotettuun monipelaajaympäristöön. (Lowood 2021.)



KUVA 30. Patenti piirustus 1983 (Electronic Visualization Laboratory)



KUVA 31. Disneyland ´s Star Tour 1990 (Starwars 2014)

3.3.5 Eläminen virtuaalimaailmassa

Vuonna 1993 VPL sulki ovensa ja asiantuntijat alkoivat kirjoittaa virtuaalitoellisuuden kuolemasta. Internetin yleistymisen myötä huomio alettiin kiinnittämään verkkotekniikan soveltamista NASA:n, armeijan ja lääketieteen hankkeisiin. Tämä toi virtuaalimaailmoin elintärkeän sosiaalisen ulottuvuuden. Ihmiset alkoivat oppia elämään virtuaaliloissa. Siirtyminen luonnollisiin VR-ympäristöihin taiteellisessa- ja tieteellisessä työssä syrjäytti 1980-luvun suuret VR-kypärät ja toi tilalle kevyemmät lasit, puettavat anturit ja suuremman liikkumisvapauden. Toinen tärkeä sovellus oli sosiaalisen vuorovaikutuksen tuleminen virtuaalimaailmaan. Sotilaallinen simulointi ja usean käyttäjän verkkopelaaminen näytti tietä kohti uutta nousua. Vuonna 1993 id Software esitteli Doomia (kuva 32), joka määritteli ensimmäisen persoonan ammuntopelit ja vahvisti monipelien kilpailukykyä henkilökohtaisten tietokoneiden ylimpään kastiin. Yhdysvaltain armeija mukautti samaa teknologiaa omiin koulutusharjoituksiin. Marine Corps alkoi käyttämään Doomista muunnettua Marine Doom -versiota ja tämä johti vuonna 2002 Unreal-pelimoottorin käyttöönottoon armeijan viralliselle America's Army -pelille (kuva 33). Ensimmäisen persoonan ammuntopelit, taktiset joukkuepelit ja reaaliaikaiset strategiapelit kehitetään nykyisin rinnakkain sotilaallisissa ja kaupallisissa versioissa. Nykypäivinä näistä immersiiivisistä, vuorovaikutteisista ja reaaliaikaisista peleistä on tullut eräänlainen valtavirran viihde. (Task Purpose 2014.)



KUVA 32. Doom 1- peli vuodelta 1993 (thexboxhub 2019)



KUVA 33. America's Army- peli (Alchetron 2018)

AR – Lisätty todellisuus

Lisätty todellisuus (AR – Augmented Reality) on visualisointitekniikka, jossa fyysisen, todellisen ympäristön osaksi on lisätty virtuaalisia elementtejä. Nämä liitetyt elementit voivat olla kuvia, videoita, ääniä, grafiikkaa tai GPS-informaatiota. Käyttäjä voi tarkastella lisätyn todellisuuden näkymää älypuhelimella tai tabletilla, joiden kameran tai läpinäkyvän näytön avulla sovellukset asettavat digitaalisen sisällön fyysisen ympäristön päälle. Lisätty todellisuus toimii reaaliaikaisesti ja interaktiivisesti. Se yhdistää virtuaaliset ja todelliset elementit todellisessa ympäristössä ja kohdistaa ne toistensa kanssa. AR-laitteet voivat olla kädessä pidettäviä-, päässä pidettäviä- (kuva 34) tai projisoivia näyttöjä (kuva 35). Päässä pidettävissä laitteissa voi olla optinen- eli läpinäkyvä näyttö tai kameralla varustettu videonäyttö. Lisäksi voidaan käyttää mukautuvia kuulokkeita. Projisoivat näytöt heijastavat tietokoneella tuotetun kuvasignaalin esimerkiksi valkokankaalle. Kuluttajakäytössä AR:n suosituimpia esimerkkejä ovat Pokemon Go-mobiilipeli ja Snapchatin emojiit. (North of 41 2018.)

3.3.1 Vertaus virtuaalitodellisuuteen

Virtuaalitodellisuudessa käyttäjien käsitys todellisuudesta perustuu täysin virtuaalitietoihin. Lisätyssä todellisuudessa käyttäjälle tarjotaan todellisesta elämästä kerättyjen tietojen lisäksi tietokoneella tuotettua lisätietoa, joka parantaa heidän käsitystään todellisuudesta.

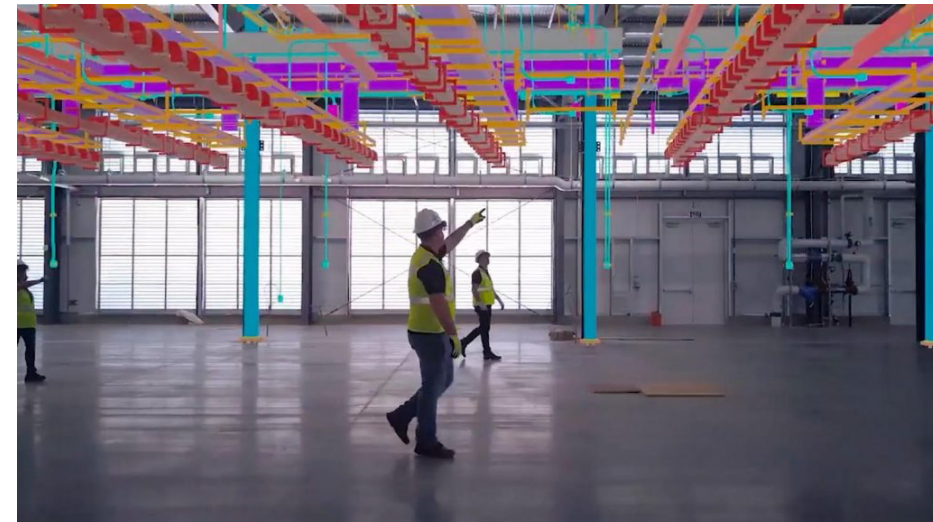


KUVA 34. Kädessä- ja päässä pidettävät AR-laitteet (Infotech 2020)



KUVA 35. Auton Head-Up-näyttö (Motor1.com 2020)

Lisätty todellisuus saattaa sopia paremmin suunnittelunalalle, jos tarvitaan viitteitä reaali maailmasta, mutta jos tarvitaan jotain suurempaa kuin käytössä oleva fyysinen tila tai jotain, millä ei ole yhteyttä reaali maailmaan, VR on parempi ratkaisu. Toistaiseksi lisätyllä todellisuudella on enemmän työkaluja suunnitteluun, koulutukseen, logistiikkaan ja matkailuun, kun taas virtuaalitodellisuus soveltuu paremmin viihteeseen, jossa on laajempi valikoima pelejä ja elokuvia. Esimerkiksi arkkitehtuurissa uuden rakennuksen läpi voidaan kävellä ja tarkastella samalla rakenteita (kuva 36). Ikean AR-sovelluksella käyttäjä voi katsella, miltä yrityksen tuotteet näyttävät kotona. Lääketieteen koulutuksessa ihmisen sisäelimet voidaan mallintaa ja havainnollistaa ilman potilaalle tehtyä leikkausta. Autoteollisuuden uudet mallit voidaan nähdä sisältä ja ulkoa niiden todellisessa ympäristössä jo suunnitteluvaiheessa. Matkoilla voit kävelykierroksen yhteydessä saada kaiken tarvittavan tiedon historiallisista rakennuksista suuntaamalla älypuhelimien tai tabletin näyttö kohteeseen (kuva 37).



KUVA 36. AR-lasien läpi katsotut rakenteet (AEC Magazine 2021)

3.3.2 AR-sovellusten kehitys

Varhaisimmat lisätyn todellisuuden sovellukset olivat sotilaslentokoneissa ja tankeissa "heads-up"-näytöt (HUD), jossa kojelaudan näyttötiedot heijastettiin ohjaamon kuomuun ja sitä kautta miehistön jäsen näki ulkoisen ympäristön. Myöhemmin nopeat tietokoneprosessorit mahdollistivat datanäyttöjen yhdistämisen reaaliaikaiseen videoon. Merkittävimpiä varhaisia esimerkkejä lisätyistä todellisuudesta olivat 1990-luvun puolivälissä Fox Broadcasting Companyn kehittämät televisiokuvan päälle suorassa lähetyksessä tulevat



KUVA 37. Historiallisten kohteiden tiedot AR:ssa (Tech Fix 2018)

keltaiset raidat, jotka esittivät amerikkalaisen jalkapallon hyökkäyksen saavuttamia jaardilinjjoja. Urheilulähetyksissä pystyttiin myös näyttämään golf-pallon lentolinjoja ja jääkiekon syöttökuvioita. (Hosch 2021.)

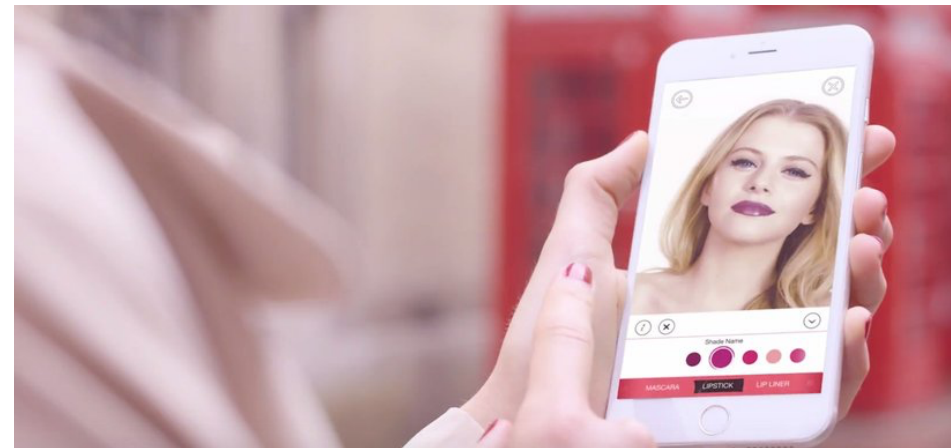
Ensimmäinen kaupallinen AR-sovellus ilmestyi vuonna 2008, kun müncheniläinen toimisto suunnitteli BMW:lle painetun paperimainoksen, jota katsottiin tietokoneen kameran edessä. Kääntämällä paperia kolmiulotteista autoa pystyi tarkastelemaan eri kulmista. Kehittyneimmistä esimerkeistä National Geographic näytti vuonna 2011, kuinka sukupuuttoon kuolleita eläinlajeja käveli kauppakeskusten sisällä. Disney näytti samana vuonna suurelta näyttöltä Time Squarella, kuinka sarjakuvahahmot olivat vuorovaikutuksessa kadulla olevien ihmisten kanssa (kuva 38). Coca Cola simuloi pari vuotta myöhemmin jään sulamista kauppakeskuksessa, ottaen samalla osaa ympäristö-ongelmiin. (Javornik 2016.)

Nykyisin tuotteiden kokeilemisesta on tullut kaupallisista sovelluksista menestyneimpiä. Kasvojen tunnistuksen avulla meikkiyrittäjistä on tullut johtava AR-tekniikan käyttäjä. Sen takana on hyvin kehittynyt ohjelmisto, joka käyttää edistynyttä 2D-mallinnus- ja kasvojen tunnistustekniikkaa. Lontolaiset yritykset Holition ja Coty julkaisivat meikkiyhtiö Rimmelille AR-sovelluksen (kuva 39), jonka avulla kuluttaja voi skannata toisen henkilön meikin ja kokeilla sitä omiin kasvoihin. Tämä vei ulkonäön luomisen aivan uudelle tasolle. (Javornik 2016.)

iPhone 12 ja iPad Pro ovat varustettu uudella LiDAR-tekniikalla. LiDAR-tekniikka (Light Detection and Ranging) käytetään pääasiassa 3D-kartan luomiseen ympäristöstä. Se antaa valotutkatekniikan ansiosta syvyyden tunteen AR-luomuksille, sen sijaan, että ne näyttäisivät tasaisilta 2D-grafiikalta. Se



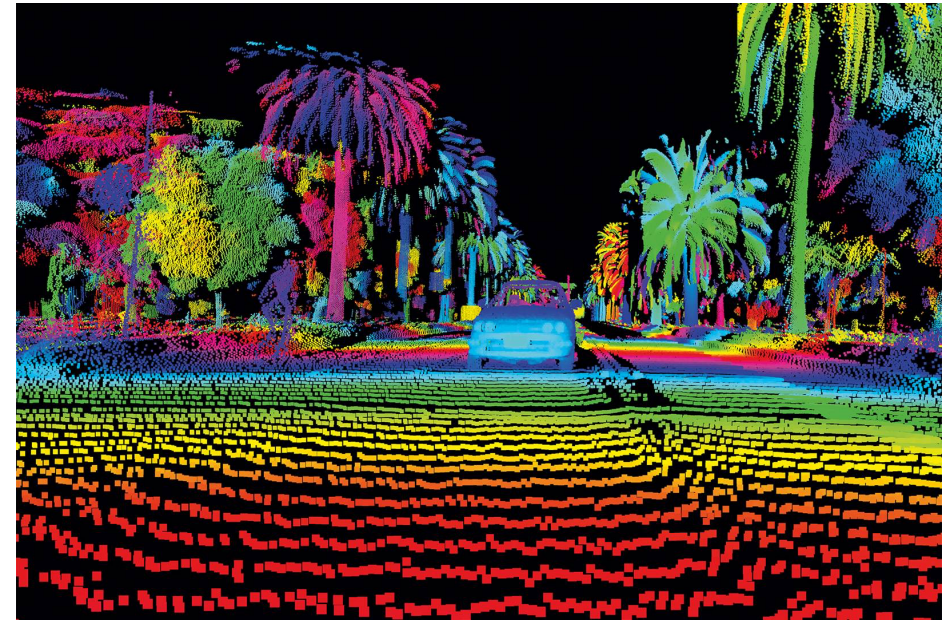
KUVA 38. Disney- hahmot AR:ssä Time Squarella 2011 (Supersampled 2015)



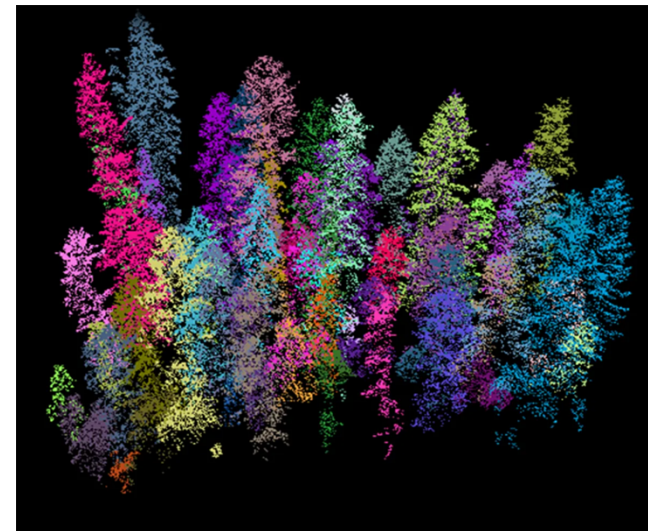
KUVA 39. Rimmelin AR-sovellus (Infinityleap 2018)

sallii myös todellisten fyysisten esineiden näkymisen AR-objektien edessä, joka oli ongelmana esimerkiksi Pokemon Go -pelissä, missä ihmisten jalat estivät Pokemon-hahmojen näkymisen kaduilla. Tämä oli erittäin tärkeä parannus, jotta AR-luomukset uppoutuvat luonnollisesti fyysiseen maailmaan. (Marr 2021.)

Itsenäisesti kulkevista autoista ja robottiteknologiasta alkunsa saanut LiDAR (kuva 40) voi mullistaa rakennus- ja matkustusalaan tai jopa muuttaa sen, kuinka näemme maailman. LiDARin luoma pistepilviskanneri voi olla ensiaskel matkalla täydelliseen 3D-käyttöliittymään. Se on ehdoton välttämättömyys autonomisille ajoneuvoille. Näiden ajoneuvojen on tiedettävä jatkuvasti, mitä ympärillä tapahtuu reaaliajassa välttyäkseen törmäyksiltä. Autojen ja lentokoneiden lisäksi LiDAR-järjestelmällä on käyttökohteita myös avaruudessa. Tällä hetkellä NASA on jo asentamassa kyseistä järjestelmää kansainväliseen avaruusasemaan ilmastonmuutoksen torjumista varten. Järjestelmä on riittävän tarkka havaitsemaan puiden latvat, joten sitä voi käyttää kasvillisuuden mittaamiseen ennennäkemättömällä tavalla (kuva 41). Puiden ja muiden kasvien tiedetään varastoivan hiiltä, joten se antaa tutkijoille paremman käsityksen siitä, miten kasvit vaikuttavat maailmanlaajuisiin hiilipitoisuuksiin. Tiedemiesten havaittua, missä kasvillisuus tuhoutuu nopeammin, he voivat vaatia poliitikkoja pelastamaan riskialueiden luontoa. Tämän lisäksi ilmastoennusteiden mallit tulevat täsmällisemmiksi. LiDAR mittaa myös vesialueiden tasoja, jolloin tulvien ennustaminen tulee mahdolliseksi. Insinööri- ja rakennusalaalla LiDAR-kartoituksella pystytään saamaan erittäin yksityiskohtaiset maastokartat, joita voidaan hyödyntää ennen suunnittelua ja rakentamista. Tämä vähentää virheitä ja yllätyksiä sekä säästää kustannuksia. (Viatechnik 2021.)



KUVA 40. LiDAR-mallinnus (The Werge 2018)



KUVA 41. Lidar-kartoitus puustosta (Lidar News 2018)

3.3.3 Puettavat AR-laitteet

Varhaisin päähän asennettavan näyttölaitteen suunnitteli vuonna 1968 Harvardin yliopistossa silloin työskennellyt Ivan Sutherland. Tämä "Damoklesin miekaksi" kutsuttu näyttölaite oli niin painava, että se oli ripustettava katoista kiinni. Näyttö sisälsi pään seurannan ja läpinäkyvän optiikan. Tämän keksinnön jälkeen tarvittiin 1980-luvun ja 1990-luvun alun laskennallisen suorituskyvyn edistymistä, jotta AR nousi omaksi tutkimusalueekseen. 1990-luvun puolivälissä Steve Mann suunnitteli vyötärölle kiinnitettävän tietokoneen ja päähän asennettavan videoivan näytön, joka mahdollisti käyttäjän lisätä, muuttaa ja vähentää visuaalista todellisuutta. (Informit 2016.)

Vuosina 1997 - 2001 Japanin hallitus ja Canon inc. rahoittivat yhdessä Mixed Reality Systems Laboratory -tutkimusyhtiötä. Tämä yhteistyöyritys oli aikansa suurin sekoitetun todellisuuden (MR) tutkimuslaitos. Yksi sen merkittävimmistä saavutuksista oli ensimmäisen läpikatseltavan, koaksiaalisen stereovideon omaavan silmille asetettavan laitteen (Coastar) suunnittelu. Tällä oli merkittävä vaikutus digitaalisen viihteen markkinoille. (Informit 2016.)

Vuonna 1979 Feiner kehitti ensimmäisen ulkotiloissa käytettävän AR-järjestelmän nimeltä Touring Machine (kuva 42). Siinä oli silmille asetettava läpinäkyvä näyttö, GPS ja suuntaseuranta. 3D-grafiikan toimittaminen laselle vaati repun, jossa oli tietokone, erilaisia antureita ja varhainen tabletti syöttölaitteena. Vain vuotta myöhemmin Thomas julkaisi ulkokäyttöisen AR-navigointijärjestelmän, jota käytettiin 3D-mittaukseen ja siitä tuotettiin ensimmäinen AR-ulkopeli ARQuake (kuva 43), jonka sovellus Quake Tinmith sijoitti käyttäjän todelliselle pysäköintialueelle keskelle zombihyökkäystä. (Informit 2016.)



KUVA 42. Steven Feinerin Touring Machine 1979 (E Magazine 2020)



KUVA 43. ARQuake AR-ulkopeli (Tinmith)

Nykyaikaiset langattomat AR-näytöt ovat joko päähän asetettavia HMD- (Head Mounted Display) laitteita (kuva 44) tai silmille asetettavia älylaseja (kuva 45). Varhaiset mallit toimivat etänäyttöinä, käyttäen hyväkseen älypuhelinteknologiaa tai WiFi-verkkoa. Uudemmat versiot ovat itsessään tehokkaita kannettavia tietokoneita, jotka käyttävät erillisiä mobiilisovelluksia. Handsfree-malleissa käyttäjä voi kommunikoida äänikomennoilla internetin kautta ja toisissa malleista käytetään kosketuspainikkeita. Näkymä pystytään saamaan joko kameroiden avulla, jotka sieppaavat reaaliajassa todellisen maailmankuvan tai käyttämällä läpinäkyvää HUD-näyttöä (Head-Up Display), johon heijastetaan AR-kuvaa.

Vaikka AR-lasit yleistyvät ja niiden hinnat laskevat, on huomattavissa, että kehon ulkopuolisten laitteiden ja lisävarusteiden aikakausi on siirtymässä kehoon integroitaviin laitteisiin. AR-piilolinssit ovat jo kehitteillä. Ensimmäisen piilolinssinäytön patentoi vuonna 1999 Steve Mann, mutta se hylättiin. Seuraava, USA:n armeijalle vuonna 2010 suunnitellut piilolinssit, jotka myös toimivat AR-lasien kanssa, saivat patentin. Kaliforniassa toimiva startup-yritys Mojo Vision kehitti vuonna 2020 mikroLED-näyttöillä varustettuja AR-piilolinssijä. Yrityksen ensisijainen tavoite oli auttaa heikkonäköisiä ihmisiä, parantamalla kontrastinäköä ja esineiden zoomausta. Toimittajille esitetyillä AR-linsseillä näytettiin esiladattuja tekstiviestejä ja sääennusteita. Tämä osoitti, että AR-linssejä voisi käyttää myös moneen muuhun tarkoitukseen, kuten parantamaan hämäränäköä tai toimimaan telepromterina puhujille. AR-linsseillä olisi mahdollisuus värjätä ja muuttaa näkevää ympäristöä, joten se tulisi hämärtämään todellisen- ja virtuaalisen maailman rajaa. (Marr 2021). Monet tutkijat ovat työskennelleet piilolinssien erilaisten teknisten ominaisuuksien kanssa. Samsungin jättämä patentti AR-linsseistä sisältää linssin



KUVA 44. Microsoft HoloLens 2. Projektiojärjestelmä luo moniulotteisia värillisiä kuvia 2k:n tarkkuudella (Ingram Micro 2020)



KUVA 45. Facebook Ray Ban -lasit. Mahdollistavat navigoinnin, kadonneiden avainten löytämisen ja päällenäyttää mielenkiintoisemman juoksuympäristön. (Variety 2021)

sisäisen kameran. Suurin ero AR-laseihin verrattuna on ennennäkemättömän suuri näkökenttä, koska se pystyy liikkumaan silmän mukana. Patentissa mainitaan myös kontrollipaneeli, johon pääsee ulkoisen kannettavan älylaitteen kautta. Todennäköisesti se korvataan kuitenkin myöhemmin AR-ohjaimilla, jotka renderöivät reaaliaikaisesti käyttäjän näkymää. Aika näyttää, tuleeko tämä uusi teknologia syrjäyttämään älypuhelimet. (Ogievich 2019.)

3.4 MR – Yhdistetty todellisuus

Yhdistetyssä (tai sekoitetussa) todellisuudessa (MR) reaali- ja virtuaalimaailma yhdistyy tuottamalla uusia ympäristöjä ja visualisointeja, joissa fyysiset ja digitaaliset kohteet ovat reaaliajassa rinnakkain ja vuorovaikutuksessa eli interaktiossa toisiinsa. MR mahdollistaa käyttäjän tarttua käsin 3D-malleihin ja siirtää niitä. Perinteinen esimerkki on ilmassa leijuva virtuaalipallo, jonka saa pudotettua koskettamalla. Pallon pudotessa reaali- ja virtuaalimaailman pöydän pinnalle, se pyörii, kunnes putoaa pöydän reunalta. MR mahdollistaa interaktion esineiden, asioiden ja toisten ihmisten kanssa. MR-laseissa (kuva 46) on oma tietokone, joka skannaa ympäristöä ja niillä on mahdollista rakentaa 3D-malleja.

Yhdistetyn todellisuuden sovelluksia on käytetty laajalti usealla eri alalla. Suunnittelijoille MR tarjoaa kolmiulotteisten kohteiden geometrian visualisoinnin lisäksi interaktion virtuaalimallien kanssa liikkeen ja äänikomentojen avulla. Viihteen alalla yhdistetyllä todellisuudella on monia sovelluksia



KUVA 46. Magic Leap 1 MR-lasit (Magic Leap 2021)

televisio-ohjelmista pelikonsoleihin. FightBox ja PlayStation julkaisivat 2000-luvun alusta lähtien useita MR-teknologiaan liitettviä pelialustoja. Vuonna 2004 brittiläinen televisio-ohjelma houkutteli lapsikilpailijoita luomaan virtuaalisia "Zook"-hahmoja erilaisiin haasteisiin.

Vuonna 2009 yhdistetyn- ja lisätyn todellisuuden symposiumissa (ISMAR) esiteltiin uusi sosiaalinen tuote BlogWall, jossa yhdistyy kuvataide ja runous. BlogWall on nykyisten tekstiviestien uusi laajennettu muoto. Sen käyttäjät voivat lähettää lyhyitä viestejä tai kuvia heijastaen ne seinille missä päin maailmaa tahansa. Sovelluksen avulla ihmiset voi ilmaista itseään taiteellisesti ja viihdyttää massoja digitaalisilla graffiteilla. BlogWall tarjoaa uuden keinon ilmaista itseään nuorten ymmärtämällä kielellä ja sosiaalisen viestinnän muodolla, joka on olennainen osa heidän elämäänsä. (Fernando 2020.)

Nintendo Switchin lokakuussa 2020 julkaisemassa MR-pelissä "Mario Kart Live: Home Circuit" pelaajat pystyvät käyttämään kotiaan kilparatana. Peli saavutti Japanissa n. 47 000 kappaleen myynnin yhdessä viikossa julkaisun jälkeen. (Romano 2020.)

Terveydenhuollossa MR-lasit voidaan liittää leikkaussalissa kirurgisten toimintojen avuksi mahdollistaen lääkäreiden välisen kommunikoinnin ja potilastietojen näyttämisen. Se luo myös tehokkaan ja turvallisen alustan terveydenhuollon koulutukselle. MR-teknologiaa on kuitenkin vaikea integroida kaikkiin skenaarioihin, joissa potilas on läsnä. Voi olla eettisesti huolestuttavaa, jos lääkäri ei näe potilasta. (Brainlab 2021.)

Teknolohiateollisuus on MR:n suurimpia käyttäjiä. Virtuaalimallit mahdollistavat kustannustehokkaan prototypoinnin ja nopeiden muutosten tekemisen niihin. Laitteiden käytettävyyttä voidaan testata ennalta ja huolto sekä käyttökoulutus voidaan järjestää ennen laitteiden käyttöönottoa. Mallinnettua ympäristöä voidaan rajata tai yksinkertaistaa, jolloin asiakkaan fokus säilyy täysin myytävässä tuotteessa. Vaikka videot ovat yleistyneet tuotteiden myynti- ja esittelytilanteissa, MR-sovelluksilla on mahdollista esitellä tuote kokonaisvaltaisesti ja asiakkaan reagoinnin mukaisesti, johon pelkkä markkinointivideo ei pysty. Tyypillinen kustannusarvio Suomessa vuonna 2018 yhden teknolohiateollisuuden B2B-messuovellukselle, jossa 5-10 kpl 3D-malleja yhdessä visualisoidussa ympäristössä, liikkui noin 20 000 € (ALV 0%) paikkeilla. Kuukausipalvelumaksun hinta oli 2000–5000 €/kk, riippuen sisäisikö sovellus päivittämistä tai hienosäätöä. MR-toteutusten on huomattu tuplaavan tai triplaavan messujen ja road show -tapahtumien kävijämääriä. (Mixed Reality Hub 2018.)

MR auttaa opiskelijoita ja suunnittelijoita ymmärtämään 3D-mallien geometriaa sekä tuotteen mittasuhteita ja toimintoja. MR on osoittautunut tehokkaaksi keinoksi parantaa keskiasteen opiskelijoiden oppimisasennetta ja tehokkuutta. Korkeakouluopiskelijoille on vasta nyt tehty tutkimuksia, kuinka MR-kokemukset eroavat perinteisistä opetusmenetelmistä suunnitteluaineiden kohdalla. Kokeelliset tulokset osoittivat, että MR-teknologian avulla opiskelijoiden geometrian analysointi, mallin visualisointikyky ja luovuus parani merkittävästi. MR kehitti mitatusti myös opiskelijoiden kykyä muistaa opetettuja asioita. (Springer 2020.)

Yhdistetty todellisuus antaa mahdollisuuden etätöille. Työntekijä pystyy MR-lasien avulla siirtymään yhteistyöhön virtuaaliseen ympäristöön, fyysisestä sijainnista huolimatta. Kieliongelmissa ei myöskään ole haittaa, koska sovellukset pystyvät kääntämään useita kieliä tarkasti ja reaaliajassa. Prosessi lisää joustavuutta, koska kiinteitä työaikoja ei välttämättä tarvita. On todistettu, että työntekijät ovat tuottavampia, jos heillä on suurempi autonomia päättää, missä, milloin ja miten he työskentelevät.

3.5 Muut XR-todellisuudet

XR-kattotermin alle on perinteisesti kuuluneet vain VR, AR ja MR. Näiden lisäksi, viimeisinä vuosina on noussut useita uusia teknologioita, joista seuraavana esitellään opinnäytetyön kannalta kiinnostavimmat.

3.5.1 CR - Elokuvallinen todellisuus

Vuonna 2014 vielä tuntematon Magic Leap -niminen startup-yritys keräsi yli puoli miljardia dollaria kehittääkseen uutta tekniikkaa, jota kutsutaan elokuvalliseksi todellisuudeksi (CR - Cinematic Reality) tai elokuvalliseksi virtuaalitodellisuudeksi (CVR – Cinematic Virtual Reality). Kuten virtuaalitodellisuus, elokuvallinen todellisuus koetaan lasien välityksellä immersiiivisesti. Toisin kuin VR, CR tarjoaisi hyperrealistisia, elokuvallisia yksityiskohtia, kuten elokuvaan sisään astumisen. CR:n määrittämisestä ei ole vielä yksimielisyyttä,

mutta sen ajatellaan olevan immersiiivinen VR-kokemus, jossa käyttäjät tutkivat synteettisiä maailmoja 360 astetta stereoskooppisella näkymällä ja alueellisesti suunnatuilla äänillä. (Springwise 2019.)

CR käyttää VR:stä poiketen ainoastaan ennalta renderöityjä kuva- ja äänielementtejä. Näin ollen äänen ja kuvan laatu olisi mahdollisimman lähellä HD-televisioiden laatua. Käyttäjät saattavat pystyä valitsemaan näkökulmia tarkkaillen toimintaa, mutta he eivät voi olla vuorovaikutuksessa suoraan itse virtuaalimaailmaan. Magic Leap ehdottaa, että heidän lopputuotteensa voisi näkyä hologrammin muodossa. Tämä on vielä epätodennäköistä, koska nykyinen tekniikka vaatii vielä näytön tai kaasun, josta valo heijastuu takaisin silmiin. Asiaa on tutkittu, mutta todennäköisesti CR toteutuu aluksi lasien ja näyttöjen avulla. (Springwise 2019.)

Tunnettuja elokuvaohjaajia on mukana kehittämässä uusia CR-projekteja, mutta tähänastiset saavutukset rajoittuvat lyhyiin 360 asteen VR-elokuviin, kuten Justin Linin vuonna 2016 ohjaamaan elokuvaan Help! tai vuonna 2017 Stephen Kingin IT-elokuvasta tehty uusintaversio IT:Float.

On mahdollista, että CR-tekniikan pääkäyttö siirtyy pelialalle. Magic Leap uskoo, että laitteet pystyvät lopulta käyttämään ympäröivää reaaliympäristöä pelaamiseen. Vaikka tuote ei valmistautuisikaan, on selvää, että elokuvallisuudesta, 360 asteen virtuaalimaailmasta on tulossa todenmukaista. (Springwise 2019.)

3.5.2 DR - Vähennetty todellisuus

Vähennetty todellisuus (DR - Diminished Reality) on yleisessä mielessä vastakohta lisätylle todellisuudelle. DR on prosessi, jossa siirretään, poistetaan tai vähennetään havaittavien kohteiden määrää maailmasta. Teknisesti DR ei ole jatkumo virtuaalimaailmalle, koska se ei yhdistä todellisuustyyppäjä. Sitä voidaan kuitenkin käyttää AR:n kanssa ainutlaatuisten visuaalisten kokemusten aikaansaamiseksi. (Bardi 2018.)

DR jakautuu kahteen pääryhmään: havainnointiin ja In-painting muokkaukseen. Havainnoiva DR hyödyntää etukäteen otettuja- tai olemassa olevia kuvia tai videoita taustanäkymästä. Kun uudet fyysiset kohteet sisällytetään muuhun kokonaisuuteen, niitä pystytään käyttämään uusina viitteinä olemassa oleviin taustatietoihin. In-painting on päällemaalaustekniikka, joka käyttää tekstuureja ja korjaustietoja itse lähdekuvasta. Se ei ole yhtä tarkkaa kuin havainnointi, mutta yleisempää, koska ennalta tuntemattomat kohteet eivät ole aina käytössä. (Bardi 2018.)

Elokuvateollisuuden jälkituotantomenetelmiä voidaan kutsua vähennetyksi todellisuudeksi. Toimintaelokuville tutuissa putoamiskohtauksissa näyttelijöille ripustetut vaijerit poistetaan In-painting tekniikalla lopullisessa kuvaeditoinnissa. Nämä menetelmät eivät ole kuitenkaan mahdollisia reaaliaikaisessa kuvauksessa, koska prosessointiaika kuvakehystä kohti on lyhennettävä muutamaan millisekuntiin. Mahdollisuudet rajoittuvat tällä hetkellä esineiden poistamiseen pöytätasoilta tai pienten yksityiskohtien hävittäminen ulkoti-loista. (Bardi 2018.)

Rakennuttajat hyötyvät DR-tekniologiasta. Esimerkiksi uuden hotellin suunnittelua pysäköintihallin tilalle ei pystytä visualisoimaan perinteisellä AR:lla. Uusi muotoilu ei tulisi peittämään kokonaan vanhaa rakennetta. DR antaisi mahdollisuuden poistaa vanha pysäköintihalli ja sijoittaa uusi hotelli suunnitellulle paikalle. Pienemmässä mittakaavassa maisemasuunnittelijat voisivat poistaa kannot, puskat ja vanhat laatat käyttämällä DR:tta. Samoin sisustus-suunnittelijat voisivat poistaa kuluneet materiaalit ja vanhat kalustot ennen uusien huonekalujen lisäämistä AR:n kautta.

Marxentin ohjelmointi-insinööri Ken Moser on AR- ja DR-tekniologian pitkäaikainen tutkija. Hänen mukaansa on olemassa useita off-line sovelluksia, kuten Photoshop, valokuvien ja videoiden muokkaukseen. Reaaliaikaiset DR-tekniologiat ovat kuitenkin vasta tutkimuskohteina, mutta Moser uskoo, että ainakin pienimuotoiset DR-vaihtoehdot tulisivat markkinoille lähitulevaisuudessa. (Bardi 2018.)

3.5.3 Tulostettu todellisuus

3D-tulostaminen ei sisälly, ainakaan vielä XR-tekniologioihin, eikä termiä "Printed Reality" (PR) ole vielä yleisesti käytetty. On kuitenkin huomattavissa, että 3D-tulostimet ovat viimeisinä vuosina kehittyneet valtavasti. Niiden tärkeimmistä eduista on kyky tuottaa monimutkaisia muotoja ja geometrioita, joita olisi mahdoton rakentaa manuaalisesti. Nykyisin 3D-tulostet-

tavia malleja voidaan luoda 3D-CAD-ohjelmien, 3D-skannerin, digitaalikameran tai fotogrammetriasovellusten avulla. Monien nykyaikaisten 3D-tulostusteknologioiden haittana on, että ne mahdollistavat vain yhden materiaalin tulostamisen kerrallaan. Monimateriaaliset 3D-tulostimet ovat kuitenkin kehittyneillä ja niiden tuleminen markkinoille tulee laskemaan jokapäiväisen elämän ja korkean teknologian kehittämisen kustannuksia.

Teollisuus käyttää 3D-tulostuksesta termiä AM (Additive Manufacturing). AM-tekniikan ensimmäiset laitteet kehitettiin 80-luvulla ja kymmenkunta vuotta sitten arvioitiin, että yksityiskuluttajat ottaisivat 3D-tulostimet käyttöönsä koteihinsa. Näin ei kuitenkaan käynyt, vaan näyttäisi edelleen siltä, että teollisuus tulee ottamaan materiaalia lisäävät menetelmät haltuunsa. Paikallisenä esimerkkinä mainittakoon Savonia-ammattikorkeakoulun, vuonna 2018 aloittama Liva-hanke, jossa saatiin 3,2 miljoonan euron budjetti pelkästään laiteinvestoinneille. Liva-hankkeessa oli mukana alueen yrityksiä, oppilaitoksia ja Kuopion Yliopistollinen Sairaala. Kehitystyön tuloksena Savonian kampukselle valmistui monipuolinen 3D-tulostusympäristö. AM:n odotetaan muuttavan laajalti teollisuutta tulevina vuosina. Sarjavalmistuksen katsotaan myös tulevan edullisemmaksi materiaalia lisäävillä-, kuin perinteisillä menetelmillä. (Huld 2019.)

3D-tulostuksella on mahdollisuus muuttaa tavaroiden tuotantoa lääketieteen tarvikkeista ruokatarvikkeisiin tai jopa suuriin koralliriuttoihin. 3D-tulostusta tutkitaan merkittävänä ratkaisuna nykyiseen ja tulevaan nälkään ja kodittomuuteen. Tulevaisuudessa voisi olla mahdollista ostaa lähikaupasta pitkäikäisiä, hyönteisproteiinista valmistettuja jauho- ja öljypatruunoita, joista kerroskerrokselta rakennetaan sopivia aterioita. Rakennustekniikassa voi olla mah-

dollisuus käyttää sementin sijasta kiinteää teollisuusjätettä, jolloin 3D-tulostettu rakentaminen olisi vähähiilistä, halpaa ja tehokasta. (Rosenthal 2018.)

Nykyisin pystytään tulostamaan jo lähes kaikkia elimistössä olevia kudoksia. Seuraava askel on tulostaa kokonaisia elimiä. 3D-biotulostus toimii lähes samalla periaatteella kuin kerroksittain tulostettava hammasproteesi, mutta materiaalina käytetään biomustetta, joka koostuu elävistä soluista ja kasvu-tekijöistä. Tulevaisuudessa ihmisten omista kantasoluista voidaan tulostaa kudosta ja elimiä, jolloin ihminen ei joudu välttämättä elinsiirtojonoon. (Östman 2019.)

3D-tulostus, monimateriaalirakenteiden käyttö AM:ssa ja joustavien esineiden tarve on mahdollistanut ns. 4D-tulostuksen suunnittelun ja luomisen. 4D-tulostuksen ominaispiirteitä on esineiden erilaisten materiaalien kyky muuttaa rakennettaan. Älykäs materiaali on 4D-tulostuksen tärkeimpiä tutkimusalueita. Materiaalit luokitellaan niiden ympäristön ja ulkoisten ärsykkeiden perusteella. Ne voivat reagoida ja muuttua, kun esimerkiksi lämpöä, kosteutta, valoa, painetta tai ääntä käytetään ärsykkeinä. Hydrogeeli on yksi näistä älykkäistä materiaaleista, joka reagoi voimakkaasti veden kanssa, kasvattamalla kokoaan jopa 200 %. Toisella tekniikalla, jossa magneettisia nanohiukkasia upotetaan tulostettuun esineeseen, on saatu aikaan kappaleen magneettinen hallinta. (Future Bridge 2020.)

Vaikka 4D-tulostustekniikka on vielä alkuvaiheessa, useat tutkijat ja asiantuntijat pitävät sen mahdollisuuksia valtavana. Tekniikka voi tehdä eksponentiaalisen hypyn ennustettua vauhtia nopeammin. 4D-tulostetut materi-

aalit pystyvät jo korjaamaan itseään, joten on erittäin todennäköistä, että tulevat materiaalit pystyvät myös purkamaan itsensä, joten niiden osat ovat myös helppoja kierrättää.

3D-tulostusteknologian ja virtuaalitodellisuuden yhdistämisestä hyötyvät useat teollisuuden alat. Hyöty on hyvin merkittävä etenkin terveydenhuollon alalla, jossa molempia teknologioita on käytetty rinnakkain ja pidemmän ajan. Autojen ja lentokoneiden suunnittelussa pystytään malleja ja varaosia tutkimaan VR:n avulla ennen 3D-mallien tulostusta. VR:ssa on mahdollisuus ymmärtämään paremmin ajoneuvojen ulkoiset- ja fyysiset ominaisuudet sekä havaitsemaan järjestelmän viat ennen 3D-mallien tulostusta. VR:n merkittävimpiä piirteitä 3D-tulostuksessa on, että sen avulla suunnittelijat voivat kehittää monimutkaisia malleja lyhyessä ajassa. 3D-mallien suunnittelun oppiminen perinteisillä ohjelmistoilla, kuten CAD, ei ole ideana kaikkein käytännöllisin, koska se vaatii paljon aikaa harjoitella ja hallita se täydellisesti. Nykyään markkinoilta kuitenkin löytyy useita digitaalisia ohjelmistoja, jotka auttavat tekemään 3D-tulostuksen suunnitteluprosessista helpompaa ja hyödyllisempää uusille käyttäjille. Työkaluilla, jotka ovat kehitetty erityisesti 3D-tulostusmallien luomiseen, on helppo muotoilla tai veistää monimutkaisia ja yksityiskohtaisia malleja tulostettaviksi. (VR Headset Authority 2019.)

3D-tulostuksen ja VR:n yhdistäminen auttaa yrityksiä varmistamaan tuotesuunnittelun täydellisen tarkkuuden ja saavuttamaan tuotantotavoitteensa mahdollisimman pienillä kustannuksilla. Näin ollen yritykset saavuttavat tavoitellun, sijoitetun pääoman tuottoprosentin paljon nopeammin, kuin perinteisillä valmistusmenetelmillä. Koulutusikäisissä kyseisillä teknologioilla opitaan luovaa ajattelua ja suunnitteluperiaatteita.



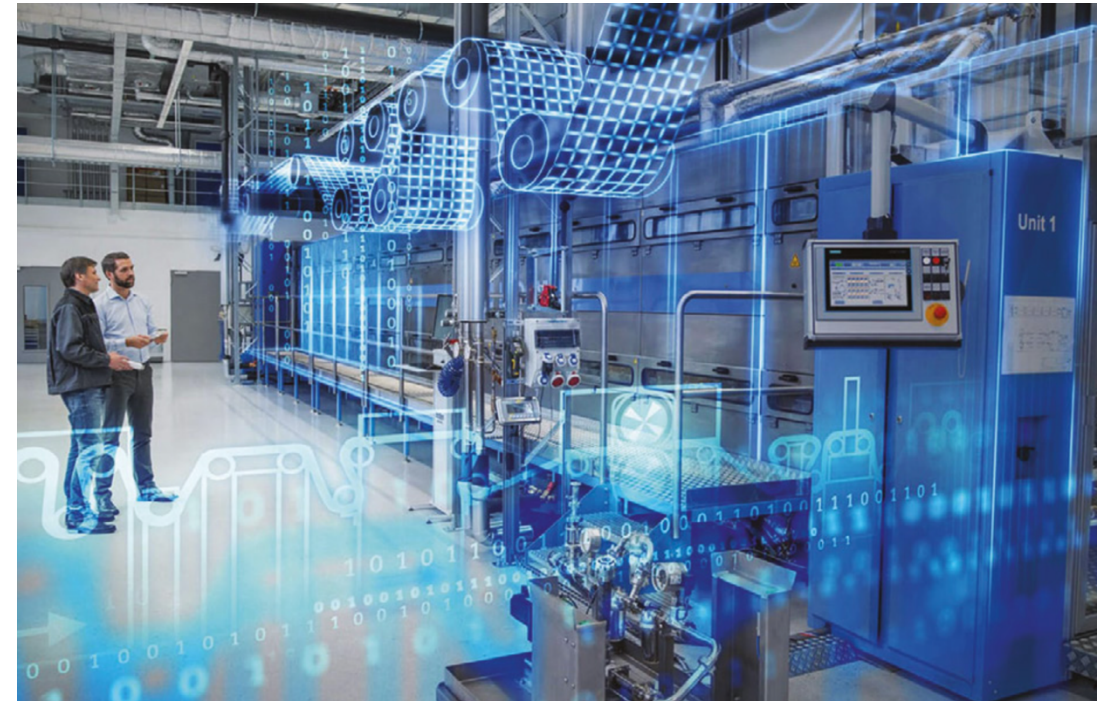
KUVA 47. Virtuaalinen kaupunkimalli Helsingin keskustasta (Zoon 2020)

4 DIGITAALISET KAKSOSET

Digitaalisella kaksosella tarkoitetaan virtuaaliesitystä, joka toimii fyysisen mallin tai prosessin reaaliaikaisena vastineena. Sen tarkoitus on olla ajan tasalla oleva ja tarkka kopio fyysisestä kokonaisuudesta, jossa 3D-mallin animaatio perustuu todellisen kokonaisuuden reaaliaikaiseen dataan. Dataa pystytään lähettämään reaalimallin fyysisestä yksiköstä tai sitä pystytään keräämään erilaisten antureiden avulla. Tämän lisäksi tarvitaan ohjelmistopohjainen mekanismi, mikä saa 3D-tietomallin toimimaan visuaalisesti fyysisen kokonaisuuden tavoin, vastaanotettujen reaaliaikaisten tietojen perusteella. (Weir-McCall 2021.)

4.1 Esimerkkejä digitaalisista kaksosista

Tehtaan digitaalisen kaksosen rakentamiseksi, tarvitaan ensimmäiseksi 3D-malli tuotannosta, jossa on mallinnettu koneet, robotit, kuljetushihnat, raaka-aineet jne. Sen jälkeen fyysisessä tehtaassa määritetään robotit ja koneet lähettämään reaaliaikaista tietoa niiden toiminnasta sekä anturit ilmoittamaan mahdollisista muutoksista. Seuraava askel on asettaa tietokoneohjelman käyttöliittymä käsittelemään ja päivittämään reaaliaikaista dataa. Näin saadaan ajan tasalla oleva esitys tehtaasta (kuva 48), joka näkyy tietokoneen näytöllä tai VR-laseilla. Digitaalisen kaksosen valmistuttua, robottien ja raaka-aineiden paikkojen siirtelyllä voisi olla mahdollisuus lyhentää tuotantoaikaa (Weir-McCall 2021). Aikaisemmin tehtaan johtajalla oli toimistossaan ikkuna tehtaan tuotantolinjalle, jotta hän sai käsityksen tapahtuvasta toiminnasta. Digitaalisen kaksosen ansiosta tehtaan johtajalla, mutta myös kaikilla



KUVA 48. Digitaalinen esitys tehdaslinjasta (Siemens 2018)

tuotantoon liittyvillä henkilöillä voisi olla virtuaalinen ikkuna paitsi yhteen tehtaaseen, myös kaikkiin muihin tehtaisiin ympäri maailmaa. (Grieves 2014, 5.)

Kaupunkisuunnittelussa lintuperspektiivinen liikennemalli ja millisekunnin tarkka tieto liikenne- ja kävelysignaaleiden muutoksista voivat auttaa kaupunkisuunnittelijoita analysoimaan liikennemalleja ja määrittämään mihin uusia signaaleita lisätään tai olemassa olevia muutetaan. Tällainen digitaalinen kaksonen voi kertoa uuden ostoskeskuksen tai toimistorakennuksen lisäämisen toteutettavuudesta. Se voi myös kertoa, voiko uusi moottoritieramppi vähentää ruuhkia. Autonomisten kulkuneuvojen seuranta parantaisi huomattavasti liikenneturvallisuutta ja sitä olisi helpompi kehittää. (Weir-McCall 2021.)

Kiinan väkirikkaimmasta kaupungista, Shanghaista on luotu täydellinen virtuaalinen kloni (kuva 49), jonka avulla operaattorit pystyvät seuraamaan kaikkea, liikenteen rakentamisesta siltojen kunnossapitoon. He voivat jopa käyttää ennakkotietoja simuloimaan tulvia katastrofisuunnittelun avuksi. (Weir-McCall 2021.)

Tampaan XR-digitaalinen kaksonen (kuva 50) toimii fyysisen mallin ja heijastettujen kuvien yhdistelmänä, jossa kehityssuunnitelmat näkyvä kolmiulotteisina. Kiinteistöjen lähdetiedoista ja maantieteellisistä järjestelmistä kootut tiedot antavat informaatiota vuokrien kasvusta, reaaliaikaisesta liikenteestä ja jopa auringon vaikutuksista. (Weir-McCall 2021.)

Digitaalista kaksosta ei pidä sekoittaa ”Älykäs kaupunki”-termiin. Älykäs kaupunki kerää tietoja esineiden internetin (IoT) laitteista kaupunkiympäristöstä



KUVA 49. Shanghai digitaalinen kaksonen (51World 2020)



KUVA 50. Tampaan XR-digitaalinen kaksonen (SPP & Imerza 2020)

ja käyttää näitä tietoja testaukseen, optimointiin ja analyysihin. Älykäs kaupunki ei tarvitse välttämättä 3D-mallia. Se kerää numeraalista tietoa ilman visuaalista esitystä. Esimerkiksi se voi kerätä tietoa liikennemalleista ohjatakseen liikennevalojen ajoitusta. (Weir-McCall 2021.)

NASA aloitti ensimmäisen digitaalisen kaksosen konseptin, kun organisaatio käytti sitä Apollo 13 -operaation astronauttien pelastamiseen mekaanisten ongelmien jälkeen. Hetki ennen avaruudesta maahan paluuta, happisäiliöiden räjähdys vaurioitti vakavasti aluksen päämoottoria yli 300 000 km päässä Houstonin komentokeskuksesta. Vaikka Apollo 13:n pelastusoperaatio tapahtui 32 vuotta ennen termin ”digitaaliset kaksoset” syntymistä, on se edelleen yksi parhaista esimerkeistä sen toiminnasta. NASA käytti 15 erilaista simulaattoria operaation eri osa-alueiden hallintaan. Nykyaikaiset digitaaliset kaksoset käyttävät tavallisesti esineiden internetiä (IoT) tavoitteiden saavuttamiseksi, NASA:n turvaututtua aikoinaan kaksisuuntaiseen tiedonsiirtoon. (Ferguson 2020.)

Finnair oli yksi ensimmäisistä ilmailualan yrityksistä, joka otti käyttöön digitaalisen kaksosen. XR-tekniikkaan erikoistunut helsinkiläinen yritys Zoan loi Finnairille täydellisen 3D-mallin Helsinki-Vantaan lentokentältä sisältäen kaikki yksityiskohdat. Finnair käyttää teknologiaa lentotoimintojen reaaliaikaiseen seuraamiseen. Käyttäjä pystyy suorittamaan erilaisia operatiivisia tehtäviä sekä VR- että AR-laitteilla. Zoan julkaisi vuonna 2016 Slush-tekniikatapah-tumassa myös virtuaalisen kaupunkimallin Helsingin keskustasta (KUVA 50, s 46). Molemmissa projekteissa Zoan on käyttänyt Unreal Engine-pelimoottoria. (Zoan 2021.)

Euroopan unioni haluaa tulevaisuudessa luoda digitaalisen kaksosen koko maapallosta. Sen tarkoituksena olisi seurata, visualisoida ja ennustaa sekä ihmisen että luonnon toimintaa. Projekti alkaa useiden osa-alueiden mallintamisella. Euroopan avaruusjärjestö ESA on tilannut suomalaiselta teknologian kehittämiskeskus VTT:lta metsien digitaalisen kaksosen suunnittelun. Projektiin osallistuu VTT:n lisäksi Helsingin yliopisto ja ulkomaisia metsäalan yrityksiä. Digitaalisen kaksosen avulla halutaan mitata metsän hiilivaraston muutosta, ennustaa puuston kasvua ja terveydentilaa, vertaamalla metsänhoitotoimiin ja ilman muutoksiin. Mallinnukset perustuvat metsävaratietoihin, joita kerätään maastokäynneillä sekä lentokone- ja satelliittikartoituksilla. Yksi kolmesta, prototyyppivaiheessa olevasta, digitaalisen kaksosen metsäalueesta sijaitsee Jyväskylän ja Tampereen välisessä Hyytiälän metsämaastossa ja se on 100 km kertaa 200 km suuruinen alue. Metsäkaksosen esiasteen uskotaan valmistuvan vuoden 2021 aikana ja lopullisen projektin kymmenen vuoden kuluttua. (Forest.fi 2021.)

4.2 Teknologia digitaalisten kaksosten taustalla

Digitaaliset kaksoset sisältävät aina 3D-mallin, joka on optimoitu nopeaan suorituskäyttöön esimerkiksi DCC-tekniikalla (Digital Calibration Certificates), LiDAR-skannauksella tai fotogrammetrialla. Muutama vuosi sitten digitaalisten kaksosten luontiin tarvittiin vielä koodari ja UX-suunnittelija sekä paljon aikaa ja vaivaa järjestelmän ylläpitoon. Yhdysvaltalaiset ohjelmistoyhtiöt Ansys ja PTC ovat tuoneet markkinoille omat simulointiohjelmistonsa digitaalisten kaksosten tekoon. Ohjelmistoja myyvät lisäksi Siemens PLM, IBM Watson IoT ja GE Digital. Kalliiden ja monimutkaisten ohjelmien jälkeen peli-

moottorit, kuten Unity ja Unreal Engine valtasivat alaa. Niillä pystyttiin helposti luomaan fotorealistisia ympäristöjä toistamaan tosielämän käyttäytymistä. Epic Gamesin omistamasta Unreal Engine-pelimoottorista tuli nopeasti yksi suosituimmista työkaluista useille digitaalisille kaksosille. Sen Blueprints Visual Scripting -järjestelmä antaa ei-teknisille käyttäjille mahdollisuuden ohjelmoida prosessi 3D-mallille ilman koodaustaitoja. Lisäksi Unreal Engine-ohjelmassa on sisäänrakennetut työkalut, jotka voivat vastaanottaa reaaliaikaisia tietoja käsiteltäväksi. Vaikka teknologia ei ole vielä valmiissa "asenna ja pelaa"-vaiheessa, se on jo edennyt pisteeseen, jossa se on ilmaisten pelimoottoreiden avulla kaikkien yritysten ulottuvilla. Lisäksi se on myös yhtä helppokäyttöinen, kuin mikä tahansa hyvin suunniteltu peli. (Weir-McCall 2021.)

4.3 Digitaalisten kaksosten tulevaisuus

Digitaaliset kaksokset ovat nousemassa keskeisiksi IT-työkaluiksi monille eri toimialoille. Engineering.com- sivuston mukaan ne tulevat olemaan tekoälyn (AI) ja koneoppimisen (ML) ohella kymmenen parhaan strategisen teknologian joukossa. Ne tarjoavat suuren määrän uusia liiketoimintamahdollisuuksia, koska ne ennustavat tulevaisuutta, sen sijaan, että analysoisivat menneisyyttä.

Terveystieteiden huolto on yksi digitaalisten kaksosten suurista hyötyjistä. Terveystieteilä on perinteisesti hoidettu aikaisempiin tietoihin nojautuen. Uusi teknologia mahdollistaa räätälöityjen mallien rakentamisen potilaille, jota pystyisi jatkuvasti säätämään seurattujen terveys- ja elämäntapaparametrien

perusteella. Seuraava askel voisi johtaa virtuaalisen potilaskaksosen rakentamiseen, joka sisältäisi käyttäjän yksilöllisen geneettisen koodin. Näin ollen saataisi yksityiskohtainen kuvaus yksittäisen potilaan terveydentilasta. Tämä muuttaisi myös odotettua kuvaa terveestä potilaasta. Aikaisemmin "terveeltä" potilaalta puuttuivat sairausindikaattorit, mutta nyt heitä voitaisi verrata muuhun väestöön terveyden määrittämiseksi. (Front Genet 2018.)

Digitaaliset kaksokset eivät tulevaisuudessa kehity pelkästään suunnittelutiimin innovoimina, koska protomallivaiheessa on mahdollista hyödyntää käyttäjien mieltyömyksiä. Lopputuotteen digitaalista kaksosta voidaan testata, muuttaa ja nähdä ennen sen valmistamista asiakkaalle mieleiseksi. Vuoteen 2025 mennessä 98 % kaikista IoT-alustoista sisältävät digitaalisen kaksosen ja siitä tulee vakiotoiminto vuoteen 2027 mennessä. Kun yhä useammat yritykset alkavat käyttää digitaalisia kaksosia tuotteiden rakentamiseen, samalla ne alkavat rakentamaan kokonaisia ekosysteemejä. Tuotteet voivat reagoida virtuaalisessa ympäristössä ja antaa reaaliaikaisia tietoja, jotka auttavat kehittämään esineiden internetin (IoT) tuotteita. (Perforce 2021.)

4.4 Metahumans – Digitaalisesti luodut ihmiset

Japanilainen robotiikan professori Masahiro Mori julkaisi vuonna 1970 hypoteesin, jonka mukaan robottien tultua inhimillisemmäksi, ne alkavat näyttää tutuilta ja ihmiset suhtautuvat niihin empaattisesti, kunnes saavutetaan piste, jolloin ne muuttuvat vastenmielisiksi. Kun robotin ulkonäköä on vaikea erottaa enää ihmisestä, tunnereaktio muuttuu jälleen positiiviseksi ja kasvat-
taa ihmisten välistä empatiaa. (Mori 2012.)

4.4.1 Synteettinen media

Innovatiiviset teknologiat, kuten tekoäly (AI) ja syntetisoitu puhe yhdistettynä digitaalisesti luotuihin ihmisiin ovat tyypillisiä aiheita synteettisessä mediassa (SM – Synthetic Media). SM on nopeasti kasvava trendi, joka on nopeasti leviämässä viihteen, liiketoiminnan ja koulutuksen aloille. Jotkut pitävät sitä hauskana internetuutuutena, kun taas toiset varoittavana merkinä medialuottamuksen romahtamiseen. Varhaisessa teknologiassa julkisuuden henkilöiden ja elokuvahahmojen suut saatiin liikkumaan ulkopuolisen puhujan suuliikkeiden mukaisesti. Myöhemmin tuli animoidut hahmot, jotka muistuttivat itseään ja jotka pystyivät puhumaan useita kieliä. Synteettinen media sisältää myös väärennöksiä (deepfakes), kuten äänikloonauksen ja kasvojen vaihdon. Äänijälki on mahdollista siepata kenen tahansa äänestä ja sitä on mahdollista käyttää toisissa yhteyksissä. Kasvojen vaihto onnistuu alkuperäisen kasvon korvaamisen digitaalisella kasvolla. Näistä tekniikoista askeleen edellä kulkee ajatus luoda kokonaan digitaalinen ihminen, joka muistuttaa mahdollisimman paljon todellista ihmistä. (Bonasio 2021.)

4.4.2 MetaHuman Creator

Unreal Enging julkisti tämän vuoden huhtikuussa ensimmäisen sovelluksen MetaHuman Creator -ohjelmasta. Tämä uusi työkalu on pilvipalvelussa suoraistettu sovellus, joka tekee digitaalisesta luomisesta yksinkertaista ja nopeaa. (KUVA 51.) MetaHuman Creator on vuosikymmenien kehityksen tulos. Epic Gamesin kanssa yhteistyössä toimineet yritykset 3Lateral ja Cubic Motion ovat vieneet digitaalisten hahmojen luomisen tekniikan niin pitkälle, että tänään se on kaikkien käytettävissä. Saman tasoisen digitaalisen hahmon tekoon vaadittiin aikaisemmin edistynyttä elokuvateknologiaa ja viikkojen tai



KUVA 51. Digitaalisesti luotu hahmo itsestä (Tarvainen 2021)

kuukausien työtä. Metahuman Creatorin ansiosta digitaalisen hahmon luominen on mahdollista jopa minuuteissa. (Unreal Engine 2021.)

Sovelluksen volumetrinen data tuotettiin ottamalla sarja korkealaatuisia HFR-kuvia fyysisestä ihmisestä useista kulmista ja kontrolloidussa valaistuksessa. Prosessi sisälsi erilaisia kuvausskenaarioita, joista osa keskittyi geometriaan, osa ulkonäköön ja loput liikkeeseen. Kaikki nämä syöttötiedot käytettiin digitaalisen esityksen tuottamiseen ja kasvojen semantiikan poimimiseen lihasten liikkeitä varten. (Bonasio 2021.)

MetaHuman Creator -ohjelmassa valitaan viidestäkymmenestä valmiista, ultrarealistisesta hahmosta valitut jatkokäyttöä varten. Ohjelmassa voit sekoittaa valmiiden hahmojen piirteitä, jonka jälkeen voit tarkentaa hahmoa vielä veisto- ja muokkaustyökalujen avulla. Ihon, silmien, hiusten ja hampaiden muokkausten jälkeen on vielä mahdollista valita haluttu vartalotyyppi ja asuste. Tämän jälkeen digitaalinen hahmon vartalonliikkeitä ja puhetta voidaan animoida Unreal Engine -ohjelmassa. Kasvojen, silmien ja suun liikkeitä pystytään linkittämään helpoiten reaaliajassa Applen Live Link Face -sovelluksen kautta. Näin on mahdollista liikuttaa digitaalisen hahmon suuta ja kasvon ilmeitä puhumisen yhteydessä.

4.4.3 Digitaalisten ihmisten tulevaisuus

Digitaalisesti luoduista hahmoista voi tulla myös tärkeitä julkisuuden virtuaalivaikuttajia, kuten Lil Miguela ja Lu do Magalu ovat todistaneet. Heidän Instagram-tilien kautta myydään muotia jo kymmenille miljoonille seuraajille.

Vaikka hahmot eivät ole olemassa oikeassa maailmassa, niistä on tullut voimakkaita persoonia, joita ihaillaan laajasti. (Bonasio 2021.)

Digitaalisia ihmisiä on käytetty televisiossa, elokuvissa ja peleissä. Samsungin STAR Lab loi tekoälykäyttöisiä hahmoja, kuten pankkiirin ja joogaohjaajan. Vaikka teknologia on vielä uusi, Samsungissa uskotaan, että näistä hahmoista voi tulla heidän tulevaisuuden asiakaspalvelijoita tai vastaanottovirkailijoita. (Marr 2020.)

Japanissa digitaaliset pop-tähdet ovat saaneet valtavaa huomiosota ja ne houkuttelevat omia fanejaan loppuunmyytyihin katsomoihin. Tekoäly tekee niille nykyisin myös musiikkia ja luo uusia esiintyjä, jotka esittävät uusia alkuperäisiä sävellyksiä. (Marr 2020.)

Digitaalisen ihmisen tekoäly voi korvata todellisia henkilöitä, kuten Kiinan Xinhua-uutistoimiston uutisankkuri, joka raportoi uutiset ensimmäistä kertaa vuonna 2018 (Marr 2020). H&M käytti verkostollaan tietokoneella luotuja malleja, josta kehitettiin lopulta uusi liiketoiminta täysin fotorealististen ja muokattavien muotimallien tuottamiseksi. Tämä todisti, että houkutelaksesi uusia asiakkaita seuraamaan sosiaalista mediaa, ei ole tarvetta käyttää tosielämän ihmisiä. (Marr 2020.)

Hyperrealistisen 3D-mallien jälkeen suuri kiinnostuksen kohde tulee olemaan tekoälyllä toimivat digitaaliset ihmiset. Niiden rakentaminen on teknisesti hyvin monimutkaista ja vaatii suuria määriä laskentaresursseja ja dataa. Internetin jättiläiset analysoivat kuitenkin jatkuvasti kaikkia käyttäjien toimintoja ja äänittävät tämän lisäksi myös heidän ääntään. Tätä syntynyttä dataa voisi käyttää digitaalisen kaksosen profiilin rakentamiseen. Kun tietoja syötetään

jatkuvasti pilveen ja uusiin tekoäly- ja koneoppimisteknologioihin, luodaan samalla älykästä digitaalista kaksosta. Puhelin seuraa jatkuvasti käyttäjänsä ja sillä on mahdollisuus tutustua muihin ympärillä oleviin laitteisiin. Suuri muutos tapahtui COVID 19 -epidemian alussa, kun Google ehdotti Applen kanssa yhteystietojen seurantaratkaisua, jossa he halusivat antaa asiakkaidensa laitteiden nähdä ja muistaa lähellä olevien tietoja Bluetoothin kautta. Jos verkon käyttäjästä tuli COVID-positiivinen, järjestelmän sallittiin yksityisesti ilmoittamaan käyttäjän altistumisaika ja etäisyys muista. Tässä tapauksessa siirretään toiselle käyttäjälle joitakin primitiivisiä tietoja, mutta samalla tavalla älypuhelimesi tai -kellosi voisivat antaa sinusta myös henkilökohtaisempia tietoja terveydestä, makuasioista ja liikkumisesta. (Chmiel 2020.)

On mahdoton ennustaa tarkalleen, kuinka digitaaliset ihmiset tulevat muuttamaan tulevaisuutemme, mutta monet kuitenkin pohtivat jo nyt, millainen voisi olla digitaalinen kuolemattomuus tai miten olisi mahdollista hallita teknologioiden tuomia kielteisiä asioita (Marr 2020).

5 XR OPETUKSESSA

Laajennetun todellisuuden (XR) markkina-arvo vuonna 2020 oli 20,05 miljardia dollaria ja sen arvioidaan nousevan 463,7 miljardiin dollariin vuonna 2026. COVID 19 on vaikuttanut suuresti alan kasvuun, kun pandemia on pakottanut ihmiset työskentelemään, opiskelemaan, sosiaisoimaan ja tekemään ostoksia kotoa käsin. Väkijoukkojen välttäminen ja sosiaalisen etäisyyden pitäminen on lisännyt myös 360 asteen matkavideoiden, viihteen ja videopelien käyttöä. Kehityksen ja kysynnän kasvaessa VR, AR ja MR nähdään yhä useammin toteuttamiskelpoisena ratkaisuna koulutuksessa, kokouksissa, tapaamisissa, asiakaspalvelussa, terveydenhuollossa ja useassa muussa toiminnassa. (Mordor Intelligence 2021.)

Teknologiajättien, kuten Googlen, Applen, Microsoftin ja Facebookin lisäksi, suuri osa yrityksistä satsaa tänä päivänä uusiin XR-teknologioihin. Tänä päivänä XR on yksi globaalisti voimakkaimmin nousevista trendeistä ja se hakee usealla eri alalla teknologian asiantuntijoita ja suunnittelijoita. Viisi vuotta sitten VR-suunnittelijan työpaikkoja ei ollut vielä olemassa, eikä AR tarjonnut kenellekään töitä. Kasvavan digitalisoinnin takia ei voida enää toimia samalla tavalla kuin aiemmin. XR on myös otettava huomioon korkeakoulutuksen uusissa opintosuunnitelmissa. Perinteisesti XR-koulutuksessa on ajateltu, että hyvä koodaamistaito antaa riittävät valmiudet alan työtehtäviin. Huomio pitäisi suunnata kuitenkin laajempaan kontekstiin. Sisällöntuotannosta on tullut yksi suurimmista haasteista XR-teknologian käyttöönotolle. Kuka mallintaa auton, lentokoneen, rakennukset tai ympäristön? Kuka värittää, teksturoi ja valaisee mallit? Millä ohjelmistolla mallit rakennetaan ja miten niistä suunnitellaan immersiiivinen kokemus (Devaney & Nelson 2021)? Muun muassa näihin kysymyksiin on korkeakoulujen XR-koulutuksen vastattava.

5.1 XR opetuksen suunnittelu

Korkea-asteen XR-koulutuksesta ja sen suunnittelusta on vielä vain vähän tutkimustietoa. Yhdysvaltalaisilla korkeakouluilla ja yliopistoilla on kuitenkin jo yli kymmenen vuoden kokemus alan koulutuksista. Yhdysvaltain opetusministeriö julkaisi vuonna 2019 raportin, joka suosittelee simulaatioiden ja erityisesti XR:n käyttöä auttaakseen opiskelijoita osallistumaan monimutkaiseen ongelmanratkaisuun ja olemaan syvemmässä vuorovaikutuksessa oppimateriaalien kanssa. Yksi mielenkiintoisimmista korkea-asteen XR-koulutuksen suunnitteluun liittyvistä tutkimuksista on tehty teknologiayritys HP:n ja EDUCAUSE-järjestön toimesta. EDUCAUSE on voittoa tavoittelematon yhteisö, joka koostuu IT-johtajista ja -ammattilaisista. Järjestö on sitoutunut edistämään korkeakoulutusta. Vuonna 2018 tehtyyn ”XR for Education” -tutkimukseen osallistui 17 korkea-asteen oppilaitosta, mukaan lukien MIT, Harvard University ja Yale University. (Pomerantz 2018.)

”XR for Education”- tutkimuksen mukaan XR-teknologia on erityisen tehokas tukemaan taitopohjaista ja osaamiseen perustuvaa opetusta ja oppimista. Korkeakoulujen opetussuunnitelmien muuttaminen on kuitenkin pitkä prosessi ja sillä välin pitää löytää muita tapoja luoda opiskelijoille riittävästi aikaresursseja XR-tekniikan hyödyntämiseen. Ajan lisäksi opiskelijoilta odotetaan teknisiä kykyjä, jotka voivat olla alustavia opintoja tai tietämystä esimerkiksi ohjelmoinnista. Oppilaitos, jossa tietokoneohjelmia ja 3D-mallinnusta opetetaan jo ensimmäisestä vuodesta lähtien, voi opiskelijoille silti olla liian haastavaa oppia kehittämään XR-sovellusta yhden kurssin aikana. Jatkoa ajatellen opetussuunnitelmissa kannattaisi kehittää uutta ensimmäisen vuoden

kokemuskurssia, jonka aikana opiskelijat työskentelevät XR-tekniologiaa käyttäen. Toinen mahdollisuus on integroida XR-tekniologia esimerkiksi muotoiluajattelu-kurssille, jossa tutkimustyö tehdään verkon kautta. (Pomerantz 2018.)

XR-opetuksen tulee olla yhteensopivaa kaikkien oppilaitoksen järjestelmien kanssa. Opetus ei voi olla ainoastaan yhden ohjaajan vastuulla, vaan se tulee sovittaa laajemmin koko opetussuunnitelmaan ja alaan. Ajan mukaan olemassa olevat standardit ja käytännöt muuttuvat XR:n vaikutuksesta, mutta alussa ne pitää sovittaa olemassa oleviin tapoihin tehdä asioita. Tämän lisäksi XR-sovelluksen on sovittava olemassa oleviin opetusmenetelmiin ja ohjaajien käytäntöihin. Se ei eroa minkään muun uuden tekniologian käyttöönotosta, koska käytämme aina uusia työkaluja jo olemassa oleviin opetusmenetelmiin, kunnes selvitämme mihin muuhun uusi työkalu kykenee. (Pomerantz 2018.)

Toinen XR-tekniologian käyttöönottoon vaikuttava tekijä on kustannukset, jotka eivät voi olla liian korkeat. Kustannukset tarkoittavat rahan lisäksi myös aikaa, joiden kustannukset XR:n osalta kuuluvat ohjaajien laskettaviksi. Kaupalliset XR-sovellukset ja simulaatiot voivat olla melko kalliita, mutta kehityksen kasvaessa, nykyisin on löydettävissä myös edullisia ja ilmaisiaakin sovelluksia. Niiden on aina vastattava opetustavoitetta ja oltava kustannustehokkaita käyttöönoton ja oppimisen kannalta. (Pomerantz 2018.)

XR-tekniologian helppokäyttöisyys vaikuttaa voimakkaasti oppimisen tehokkuuteen. Ajan- ja useiden versioiden myötä käyttöliittymät ovat parantuneet, kun kehittäjät ovat oppineet lisää käyttäjien tarpeista. Opiskelijoille on annettava mahdollisuus oppia XR-tekniologia tavalla, mikä ei ole mahdollista

millään muulla välineellä. Sen on myös oltava tehokkaampi, kuin perinteiset opetustyökalut. (Pomerantz 2018.)

Useat XR-tekniologiaa opiskelevat henkilöt pitivät parhaimpina projekteina niitä, jotka olivat odottamattomimpia. Ohjaajilla ja opiskelijoilla on oltava koikeiluhenki. Monet itsenäiset- ja ryhmissä tehdyt työt ylittivät tehtävänannon rajat ja opiskelijat käyttivät omaa aikaa projektin parissa ja saivat myös vapaat kädet oman idean toteutukseen. Nämä opiskelijat oppivat paljon tekniologiasta ja projektin aiheesta, mutta mikä tärkeintä, he oppivat oppimaan. Harjoituksissa pitää olla monimutkaista ongelmanratkaisua ja syvää vuorovaikutuksessa aiheensa kanssa. Jotta opiskelijat voisivat harjoittaa tällaista itseohjautuvaa oppimista, he tarvitsevat vapautta ja joustavuutta. Tämä edellyttää, että XR-tekniologian on oltava opiskelijan vapaasti käytettävissä, esimerkiksi luokkahuoneessa tai verkossa, josta ohjaajat tai oppilaitos pystyvät helposti seuraamaan työskentelyä. (Pomerantz 2018.)

XR-tekniologian integroinnissa korkeakouluopetukseen ja -oppimiseen ei ole vielä parhaita käytäntöjä. Opiskelijoiden opittua käyttämään uutta tekniologiaa, he voivat myös rikkoa rajoja ja kehittää jotain uutta. Kannattaa työskennellä myös pelisuunnittelijoiden kanssa etenkin aloilla, joissa koulutus perustuu taitoihin. Tämä ei tarkoita taitopohjaisen koulutuksen pelillistämistä, vaan yhteistyötä kehittäjien kanssa, joilla on kokemusta realististen simuloitujen ympäristöjen suunnittelusta. Peliteollisuus on kehittänyt jo pitkään yhä realistisempaa grafiikkaa VR- ja AR-peleihin. Yhteistyöllä ohjaajien kanssa on mahdollista rakentaa myös erilaisia koulutussovelluksia, joilla voi seurata opiskelijoiden edistymistä ja edesauttaa heidän menestymistään. (Pomerantz 2018.)

Michiganin yliopiston (UM) akateemisen tiedekunnan keskus teki apulaisprofessori Michael Nebelingin kanssa verkkokurssisarjan nimeltä: Extended Reality for Everybody. Kolme kurssia käsittelevät XR:n peruskäsitteitä, kuinka suunnitella ja kehittää XR-sovelluksia ja kuinka tuoda ne opetuksen sisältöön. Jokainen kurssi sisältää myös käytännön projektin. Hyväksytyjen kursien jälkeen opiskelija saa sertifikaatin, jonka voi esittää työnantajalle (UM 2021). Unity ja Unreal Engine ovat kehittäneet itseohjautuvia verkkokursseja auttaakseen käyttäjiä luomaan sisältöjä. Yhä useammat yritykset käyttävät XR-teknologiaa päivittäisessä työssään ja he odottavat sisällöntuottajien sekä kehittyneempien alustojen vastaavan markkinoiden tarvetta.

PwC:n (PricewaterhouseCoopers) vuonna 2020 tekemän tutkimuksen mukaan VR-opiskelijat oppivat neljä kertaa nopeammin, verrattuna luokkahuoneessa opiskeleviin. VR:n jälkeen opiskelijat luottivat 275 % enemmän kykyihinsä soveltaa taitoja ja olivat 3,75 kertaa emotionaalisesti syvemmissä yhteydessä sisältöön, verrattuna perinteiseen luokkaopiskeluun. Opiskelu ja työ muuttuvat tulevaisuudessa yhä enemmän hybridi- ja etäluonteisiksi. XR tarjoaa mahdollisuuden kouluttautua uudessa mittakaavassa ja tuoda ihmisiä yhteen uudella tavalla. Etäyhteistyö voi tapahtua kouluissa, kodeissa ja toimistoissa tietokonesovellusten tai XR-laitteiden välityksellä. Se avaa myös upean mahdollisuuden korkea-astekoulutuksen ja teollisuuden kumppaneiden väliseen yhteistyöhön sitoutumalla samalla kestävään kehitykseen ja eettisiin innovaatioihin. (Devaney & Nelson 2021.)

Teknologian kehityksen myötä pelimoottoreista on tullut käyttäjäystävällisempiä ja niiden käyttö on laajentunut usealle eri alalle. Nykyisin pelimoottoreita käytetään yleisesti visualisointiin ja koulutukseen sekä lääketieteellisiin ja sotilaallisiin simulaatiosovelluksiin.

5.2 Pelimoottorit

Pelimoottori-termiä alettiin käyttämään 1990-luvun puolivälissä erityisesti 3D-pelien, kuten id Softwaren Doom ja Quake yhteydessä. Muut pelien kehittäjät lisensoivat ohjelmistoista ydinosat ja suunnittelivat oman sisällön. Vuonna 1998 kehitetyt pelit, kuten id Softwaren Quake III Arena ja Epic Gamesin Unreal Enging suunniteltiin pitämällä moottori ja sisältö erillisinä kokonaisuuksina. Lisensoinnin kannalta se osoittautui hyväksi liiketoiminnaksi. Yksi lisenssi kaupallisesta pelimoottorista voi vaihdella 10000 dollarista miljooniin dollareihin ja lisenssinsaaajien määrä useisiin kymmeneen yrityksiin. Kilpailu id:n ja Epicin välillä oli 2000 luvun vaiheessa vielä kovaa, mutta myöhemmin Unrealista on tullut huomattavasti suositumpi. (Branwell 2007.)

Nykyajan pelimoottorit ovat monimutkaisia sovelluksia, joissa on kymmeniä hienosäädettyjä järjestelmiä. Kehitys on tuonut vahvan eron renderöinnin, komentosarjakielen, tasosuunnittelun ja taiteen välille. Tänäpä on normaalia, että pelinkehitystiimissä on huomattavasti enemmän taiteilijoita, kuin peliohjelmoijia. Käyttömahdollisuuksien laajentuessa pelimoottoreista on saatu ainutlaatuinen työkalu usealla eri alalla. Esimerkiksi arkkitehtuurissa, jossa 3D-mallit ja visualisoinnit ovat jo pitkään toteutettu tietokoneohjelmilla, pelimoottoreiden ansiosta malleihin voidaan tuoda uudenlaista tietoa ja toiminnallisuutta. Reaaliaikaista dataa voidaan saada esimerkiksi ihmisten liikkeistä ja säätilan muutoksista.

Paras metodi korkealaatuisten XR-kokemusten aikaansaamiseksi on käyttää pelimoottoreita. Suosituimmat pelimoottorit, kuten Unity, Unreal, Amazon Lymberyard, Stencyl, Codot, Construct 3, Build box, GDevelop ja monet muut, ovat vapaasti käytettävissä sovellusten ja sisältöjen kehittämiseen

Vaikka markkinoilta löytyy Applen, Microsoftin ja Amazonin kaltaiset suuryritykset, erottuvat Unityn ja Unrealin pelimoottorit ylivoimaisesti suosituimpina. Unrealin vahvuus perustuu luotujen sovellusten visuaaliseen ilmeeseen, kun Unity puolestaan tarjoaa eri laitteille kehitettäviä mobiilisovelluksia. Valinta paremmuudesta on käyttäjälähtöistä ja riippuu myös tottumuksesta. Molempien pelimoottoreiden tuottamaa sisältöä voidaan tarkastella perinteisen näytön lisäksi myös VR- ja AR-laseilla.

Unity ja Epic Games, luovat itseohjautuvia verkkokursseja auttaakseen ratkaisemaan sisällön luomisongelmia. Kun yhä useammat yritykset käyttävät XR-tekniikoita päivittäisessä työssään, odotamme sisällöntuottajien ja kypsempien alustojen kysynnän kasvavan vastaamaan markkinoiden tarpeita. Nämä ympäristöt vaativat kuitenkin paljon aikaa ja resursseja monipuolisen interaktiivisen ympäristön luomiseksi. (DeVaney, Nelson 2021.)

5.2.1 Unity

Unity on Unity Technologiesin kehittämä pelimoottori, joka julkaistiin kesäkuussa 2005 yksinomaan Applen Mac OS X- pelimoottorina. Myöhemmin sitä on laajennettu tukemaan Microsoft Windowsia ja verkkoselaimia sekä erilaisia pöytätietokone-, mobiili-, konsoli- ja virtuaalitodellisuusalustoja. Erityisen suosittu se on iOS- ja Android-mobiilipelien kehittämisessä, joista tunnetuimpia Indie-pelit, Pokéman Go ja Monument Valley. Pelimoottorilla voidaan luoda 2D- ja 3D-pelejä, interaktiivisia simulaatioita ja muita kokemuksia. Moottori on otettu käyttöön videopelaamisen lisäksi elokuvan-, autoteollisuuden-, arkkitehtuurin-, rakentamisen- ja tekniikan aloilla. (DeAlessandri 2020.)

Unityn ohjelmoinnissa on kolme eri ohjelmointikieltä: UnityScript, Boo ja C# (C-sharp). Ohjelmointikielistä UnityScript muistuttaa JavaScriptiä, Boo Pythonia ja C# Javaa sekä C-kieltä. Käytetyimmäksi nousi kuitenkin C#, joka tuli jatkossa jäämään ainoaksi, koska UnityScriptin ja Boon tuki päättyi Unity 5-version julkaisun myötä vuonna 2017. (Fine 2017.)

Microsoft kehitti vuonna 2005 C# – ohjelmointikielen ja se on ollut alusta asti Unityn pääohjelmointikieli. C#:n avulla on mahdollista luoda uusia komponentteja tai laajentaa olemassa olevia. Sillä voi myös muokata pelin toimintaa, määrittellä pelaajien vuorovaikutusta, vihollisen käyttäytymistä, siirtää esineitä ja paljon muuta. Unityn kohdalla C#-ohjelmointikielen ymmärtäminen laajentaa tietämystä ja antaa mahdollisuuden luoda mukautettuja ja monimutkaisia ominaisuuksia. Vaikka sisällöntuotannon tiimityöskentelyssä ei haluaisikaan ohjelmoida, on tärkeää ymmärtää kaikki mahdollisuudet, mitä koodauksella voidaan saada aikaan. C# on ollut erittäin hyödyllinen XR:n kehityksessä, koska ihmiset eivät ole vielä löytäneet parasta ratkaisua tai parhaita toteutuksia XR:n ongelmiin. Vuoden 2020 alussa esiteltiin ”kooditon” XR Interaction Toolkit -sovellusliittymä, jossa voidaan luoda vuorovaikutusta ilman skriptien kirjoitusta, mutta tämän katsotaan vielä olevan väliaikainen ratkaisu ongelmaan. Koodauksen oppimista Unityssä voidaan pitää meta-taitona XR-sovellusten kehittämiseen. Sitä voidaan kutsua insinööritieteelliseksi ajattelutavaksi. C#-ohjelmoinnin periaatteiden avulla on mahdollisuus ymmärtää myös muita koodauskieliä, kuten Unrealin käyttämää C++:aa. Tärkeintä kuitenkin on ajatella lopullista tavoitetta. Kaikki XR-kehittäjät alkavat oppia C# tai C++ rakentaakseen mielessä olevan idean. (Ribeiro, Gajsek 2021.)

Unityllä on ilmaisia ja maksullisia versioita. Ilmaiset versiot, Personal ja Student ovat tarkoitettu henkilökohtaiseen käyttöön, oppilaitoksille tai pienemmillä yrityksillä. Näillä lisensseillä on mahdollista luoda kaupallisia pelejä, joiden liikevaihto tai rahoitus jää Unityn käytöstä alle 100 000 dollariin vuodessa. Business-lisenssit ovat tarkoitettu alle 200 000 dollarin liikevaihtoa Unityn käytöstä tekeville kehittäjille. Plus-versio maksaa 40 dollaria kuukaudessa tai 399 dollaria vuodessa. Pro-versiossa ei ole mitään tulojen tai rahoituksen rajoituksia. Se maksaa 150 dollaria kuukaudessa tai 1800 dollaria vuodessa. Lisäksi suurille organisaatioille on oma Enterprise-versio, jossa 20 lisenssiä maksaa 4000 dollaria kuukaudessa. Unity ei peri osinkoja pelien tuotoista, eikä vaadi maksuja niiden julkaisuista. (Dealassandri 2020; Unity Store 2021.)

2010-luvulla Unity Technologies käytti pelimoottorinsa reaaliaikaista 3D-alustaa siirtyäkseen muille teollisuuden alueille. Unity kokeili elokvien tekemistä uudella Cinemachine-työkalulla. Vuonna 2017 Disney käytti Unityn moottoria luodakseen taustat Leijonakuningas-elokuvaan (Summers 2019). Useat autonvalmistajat käyttivät myös Unityn teknologiaa luodakseen täysimittaisia malleja uusista ajoneuvoista virtuaalitodellisuudessa. Audin suunnittelijat ja insinöörit voivat kävellä virtuaalisen auton ympäri nähdäkseen miltä se näyttää ja mikä säästää fyysisen mallin rakentamiseen tarvittavia kustannuksia ja aikaa. Lisäksi suunnittelijat ja johtajat voivat nähdä mallin missä tahansa. VR-lasien ansiosta on mahdollista päästä myös auton sisään penkin ja ratin väliin, vaikka muuta autoa ei ole vielä rakennettu. Tämän lisäksi teknologialla voidaan tehdä virtuaalisia kokoonpanolinjoja ja kouluttaa työntekijöitä ongelmien ennakoimiseen. Volkswagen käyttää tätä teknologiaa 120 tuotantolaitoksellaan. Jatkossa Unity haluaa hyödyntää kehittyneitä ihmisen ja koneen rajapintoja ja itseajavia autoja. Yhtiö aikoo käyttää pelikehityksen oppeja luodakseen paremman käyttöliittymän tuleville tieto- ja viihdejärjestelmille. (Edelstein 2018.)

Vuonna 2020 Unity otti käyttöönsä visuaalisen Bolt-skriptityökalun, joka on sisällytetty kaikkiin Unityn versioihin ilman lisäkustannuksia. Sen avulla suunnittelussa voidaan käyttää visuaalisia, solmupohjaisia kaavioita ilman koodaustaitoja. Unity on kehittänyt moottoristaan modulaarisen ja laajennettavan, mutta se ei välttämättä sovellu suuriin projekteihin tai jos haluaa tehdä jotain mittailaustyönä. Sen sijaan se mukautuu hyvin aloittelijoille ja mahdollistaa nopean prosessin. (Dealassandri 2020.)

5.2.2 Unreal Engine

Epic Gamesin Unreal Engine on yksi varhaisimpia pelimoottoreita ja sitä käytettiin merkittävien pelien, kuten Forniten, Valorantin, PlayerUnknowns Battlegroundsin ja Life Is Strangen luomiseen. Unreal-pelimoottori esiteltiin ensimmäisen kerran vuonna 1998. Kehittämistiimi ei uskonut pelimoottoria kehittäessään, että siitä tulisi niin suosittu alusta elokuva- ja televisioiteollisuuden, arkkitehtien, 3D-taiteilijoiden ja suunnittelijoiden keskuudessa. Epic Games tunnisti kuitenkin nopeasti tämän mahdollisuuden ja kehitti pelimoottoriaan edelleen monipuolisemmaksi ja helppokäyttöisemmäksi vastaamaan korkeimpiakin vaatimuksia. Vuodesta 2015 se on ladattavissa ilmaiseksi ja sen lähdekoodi on saatavilla GitHub-arkistossa. Unrealin käyttö kaupallisissa tuotteissa perustuu rojaltilimalliin, joka on nykyisin 5 % myyntituotosta miljoonan dollariin asti, jonka jälkeen niistä luovutaan. Vuonna 2015 käynnistettiin myös 5 miljoonan dollarin kehitysrahasto, josta myönnetään apurahoja luoville, Unreal 4:llä tuotetuille projekteille. (Nutt 2015.)

Viimeisin versio, Unreal Engine 5 julkaistiin 26.5.2021 ja sen täydennetyt version uskotaan olevan valmis vuoden 2022 alussa. Uusi Nanite-teknologia vie geometrian uudelle tasolle mahdollistaen valokuvallisen ja erittäin yksityiskohtaisen lähdemateriaalin tuonnin sisältöihin. Nanite voi tuoda lähes kaikki muissa ohjelmissa luodut 3D-mallit ja -ympäristöt. Moottori hyödyntää myös vuonna 2019 hankkimaansa Quixel Megascans- fotogrammetriakirjastoja. Quixel on maailman suurin digitaalisia 3D-malleja teräväpiirtokuvauksella tuottava yritys. Toinen suuri Unrealin komponentti on Lumen, jonka dynaaminen valaistusratkaisu reagoi reaaliajassa kohteiden ja valon muutoksiin laskemalla välittömästi valon heijastukset ja varjot. (McWhertor 2020; Orland 2020.)

Kesäkuussa 2021 Epic Games osti maailman suurimman 3D-mallialusta Sketchfabin. Yhdistämällä voimansa Epic ja Sketchfab voivat tehdä 3D-, VR- ja AR- sisällöistä helpommin saavutettavia. Sketchfabin avulla on helppo löytää, muokata, ostaa ja myydä 3D-sisältöä suoraan verkkopalvelun kautta. Sketchfabissa on noin 4 miljoonaa 3D-mallia ja sen teknologia on integroitu kaikkiin suuriin 3D-työkaluihin ja julkaisualustoihin. Se on yhteensopiva tärkeimpien selainten, käyttöjärjestelmien ja alustojen kanssa sekä pöytäkooneella että mobiililaitteella. Tämä koskee myös Unity-pelimoottoria. Sketchfabin tehtävänä on, toimitusjohta ja perustaja Alban Denoulen mukaan, antaa voimaa uudelle luovuuden aikakaudelle ja tarjota palvelua sisällön tuottajille, jotka esittelevät työnsä verkossa ja tuovat 3D-sisällön kaikkien saataville. Näin rakennetaan uusi, avoin ja toisiinsa yhteydessä oleva metaversumi. (Koetsier 2021.)

Unreal Engine 5:n tekniset suunnittelijat halusivat päästä eroon monimutkaisuudesta. Koko maailma on käytännössä vain yksi iso karttatiedosto, jonka

Unreal ottaa ja hajottaa soluverkoksi muokkausta varten. Ympäristöjen rakentaminen on mahdollista ilman koodin kirjoittamista. Käyttöliittymä on haluttu sivuuttaa mahdollisimman monella työkalulla, joilla luodaan itse sisältöä. Taiteilijat ja suunnittelijat voivat olla mahdollisimman lähellä todellista työtä ja työskennellä tiiviimmin yhdessä ilman suurempia teknisiä taitoja. (Takahashi 2021.)

Epic Games on OpenXR:n perustajajäsen yhdessä Krhonos Group:n ja alan kumppaneiden kanssa. OpenXR on maksuton ja avoin standardi, joka tarjoaa pääsyn XR-alustoille ja -laitteisiin. Unreal Engine 5 sisältää uuden OpenXR-yhteensopivan VR-mallin, joka tukee Oculus 1- ja 2-, Rift S-, Valve Index-, HTC Vive- ja Windows Mixed Reality-laseja. VRTemplate-malli on suunniteltu lähtökohdaksi kaikille VR projekteille. Se sisältää koteloitun logiikan teleportliikenteelle ja yleisiä toimintoja, kuten esineisiin käsin tarttumisen. (Hamilton 2021.)

UnrealScript (UScript) oli Unreal Enginen alkuperäinen skriptikieli, jota käytettiin pelikoodin ja -tapahtumien luomiseen ennen Unreal Engine 4 julkaisua. Ohjelmointikieli on suunniteltu yksinkertaiseen, korkealaatuiseen peliohjelmointiin. UScript tukee käsitteitä, kuten aika, tila, ominaisuudet ja verkko, joita perinteiset ohjelmointikielet eivät käsittele. UScript poistui kuitenkin vuonna 2012 UE4:n julkistamisen myötä. Ohjelmointikieleksi valittiin C++, missä visuaalisia komentosarjoja tukee Blueprints Visual Scripting-järjestelmä. Blueprintit ovat siis visuaalinen skriptikieli Unreal Editorissa. Käyttäjät voivat luoda sisältöä käyttämällä visuaalista, solmupohjaista käyttöliittymää, koskematta C++-koodiin (KUVA 4?). Tämä järjestelmä on erittäin joustava ja tehokas, koska se tarjoaa suunnittelijoille mahdollisuuden käyttää kaikkia

konsepteja ja työkaluja, jotka ovat yleensä vain ohjelmoijien käytössä. Lisäksi Unreal Enginen C++- toteutuksessa saatavilla oleva "Blueprint-specific" mahdollistaa ohjelmoijien luoda perusjärjestelmiä, joita suunnittelijat voivat laajentaa. (UE Blueprints 2021.)

Unreal Engine Marketplace avautui syyskuussa 2014. Marketplace on digitaalinen myymälä, jossa sisällöntuottajat ja kehittäjät voivat tarjota taidetta, malleja, ääniä, ympäristöjä, valmiita koodeja ja muita ominaisuuksia, joita voi ostaa tutoriaalien ja ohjeistusten kanssa. Sisällöstä jotkut ovat ilmaisia, mukaan lukien Unreal assetit (lisäsisällöt) ja tutoriaalit. Sisällön tekijät saavat 88 % myydyistä tuotteista ja Epic ottaa 12 %:n osuuden. (Chalk 2018.)

5.2.3 Pelimoottorin valinta opetukseen

Unity ja Unreal Engine ovat kaksi merkittävämpää ohjelmakehityksen moottoria. Molemmat aloittivat pelinkehityksen työkaluina, mutta myöhemmin niistä on kasvanut suuria ja parempia alustoja useisiin käyttötarkoituksiin.

Pelimoottorin vaikeus on ollut huolenaihe usealle uudelle kehittäjälle ja yritykselle, jotka haluavat palkata kehittäjiä. Asiantuntijoiden palkkaamisen ja tuottavuuden ennustamisen kannalta voidaan todeta, että molempien pelimoottorien kehittäjinä työskentelee markkinoilla kymmeniä tuhansia ihmisiä, joista monet freelancereina tai ulkoistuspalvelujen kautta. Nykyiset moottoriversiot ovat hyvin optimoituja, joten useimpien pätevien asiantuntijoiden pitäisi pystyä hyödyntämään niitä täysimääräisesti.

Oppimisen suhteen vaikeustaso tulee olemaan huomattava, riippumatta siitä, mikä alusta valitaan. On mahdollista, että menee kuukausia vain perusasioiden oppimiseen. Useat kehittäjät, jotka ovat työskennelleet molempien alustojen kanssa, myöntävät, että Unity on helpompi omaksua yksinkertaisemman C#-kielen ansiosta.

Sovelluksen tekoon on ymmärrettävä pelimoottoreiden sovelluskehityksen rajat, mutta vieläkin tärkeämpää on, että se tukee visioitua projektityyppiä. Jos sovellus valitaan tarkoituksen mukaan, jossa yrityssovellukset tulevat yrityksen sisäiseen käyttöön, asiakassovellukset kaupalliseen käyttöön tai sovellus sijoittuu peli- ja viihdemaailmaan, niin pelimoottoreilla ei ole rajoja. Molempia moottoreita käytetään tällä hetkellä laajasti myös pelisovellusten ulkopuolella, eikä niitä tarvitse jakaa ulospäin. Jos sovellus valitaan alustan, kuten pöytätietokoneen, älypuhelimien, AR/VR/MR, konsolin tai Webin mukaan, niin tässäkin tapauksessa valinta on sama, koska molemmat moottorit tukevat lähes kaikkia alustoja.

Joitakin erityispiirteitä moottoreiden kehityksessä saattaa tulla esiin prosessin aikana. Unity on rakennettu mobiilisovelluksia ajatellen, joten suurin osa optimoinneista on tarkoitettu pienille- ja indie-peleille, joiden käsittelyvaatimukset ovat rajallisia. Unrealin tehokkaiden graafisten ominaisuuksien käyttäminen on liikaa useimmille mobiilisovellukselle, mutta korkean prosessoinnin sovellusten optimointi tekee siitä sopivamman AAA-nimikkeille ja huippulaitteille.

Immersiivisiä sovelluksia, jotka perustuvat VR/AR/MR- teknologioihin, tuetaan molemmissa moottoreissa, mutta Unity sopii täydellisesti prototyyppien

laatimiseen ja kokeiluun. Unreal on puolestaan erinomainen valinta, jos halutaan näyttävä kohde, jossa kaikki yksityiskohdat ovat tarkasti suunniteltu. Blueprints-järjestelmän ansiosta immerstiivinen suunnittelu on myös helpompaa.

Grafiikaltaan Unity tarjoaa muutamia vaikuttavia ominaisuuksia, mutta paremman visuaalisuuden saavuttaminen edellyttää paljon työtä ja muokkauksia. Unrealissa sen sijaan on vaikuttavan oletusgrafiikkaominaisuuden lisäksi UE-assetit, jotka näyttävät jo suoraan valinnasta loistavilta laajojen ensiasetusten ansiosta.

Oppimateriaalia on runsaasti molempien alustojen verkkosivuilla ja kehittäjiä tuetaan lukemattomilla tutoriaaleilla, käsikirjoilla ja foorumeilla. Opettajille on tarjolla useita oppaita, joiden avulla on mahdollista suunnitella kurseille opetusta ja resursseja. Opiskelijoille on myös laadittu tason mukaan tutoriaaleja, oppaita ja kursseja itsenäiseen opiskeluun. Unreal julkaisee kaksi kertaa vuodessa opiskelijoiden parhaita töitä sivuillaan ja korkea-asteen oppilaitoksilla on mahdollisuus tehdä yhteistyötä ympäri maailmaa löytyvien Academic-Partners-oppilaitosten kanssa.

Valinta Unityn tai Unrealin käytöstä opetuksessa on vaikea, koska molemmilla on omat erityiset vahvuutensa. Suurempien projektien aloittaminen opetuksen alkuvaiheessa kannattaa kuitenkin sulkea pois suunnitelmista, vaikka opetuksessa olisi mukana teknisiä asiantuntijoita. Tärkeää on ymmärtää, että pelimoottorin täydellisen hyödyntämisen oppiminen ei ole ainoa tie prosessissa. Opiskelijoiden ja ohjaajien taustoilla ja osaamisella on myös merkitystä. Sisällön tuottamista varten pelimoottorin valinnassa kannattaa

analysoida koko projektia, sekä tulevasta liiketoiminnallisesta, että teknisestä näkökulmasta ja etsiä niistä yhteinen tekijä, joka helpottaa valitsemaan sopivan vaihtoehdon. Lisäksi voi myös viitata seuraaviin moottorien vahvuuksiin ja heikkouksiin (kuva 52).

UNITY

- + Erinomainen yksinkertaisten mobiilisovellusten rakentamiseen.
Mukaan lukien mobiili AR- ja VR-sovellukset.
- + Laajin saatavilla oleva alustatuki
- + Yksinkertaisempi ja nopeampi C#-koodaus
- + Laaja Asset Store
- Hyvän graafisen laadun aikaansaaminen vie enemmän aikaa ja työtä
- Hidas renderöinti ilman optimointia

UNREAL ENGINE

- + Tarkoitettu korkeimman grafiikan saavuttamiselle
- + Antaa käyttäjien muokata sävyttimiä (shaders) ilman koodausta
- + Erittäin nopea jälkikäsitteily
- + Kaikilla käyttäjäryhmillä pääsy lähdekoodiin
- Lisenssimalli kallis suurille peleille
- Hankala pienille peleille

KUVA 52. Unity / Unreal Engine: Vahvuudet ja heikkoudet

5.3 XR:n soveltuvuus korkeakouluissa ja muotoilussa

XR-tekniikat osoittivat arvonsa koulutuksessa jo ennen pandemiaa. Muuttuneissa olosuhteissa, joita yliopistot ja korkeakoulut kohtaavat nykyään, XR:llä tulee olemaan vieläkin merkittävämpi rooli. Nyt meillä on jo empiirisiä todisteita XR:n tehokkuudesta opetuksessa ja oppimisessa. Tutkimusraportit todistavat XR:n olevan tehokas tekniikka aktiiviseen ja kokemukselliseen oppimiseen, jonka avulla käyttäjät voivat saada konkreettisia kokemuksia, joita ei millään muulla menetelmällä ole saatavilla. Käytännön kokemuksen kautta XR auttaa edistämään opiskelijan sitoutumista oppimateriaalin kanssa ja syventää opiskelijoiden vuorovaikutusta monimutkaisten ongelmien kanssa. (Pomerantz & Rode 2020.)

Korkeakoulutuksen suuri trendi on digitaalinen muutos. Sen muodostavat yhteiskunnalliset, poliittiset, taloudelliset ja ympäristölliset suuntaukset. Nopeasti muuttuvassa ja digitaalisessa maailmassa tasa-arvo, monimuotoisuus, etiikka ja osallisuus ovat kriittisiä kysymyksiä, jotka edellyttävät välittömiä toimia. Korkea-asteen oppilaitosten on omaksuttava nopeita päätöksentekomenetelmiä strategisten painopisteidensä saavuttamiseksi. Menestyäkseen oppilaitosten on omaksuttava innovaatio löytääkseen oman paikkansa oppimisen tulevaisuudessa. (Georgieva 2021.)

Suurimmat teknologiayritykset, kuten Facebook, Google, Apple ja Microsoft ovat kaikki kiinnostuneita XR:stä. Kun tämän kokoiset yritykset investoivat valtavia summia uuteen teknologiaan seuraavien 10 - 20 vuoden aikana, on korkea-asteen koulutuksen kiinnitettävä huomiota siihen. Ennen Covid 19:ää useimmissa maissa rahoituksen puute ja haluttomuus muuttua viivästyttivät koulusektorin uusien teknologisten innovaatioiden soveltamista, mutta vuoden

2020 alussa maailmanlaajuiset koulutusteknologian investoinnit kolminkertaisestiin 4,5 miljardiin dollariin, joista suurin osa suunnattiin korkeakoulutukseen. Koulutuksesta on kasvanut neljänneksi suurin XR-tekniikoihin investoiva sektori ja muutoksen ansiosta XR on alkanut näkyä yliopistojen ja korkeakoulujen opintosuunnitelmissa. (Holon IQ 2020.)

Suomessa XR-koulutusta korkea-asteella on alettu tarjota vuodesta 2018. Metropolia Ammattikorkeakoulun XR Design -koulutus aloitettiin syksyllä 2018 ja se on Suomessa ainoa Muotoilun AMK-tasoinen tutkintoon johtava koulutus. Opinnot pohjautuvat teollisen muotoilun ammatillisen osaaminen integroitumista teknologisiin, digitaalisiin ja virtuaalisiin ympäristöihin. Lisäksi XR-menetelmiä hyödynnetään tuotesuunnittelun kentällä toteuttamalla kurseilla mallinnetut suunnitelmat fyysisiksi tuotteiksi 3D-tulostuksen tai muiden valmistusmenetelmien avulla (Muotoilu Metropolia 2021). Ilmaisen koulutuksen laajuus on 240 opintopistettä ja kesto 4 vuotta. Opintoihin kuuluu perus-, ammatti- ja vapaavalinnaisia opintoja sekä työharjoittelu ja opinnäytetyö. Opinnoista valmistuttuaan opiskelija saa tutkintonimikkeeksi Muotoilija (AMK). Valmistuttuaan opiskelija voi työllistyä hyvin monipuolisesti useille aloille, joissa käytetään XR-tekniikkaa. (XR-Design Metropolia 2021.)

Metropolian luovien alojen kampuksen yhteydestä toimii Helsinki XR Center (HXRC), joka on Euroopan suurin virtuaalitodellisuuteen keskittyvä keskus. HXRC tarjoaa opiskelijoille verkostoitumismahdollisuuksia XR-alan asiantuntijoiden ja yritysten kesken. Tilojen yhteyteen on avattu vuonna 2019 myös avoin demo-alue XR-showroom, joka on tarkoitettu XR-laitteiden kokeilu-ympäristöksi ja suomalaisen XR-osaamisen esittelytilaksi maailmalle. (HXRC 2021.)

Metropolia Ammattikorkeakoulun lisäksi Suomessa XR-koulutusta on järjestänyt vuodesta 2019 lähtien Jyväskylän ammattikorkeakoulu (JAMK), joka tarjoaa XR-kehittäjän koulutusta. Se kuuluu laajempaan "Highway 2 code" -koulutuskokonaisuuteen, jossa on mukana kuusi ohjelmointialan eri tehtäviin opintoja tarjoavaa ammattikorkeakoulua. Koulutus järjestetään englanninkielisenä verkko-opintoina ja se on mahdollista suorittaa 6 - 8 kuukaudessa. Koulutus on osa JAMK:n täydennyskoulutuksen opintotarjontaa ja se on opetus- ja kulttuuriministeriön rahoittama (JAMK 2019). Aalto-yliopisto, muut suomalaiset korkea-asteen koulutukset sekä kansanopistot tarjoavat myös nykyisin XR-tekniologiaan liittyviä kursseja, luentoja ja seminaareja.

Muotoilun koulutuksen monialaisuuden hyödyntäminen voisi tuoda XR-koulutukseen uutta lisäarvoa. Perinteisesti XR-tekniologian opetus on katsottu soveltuvan parhaiten STEM-koulutukseen, joka sisältää teknistieteellisiä aloja. Muotoilun suuntauksiin puolestaan kuuluu käyttöesineiden suunnittelua, muotia, grafiikkaa, sisustusarkkitehtuuria, kaupunkisuunnittelua ja palvelumuotoilua. Muotoilu reagoi myös nopeasti elinkeinoelämän- ja talouden muutoksiin ja sen tulisi aina olla askeleen edellä työelämän tarpeita. Muotoilu näyttäytyy nykyisin innovaatiotoimintana ja sen kasvavia aloja ovat palveluiden muotoilu ja erityisesti digitaalinen muotoilu, joka on muotoilun nopeimmin kasvava sovellusala (Boman-Björkell & Känkänen 2020, 3 - 4). Muotoilun ominaisuuksiin kuuluu tulevaisuusorientaatio ja kyky hallita suuria kokonaisuuksia. Nuoren opiskelijakunnan ansiosta aktiivinen tulevaisuuteen vaikuttaminen on luontaista, sillä opiskelijat rakentavat parempaa tulevaisuutta juuri itselleen. (Laamanen & Känkänen 2020, 120.)

XR-tekniologia hyötyy, tai jopa vaatii poikkitieteellistä työtä. Esimerkiksi AR-sovellus, joka tuo anatomiset rakenteet käyttäjän silmien eteen, edellyttää tilan

ja valaistuksen ymmärtämistä, eli taitoja, jotka ovat yleisempiä sisustusarkkitehdin- kuin lääketieteen koulutuksessa. Palvelumuotoilua voidaan puolestaan hyödyntää uusien XR-palvelujen ja ympäristöjen suunnittelussa. XR-tekniologiassa monitieteisyys tai monialaisuus ovat yksi sen suurimpia mahdollisuuksia, kuin myös yksi suurimpia haasteita. Korkeakoulukampuksilla on omat suuntautumisensa, kulttuuri ja budjetit. Yhteistyön aloittaminen voi olla vaikeaa, koska se edellyttää nykyisten organisaatiorakenteiden muuttamista ja mahdollisesti kokonaan uusien kehittämistä. (Pomerantz & Rode 2020.)

Osa oppilaitoksista käyttää jo XR-tekniologiaa opetukseen ja oppimiseen, mutta usein tämä prosessi on kokonaan oppilaitoksen sisäinen. Jotkut korkeakoulut voivat ottaa johtoaseman tämän tyyppisessä monitieteisessä yhteistyössä. Savonia-ammattikorkeakoululla on Suomen mittakaavassa ainutlaatuinen tilaisuus olla suunnannäyttäjänä. Savonia on osa Savilahden alueella sijaitsevaa oppilaitoskeskittymää. Itä-Suomen yliopistolla opiskelee noin 7000 - ja Savonian kampuksella noin 5000 opiskelijaa. Savon ammattiopiston saapessa Savilahteen vuoden 2022 aikana, alueelle muodostuu 15 000 – 16 000 opiskelijan ja kolmen koulutusasteen ainutlaatuinen oppimisympäristö. Lisäksi alueella toimii laaja yritysmaailma. (Savilahti 2021.)

XR haastaa korkea-asteen koulutuksen perinteiset organisaatiomallit ja -rakenteet. Johdolta edellytetään erilaisia strategioita kampusten välisen yhteistyön edistämiseksi. XR-tekniologia muuttuu nopeasti ja toimialue, jossa sitä käytetään, saattaa muuttua projektista toiseen. Oppilaitosten välinen yhteistyö mahdollistaa kuitenkin alan kehittämisen, kehittäminen edistää menestystä ja menestys tuo yleensä huomiota ja monesti myös rahaa. Jos eri suuntausalojen välinen yhteistyö yksikön sisällä on vaikeaa, niin yhteistyö toisten oppilaitosten kanssa voi olla vieläkin vaikeampaa. Yhteistyö oppilaitosten välillä tutkimuksen

alalla on ollut normaali käytäntö jo pitkään, mutta IT-tukipalvelut ovat yleensä yksiköiden sisäistä toimintaa. Yhteiset tukipalvelut ovat edellytys XR:n kehitykseen ja yhteisön rakentaminen on oltava osa tätä tukea.

Business Center on Savonian yhteydessä toimiva paikallinen palveluverkosto, joka vahvistaa maakunnan elinkeinoelämän ja muiden organisaatioiden osaamista ja kansainvälistä kilpailukykyä. Business Centerin kumppaneita ovat Savonian lisäksi, Savon ammattiopisto, Itä-Suomen yliopisto ja Kuopion kaupunki. Syyskuussa 2021 Business Center keräsi yhteen kaikki Savonian vastuualueiden henkilöt, jotka ovat mukana XR:n kehittämisessä tai koulutuksessa. Todettiin, että eri tulosyksiköissä ja hankkeissa alkaa olla XR-teemaan ja sen kehittämiseen liittyvää toimintaa. Tavoitteena on kehittää tulevaisuudessa monipuolisesti XR-osaamista ja palveluja koulutuksessa ja useissa hankkeissa. Kokous keräsi 20 osallistujaa Savonian eri toimialoilta. Osallistujien esittelyjen yhteydessä selvisi, että suurin kiinnostus XR-ää kohtaan tulee erinäisissä hankkeissa asiakasprojektien kautta. Kysyntä XR:n soveltamiseen yritystoiminnassa on viime vuosina kasvanut. Koulutuksen osalta Savoniassa on opetettu peliohjelmointia sekä C#- ja C-kielellä ohjelmointia Tietotekniikan tutkinto-ohjelmassa useamman vuoden ajan. Terveysalalla on käytetty Hololens 2 MR-laseja työhöiden seurantaan laboratoriotutkimuksen yhteydessä. Tämän lisäksi rakennusarkkitehdin- ja muotoilussa sisustusarkkitehtuurin koulutuksessa on käytetty AR- ja VR-laseja pääasiassa opiskelijaprojektien tarkasteluun. Vaikka XR-teknologioiden käyttö on vielä ollut vähäistä, niin yhteinen näkemys oli, että sen kehittämistä tulee jatkaa Savoniassa. XR-laitteita on ollut talon sisällä käytössä jo useita vuosia, mutta niidenkin paras potentiaali on vielä lunastamatta. Tulevista XR-osaajista on tarvetta ja koulutuksen suunnittelu tulee aloittaa mahdollisimman pian.

5.4 XR Design - pilottikurssi

Ajatus XR-koulutuksesta syntyi keväällä 2018. VR:n tehokkuus tuli esiin Savonian uuden kampuksen suunnittelun yhteydessä. Rakenteilla olevasta Savonian uudesta kampuksesta oli tehty 3D-malli ja uusia suunnitelmia tiloista ja kalustevaihtoehdoista pystyttiin tarkkailemaan perinteisten visualisointikuvien ja videoesitysten lisäksi VR-laseilla. Virtuaalitodellisuus tarjosi tarkemman ja realistisemman työkalun suunnitelmien tarkasteluun, kuin perinteiset suunnitteluohjelmat. Uudelle kampukselle suunniteltiin XR-opetustila, jonne sijoitettiin pelikoneet ja XR-laitteet. Muotoilun opetus siirtyi Microkadun kampukselle syksyllä 2020 ja pilottikurssin piti alkaa tulevalla lukukaudella. Koronan syystä etäopetukseen siirtyminen lykkäsi kuitenkin kurssia vuodella. Samalla todettiin, että silmille asetettavien laitteiden käyttö ja vaihtelu opiskelijoiden kesken ei olisi järkevää pandemian aikana.

5.4.1 Ohjelmat, laitteistot ja tilat Savonian kampuksella

Kampussuunnittelun VR-mallit oli tehty Twinmotion-ohjelmalla, joka on ollut vuodesta 2017 lähtien Savonian muotoilun sisustusarkkitehtuurin opetuksessa visualisointiohjelmana. Twinmotion siirtyi keväällä 2019 ranskalaiselta Abventilta amerikkalaisen Epic Gamesin omistukseen. Siitä lähtien Twinmotionin voimälähteenä on ollut Unreal Engine- pelimoottori. Twinmotion tarjoaa yksinkertaisen ja erittäin helppokäyttöisen työkalun sisustus suunnittelijoille ja arkkitehteille. Useat tunnetut arkkitehtitoimistot käyttävät ohjelmistoa ennen kaikkea suunnitteluprosessin varhaisissa vaiheissa saadakseen käsityksen siitä, kuinka projekti koetaan käyttäjän näkökulmasta. Sen jälkeen toimisto käyttää suunnitteluaan iterointiin. Nopeasti luodut virtuaalitodellisuuskokemukset auttavat asiakkaita ymmärtämään ehdotuksia arkkitehtonisten ominaisuuksien

tuomaa arvoa. Teknologiasta on myös hyötyä kaavoitusluvan saamisessa, sillä naapurit ymmärtävät paljon helpommin, miten suunniteltu rakennus tai laajennus vaikuttaa heihin. (DeZeen 2021.).

Kaiken XR-sisällön lähtökohtana on 3D-malli. Arkkitehtuurimallien lisäksi muotoilun koulutuksessa mallinetaan tiloja, valaistusta, huonekaluja, teollisia tuotteita, vaatteita ja koruja. Muotoilussa suunnitellaan myös lukuisia asiakasprojekteja kaikilla sektoreilla ruuasta terveydenhuoltoon. 3D-mallinnusta tehdään usealla eri ohjelmalla ja kaikista niistä on mahdollista luoda virtuaalimalli. Twinmotionin VR-malleissa käyttäjä voi liikkua ohjainten avulla tilassa ja tarkastella ympärillä olevia esineitä tai asioita. Uudessa versiossa VR-lasien käyttäjä voi kuulla äänimaailmaa, avata ovia ja muuttaa materiaaleja. Luonnon valon säätö on myös mahdollista muuttamalla päivän aikaa. Näitä interaktiivisia toimintoja tulee lisää aina ohjelmistopäivitysten mukana. Twinmotionilla ei voi kuitenkaan ohjelmoida muita haluttuja vuorovaikutteisia toimintoja mallien kanssa. Mallit on kuitenkin mahdollista viedä Unrealiin jatkotyöstöä varten.

XR-koulutukseen tarvittavien Unreal- ja Unity -ohjelmien sujuva käyttö vaatii pelikoneita. Savonian XR-luokahuoneesta löytyy 14 kiinteää pelikonetta kahdella näytöllä. Tilan koneet ovat aika vanhoja, eikä uusimpia päivityksiä kannata enää tehdä niihin. Kyseiset ohjelmat toimivat niissä kuitenkin hyvin. XR-luokan vierestä löytyy uusi XR-Center, joka on tarkoitettu pääasiassa asiakasprojektien esittelyyn ja XR-laitteiden kokeiluun. Tästä tilasta löytyy uudemmat tehokoneet sekä kampuksen XR-laitteet (KUVA 53). Tietokonekantaan tullaan uudistamaan ensi vuonna ainakin muotoilun tehotyöluokissa ja toiveissa on saada myös uusi projektitila tulevaisuuden XR-koulutuksia varten.

Savonian XR-laitteet (Tilanne lokakuussa 2021)	Käyttö	Kpl
Hololens	AR	2
Hololens 2	AR	2
HTV Vive	VR	2
HTC Vive Pro	VR	2
Oculus Quest	VR	5
Oculus Go	VR	2
Oculus Rift	VR	2
Oculus Rift S	VR	2
Valve Index	VR	1
Varjo VR-1	VR	1
Varjo XR-1	VR	1
Vuzix M4000	AR	1
ACER Windows mixed reality	MR	1
ASUS Windows mixed reality	MR	1

KUVA 53. Savonian XR-laitteet

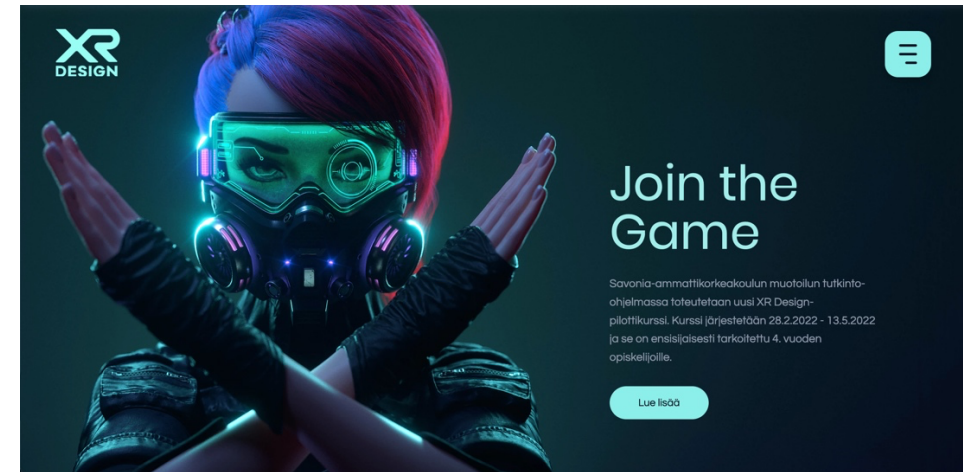
Savonian opiskelijoilla ja opettajilla on mahdollisuus käyttää virtuaalisia Citrix-tehotyöasemia, joiden avulla on mahdollista ajaa raskaita suunnitteluohjelmia ajasta, paikasta tai käyttäjän päätelaitteesta riippumatta. Opiskelija ei tarvitse omaa tehokasta tietokonetta tai asentaa ohjelmia, koska laskenta- ja näyttöohjaimen teho tulee Savonian palvelinkonesalista (kuva 54). Citrixin käyttöön riittää 3G- tai 4G-liittymä, koska näytön pikselitieto siirretään pakattuna palvelinkonesalista käyttäjän tietokoneelle. Citrixin virtuaaliselta työpöydältä löytyy kaikki tarvittavat 3D-mallinnus ja visualisointiohjelmat. Savonian Citrix-ympäristö on ainutlaatuinen palvelu, jonka hyödyt huomattiin etäopetukseen siirtymisen yhteydessä. Nykyisin opiskelijat pystyvät jatkamaan kurssisuorituksia kotonaan ja käyttämään raskaita suunnitteluohjelmia omalla perus-PC:llä. Ylläpitäjän puolesta virtuaalikoneet ovat myös huomattavasti nopeampia päivitettä kuin fyysiset luokkakoneet.



KUVA 54. Savonian palvelinkonesali (Myöhänen 2021)

5.4.2 Kurssin verkkosivut

XR Design -pilottikurssilla käytetään useampia sähköisiä oppimisympäristöjä. Moodlesta opiskelijat löytävät totutusti kurssin toteutussuunnitelman, aikataulut, opetusmateriaalit, tehtävät ja keskustelualueet. Kurssin tuotokset kerätään opintojaksoa varten luoduille nettisivuille. Lisäksi sivuille linkitetään aiheeseen liittyviä tutkimuksia, uutisia ja tapahtumia. Tulevaisuuden työpaikkoja haettaessa opiskelijan portfolioista on tullut merkityksellisempi, kuin kurssien arvostuksista. Moodle-kurssit sulkeutuvat opintojen jälkeen, joten on tärkeää, että opiskelijoilla on mahdollisuus kerätä opintojen parhaat projektit omille verkkosivuille. Kurssin omilta sivuilta opiskelija pystyy myös jatkossa seuraamaan tulevien kurssien projekteja ja nopeasti kehittyvän alan uutuuksia. Still-kuvien, videoiden ja 360-panoraamaesitysten lisäksi verkkoselaimilla pystyy uusien WebXR-tekniologioiden avulla jakamaan myös VR- ja AR-aineistoa. XR Design-kurssin verkkosivualustaksi valikoitui Editor X, joka on tehty erityisesti designereille. Editor X on vuonna 2020 julkaistu kehittyneempi versio Wix-verkkosivualustasta. Se tarjoaa edistyneitä suunnittelu- ja asetteluominaisuuksia, joiden avulla voi helposti luoda monimutkaisiakin verkkosisältöjä kaikille laitteille ilman koodausosaamista. Kurssin verkkosivuja varten on rekisteröity xrdesign.fi -domain ja heti kurssin alkaessa opiskelijoille annetaan oikeudet muokata ja lisätä sisältöä. Verkkosivujen suunnitteluprosessi on vielä vaiheessa, mutta valmistuu tekijän toimesta ennen pilottikurssin alkua. Sivujen runkoa ja ulkoasua on suunniteltu etusivun visuaalisella ilmeellä (kuva 55). Ennen lopullisia väri- ja typografiavalintoja sivuille suunniteltiin oma logo (kuva 56). Logoa pystytään käyttämään verkkosivujen lisäksi kaikessa kurssin digitaalisessa viestinnässä.



KUVA 55. Kuvakaappaus xrdesign.fi verkkosivuista (Tarvainen 2021)



KUVA 56. XR Design- logo (Tarvainen 2019)

5.4.3 Opetussuunnitelma ja kurssin sisältö

XR Design- pilottikurssi (10 op) järjestetään muotoilun 4. vuoden opiskelijoille helmikuussa 2022. Pilottikurssille otetaan mukaan 12 opiskelijaa, joka määräytyy tällä hetkellä käytävissä olevien tehokoneiden ja XR-laitteiden mukaan. Kurssin pedagogisena mallina on itseohjautuva ja ongelmalähtöinen oppiminen. Opetusmenetelmät sovitetaan yhteen oppilaitoksen järjestelmien kanssa. Kurssilla hyödynnetään useita opetusmenetelmiä, joista tärkeimpiä ovat:

- **Käänteinen opetus.** Opiskelijoille annetaan opetusmateriaalia ja esitehtäviä, jossa opiskelija tutustuu uuteen asiaan itsenäisesti.
- **Ilmiöpohjainen opetus.** Hahmotetaan laajaa kokonaisuutta usean ohjaajan ja opiskelijoiden toimesta. Ilmiöön liittyy useita osaamisalueita.
- **Oppilaslähtöinen opetus.** Kaksisuuntainen oppiminen. Interaktiivinen muoto, josta hyötyvät sekä opiskelijat että ohjaajat.

Pilottikurssilla ei ole vielä tarkoitus toteuttaa asiakasprojektia vaan tutustua laajemmin XR-tuotannon työvälineisiin tekemällä useita pienempiä suunnittelu- projekteja, joissa harjoitetaan pelimoottoreiden käyttöä ja ohjelmointia sekä sisällön tuottoa. Kurssin toteutus on alustavasti suunniteltu jaettavaksi kolmen ohjaajan kesken. Ohjaaja 1 (Opinnäytetyön tekijä) koordinoi kurssia ja vastuussa sen toteutuksesta. Lisäksi hänelle kuuluu osa Unreal-pelimoottorin käytön opetuksesta. Ohjaaja 2 vastaa kaikista XR-laitteista ja ohjelmoinnin perusteista Unityllä. Ohjaaja 3:n vastuulla on Green Screen- videoproduktio, jossa harjoitellaan muun muassa virtuaalikameran käyttöä. Tämän lisäksi on tarkoitus saada mukaan yksi ulkopuolinen luennoitsija, joka alustaa XR-teknologioi-

den mahdollisuuksista sekä yksi tekninen asiantuntija, jonka vastuulla on Unrealin opetus.

Opintojaksokuvaukseen laaditut osaamistavoitteet ja keskeiset sisällöt ovat:

Osaamistavoitteet

Opiskelija tuntee XR-teknologioiden mahdollisuudet. Opiskelija osaa tuottaa ja muokata XR-ympäristöissä tarvittavia keskeisiä toimintoja. Opiskelija tuntee 3D-grafiikan peruskäsitteet. Opiskelija osaa mallintamisen, teksturoinnin, valaistuksen ja renderöinnin perusteet. Opiskelija osaa tuoda 3D-mallit pelimoottoreihin. Opiskelija osaa hyödyntää VR-, AR- ja MR-sovelluksia. Opiskelija osaa luoda interaktiivista sisältöä ohjelmoinnin avulla.

Keskeiset sisällöt

XR-teknologian avulla toteutetut suunnitteluprojektit. 3D-mallinnus- ja visualisointiosaamisen syventäminen. Unreal Engine- ja Unity-pelimoottorien käyttö suunnittelun työkaluna. Blueprint- ohjelmointi. VR-, AR- ja MR-laitteet. Green Screen -videoproduktio.

5.4.4 Kurssin jälkeen

Kurssin lopussa toteutetaan palautekysely Google Formsilla, jossa selvitetään opiskelijoiden kokemuksia kurssin eri osioista ja vaiheista. Kyselyssä arvioidaan kurssin sisällön lisäksi omaa työskentelyä ja ryhmän toimintaa. Palautekysely koostuu avoimista- ja monivalintakysymyksistä. Vastausten analysoinnilla saadaan tietoa, joka auttaa tulevien kurssien suunnittelussa.

Ensimmäinen pilottikurssi on suunnattu muotoilun neljännen vuosikurssin opiskelijoille, jotta heillä olisi mahdollisuus suorittaa kurssi ennen opintojen päättymistä. Seuraavan vuoden XR-koulutus olisi kuitenkin syytä sijoittaa kolmannen vuoden keväälle. Tällöin opiskelijoilla olisi mahdollisuus kehittää XR-osaamistaan neljäntenä vuonna esimerkiksi opinnäytetöissä tai työharjoittelu- paikoissa. Kurssin jälkeen opiskelijoilla tulisi olla vapaa pääsy XR-luokkahuoneeseen, jossa he voisivat itsenäisesti kehittää XR-projekteja. Itseohjautuvan oppimisen on katsottu usein olevan tehokkain oppimismuoto. Teknisen kyvyn saavuttaminen voi kuitenkin viedä paljon aikaa.

“If you want to go quickly, go alone; if you want to go far, go together.”
(Larsson 2018)

Kehittyvät teknologiat eivät tule menestymään, jos vain harvat omaksuvat ne. Uusi teknologia tulisi ottaa laajasti käyttöön tai se epäonnistuu. Paras tapa teknologian kehittämisessä ja integroimisessa opetukseen ja oppimiseen on tehdä se yhdessä. Hackathon-tapahtumien järjestämisestä on tullut erinomainen keino rakentaa XR-yhteisö. Hackathon on yhdestä päivästä viikkoon kestävä tapahtuma, jossa tietokonekehittäjät, ohjelmoijat, graafiset suunnittelijat,

projektipäälliköt ja tietotekniikan eri alojen asiantuntijat kokoontuvat yhteen. Tähän intensiiviseen yhteistyötapahtumaan voivat osallistua myös opiskelijat

ja alasta kiinnostuneet aloittelijat. Hackaton-tapahtuman tavoitteena on kehittää toimiva sovellus, ohjelma tai laitteisto tapahtuman loppuun mennessä. Osallistujat jaetaan 4-5 hengen ryhmiin, joissa on vähintään yksi ohjelmoija ja yksi graafinen suunnittelija. Ryhmien tueksi asetetaan lisäksi kouluttajia ja alan asiantuntijoita. Hackathonien lopussa ryhmät esittelevät saavutetut tulokset yleensä lyhyen videon avulla. Hackathonien teemat ja aiheet voivat vaihdella. Tapahtumia voi myös järjestää eri oppilaitosten kesken, joissa toisen oppilaitoksen valittu ryhmä matkustaa isännöivän oppilaitoksen kampukselle. Myös näihin tapahtumiin kutsutaan ulkopuolisia organisaatioita. Hackathon-tapahtumat tarjoavat opiskelijoille verkostoitumisen lisäksi mahdollisuuden osallistua monimutkaiseen ongelmanratkaisuun ja perehtyä syvällisesti aiheeseen käyttämällä XR-teknologioita.

Nykyisin on empiiristä näyttöä XR-teknologioiden tehokkuudesta opetuksessa ja oppimisessa. Lisäksi on myös todisteita opiskelijoiden lisääntyvästä sitoutumisesta ja parempien oppitulosten saavuttamisesta. XR-kehittäjiä ja -osaajia tarvitaan lisää, koska kysyntä on jo huomattavasti ylittänyt tarjonnan. Kurssin ja opetussuunnitelman kannalta on välttämätöntä antaa opiskelijoille riittävästi aikaa käsitellä uuden teknologian tuomia monimutkaisia ongelmia. XR-teknologia itsessään motivoi opiskelijoita pysymään pidempään kurssimateriaalin parissa. Jos halutaan edistää XR:n laajaa käyttöönottoa, tulisi koulutuksesta kehittää 60 opintopisteen laajuinen opintokokonaisuus tai nelivuotinen AMK-tutkintoon johtava XR-koulutus. Tämä olisi merkittävä askel kohti tulevaisuuden kampuista

6 POHDINTA

Opinnäytetyön aihetta etsiessäni pyrin löytämään itseäni kiinnostavan osa-alueen, joka liittyisi keskeisesti oman ammattikuvan tulevaan muutokseen. Uudet teknologiat ja digitalisaation nopea kehitys tuovat opettajan työhön uusia haasteita ja edellyttävät uudenlaista osaamista. Aihepiirin syvällisempään perehtymiseen katsoin oman opinnäytetyön tekemisen olevan paras menetelmä.

Ennen aiheen tarkempaa rajaamista kiinnostukseni kohteeksi nousi todellisuuskäsitteet. Halusin perehtyä tarkemmin tieteellisen maailmankuvan vastaisiin teorioihin ja sisällyttää osion opinnäytetyön alkuun. Laajennettuun todellisuuteen (XR) liittyvää suomalaista kirjallisuutta ja verkkoaineistoa oli todella vähän tarjolla. XR-teknologioista oli usein kirjoitettu vain lyhyet kuvaukset tai käsitelty ainoastaan yhtä teemaa. Tämän vuoksi olen käyttänyt opinnäytetyössäni laajasti englanninkielisiä lähteitä. Perusteellinen tutustuminen XR-teknologioihin ja -laitteisiin auttoi ymmärtämään, kuinka aihekokonaisuutta voisi soveltaa korkeakoulun opetuksessa ja sen suunnittelussa.

Ennen XR Design -pilottikurssin suunnittelua halusin itse oppia käyttämään uutta teknologiaa, jotta voisin tukea opiskelijoita sen käytössä. Kutsuin Savonialle kahdesti ulkopuolisen kouluttajan opettamaan Unreal Engine -ohjelman käytössä. Molemmat koulutukset kestivät kolme päivää. Ehdin kuuden päivän aikana oppia suunnittelun periaatteet ja ohjelmoinnin peruskäsitteet. Tekniikan puolelta vastavalmistunut opiskelija kertoi käyttäneensä tuhat tuntia oppiakseen Unrealin sujuvan käytön. Ymmärsin kuitenkin, että 10 %:n tuntemuskin riittäisi yhden osakokonaisuuden ymmärtämiseen. Pilottikurssin ohjaajiksi

kutsuin kolme asiantuntijaa, jotka ottavat kukin vastuulleen omat osa-alueet. Tulemme kokoontumaan ohjaajien kesken vielä useita kertoja ennen kurssin alkua viimeistelläksemme kurssin toteutussuunnitelman. Jokainen ohjaaja valmistele omalta osaltaan myös materiaalia opiskelijoiden itsenäistä opiskelua varten.

Opinnäytetyön parissa työskentely oli haastavaa opetus- ja hanketyön ohessa. Aikaisempien kokemusten perusteella huomioin, että liian pitkät tauot kirjoittamisen välissä tuottivat ongelmia pitää kokonaisuus johdonmukaisena. Aloitin usein kirjoittamaan samoja asioita uudestaan. Kirjoittaminen on kuitenkin prosessi, joka ei yleensä onnistu yhdellä kerralla alusta loppuun asti. Sisällysluettelon teko ennen aloittamista ja yhden osa-alueen kirjoittaminen kerrallaan auttoivat pääsemään tekstissä eteenpäin ja siirtymään seuraavaan vaiheeseen.

Opinnäytetyön tavoitteena on saada lukija ymmärtämään XR:n moninaiset mahdollisuudet ja niiden sovellettavuus omalle alalle. Teknologiat ovat tällä hetkellä suuressa kehitysvaiheessa ja niiden käyttöönotto ja koulutus ovat juuri nyt ajankohtaisia. XR-teknologioiden integroiminen opetukseen on pitkä prosessi ja se on tehtävä vaiheittain. Aloitin pilottikurssin suunnittelun vastakseni koulutuksen kasvavaan kysyntään. Kurssin koordinaattorina vastuulleni kuului laatia opintojakson osaamistavoitteet ja keskeiset sisällöt. Oletuksena on, että kurssille osallistuvilla opiskelijoilla on hyvät 3D-mallintamistaidot ja aikaisemmista opinnoista valmiita projekteja, joita voidaan hyödyntää XR-ympäristöissä. Uutta opittavaa on silti paljon ja opiskelijoilta odotetaan teknisiä

kykyjä ratkaista monimutkaisia ongelmia. Kurssin aikana jää nähtäväksi pystyvätkö opiskelijat motivoitumaan ja sitoutumaan laaja-alaiseen kokonaisuuteen viimeisen lukuvuoden aikana.

Systemaattinen ja kattava lähteisiin perehtyminen toi kokonais käsityksen kirjoitettavasta sisällöstä. Lähteiden suuri määrä tuotti kuitenkin ongelmia sisällön punaisen langan löytämiseksi. Kriittinen valinta ja tutkittuun tietoon syvennyminen auttoi kokonaisuuden jäsentelyssä. Erottelin verkkolähteitä aiheiden mukaan selaimen kansioihin, joista tarvittava tieto oli helppo poimia uudelleen luettavaksi ja lähdeviitteeksi merkattavaksi.

Mielekkääksi opinnäytetyön kirjoittamisen teki aiheen kiinnostavuus ja sen hyödynnettävyys tulevassa työssä. Onnistuin mielestäni hyvin kokoamaan yhteen kaiken XR:ää käsittelevän tiedon. Tiedon ajankohtaisuus viittaa kuitenkin siihen, että se vanhentuu nopeasti. Opinnäytetyö on kuitenkin oman ajan katusen sen hetkisestä tilanteesta, eikä sitä pysty päivittämään. Sen varalta olen suunnitellut verkkosivut, joiden kautta on helppo tiedottaa kehittyvän alan uutuuksia. Kotikäyttöön soveltuvat VR- ja AR-lasit tulevat pian yleistymään ja virtuaalisia elämyksiä on mahdollisuus nauttia suoraan verkkoselaimen kautta.

LÄHTEET

- Alanen, Lilli 2018. Descartes, René. Filosofia.fi. Julkaistu 5.5.2018. <https://filosofia.fi/fi/ensyklopedia/descartes-rene>. Viitattu 29.4.2021.
- Bardi, Joe 2018. Q&A: What is Diminished Reality? R&D Engineer Ken Moser, PhD, explains. Julkaistu 20.11.2018. <https://www.marxent-labs.com/diminished-reality-ken-moser-explains-marxent/>. Viitattu 18.7.2021.
- Boman-Björkell, Asta & Känkänen, Ari 2020. Muotoilun korkeakoulutuksen profiilikartta. LAB-ammattikorkeakoulun julkaisusarja, osa 14. Lahti 2020
- Bonasio, Alice 2021. Synthetic Media: More Than Just Deepfakes. Julkaistu 25.5.2021. <https://medium.com/edtech-trends/synthetic-media-more-than-just-deepfakes-sxsw-2021-7c44e937c80f>. Viitattu 25.7.2021.
- Brainlab 2021. Mixed Reality vs Augmented Reality vs Virtual Reality: Their Differences and Use in Healthcare. Julkaistu 21.6.2021. <https://www.brainlab.com/journal/mixed-reality-augmented-reality-virtual-reality-differences-and-use-in-healthcare/>. Viitattu 17.7.2021.
- Branwell, Tom 2007. id Tech 5. Eurogamer. Julkaistu 9.8.2007. <https://www.eurogamer.net/articles/id-tech-5-interview>. Viitattu 2.8.2021.
- Chalk, Andy 2018. Fortnite is making so much money that Epic is giving Unreal Marketplace creators a big raise. Julkaistu 12.7.2018. <https://www.pcgamer.com/fortnite-is-making-so-much-money-that-epic-is-giving-unreal-marketplace-creators-a-big-raise/>. Viitattu 17.10.2021.
- Chmiel, Jacek 2020. Avenca: Human digital twins. What are they and Why are they. Julkaistu 6.19.2020. <https://www.avenga.com/magazine/human-digital-twins/>. Viitattu 25.7.2021.
- Dealassandri, Marie 2020. What is the best game engine: is Unity right for you? Julkaistu 16.1.2020. <https://www.gamesindustry.biz/articles/2020-01-16-what-is-the-best-game-engine-is-unity-the-right-game-engine-for-you>. Viitattu 17.10.2021.
- DeVaney, James; Nelson, Jeremy 2021. 5 Reasons We Are Hopeful About the Future of Extended Reality in Learning. Julkaistu 30.3.2021. <https://www.insidehighered.com/blogs/learning-innovation/5-reasons-we-are-hopeful-about-future-extended-reality-learning>. Viitattu 15.9.2021.
- Eagleman, David 2018. Aivot: Ihmisen tarina. Atena, 2018.
- Edelstein, Stephen 2018. How gaming company Unity is driving automakers toward virtual reality. Julkaistu 17.5.2018. <https://www.digitaltrends.com/cars/unity-automotive-virtual-reality-and-hmi/>. Viitattu 17.10.2021.
- Eskola, Timo 2009. Ateismin sietämätön keveys. Uusi tie, 2009.
- Ferguson, Stephen 2020. Apollo 13: The First Digital Twin. Julkaistu 14.4.2020. <https://blogs.sw.siemens.com/simcenter/apollo-13-the-first-digital-twin/>. Viitattu 23.7.2021.
- Fernando, Onel Noel Newton 2008. Mixed Reality Entertainment and Art. Julkaistu: The International Journal of Virtual Reality 2008. https://www.researchgate.net/publication/230739549_Mixed_Reality_Entertainment_and_Art. Viitattu 17.7.2021.
- Fine, Richard 2017. UnityScript's long ride off into the sunset. Julkaistu 11.8.2017. <https://blog.unity.com/community/unityscripts-long-ride-off-into-the-sunset>. Viitattu 16.10.2021.
- Forest.fi 2021. Artikkelit: Euroopan avaruusjärjestö teettää metsän digitaalisen kaksosen – luvassa on uusia työkaluja hiililaskentaan. Julkaistu 18.3.2021. <https://forest.fi/fi/artikkeli/euroopan-avaruusjarjesto-teettaa-metsan-digitaalisen-kaksosen-luvassa-on-uusia-tyokaluja-hiililaskentaan/#2a1b557c>. Viitattu 22.7.2021.
- FutureBridge 2020. 4D-Printing – The Technology of Future. Julkaistu 19.2.2020. <https://www.futurebridge.com/industry/perspectives-mobility/4d-printing-the-technology-of-the-future/>. Viitattu 19.7.2021.
- Front Genet 2018. Digital Twins in Health Care: Ethical Implications of an Emerging Engineering Paradigm. Julkaistu 13.2.2018. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5816748/>. Viitattu 22.7.2021.

Giorgeva, Maya 2021. The Trends of Digital Transformation in Higher Education. Julkaisuaika 2021. <https://www.educationandcareernews.com/future-of-higher-education-technology/why-the-fafsa-is-essential-for-prospective-college-students/>. Viitattu 20.10.2021.

Grieves, Michael 2018. Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication. Julkaistu 30.11.2018. https://www.researchgate.net/publication/329311603_DIGITAL_TWIN_MANUFACTURING_EXCELLENCE_THROUGH_VIRTUAL_FACTORY_REPLICATION. Viitattu 22.7.2021.

Hamilton, Ian 2021. Unreal Engine 5 Access Supports OpenXR With The New VR Template. Julkaistu 26.5.2021. <https://uploadvr.com/unreal-engine-5-early-access-vr/>. Viitattu 8.8.2021.

Hietämäki, Jorma 2015. Suomalaisten yliopisto-opettajien maailmankuvat ja maailmankatsomukset. Tampereen yliopisto. Väitöskirja. <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/96981>. Viitattu 15.4.2021.

Hietanen, Maila, Visur, Reijoi, & Nyberg, Heidi 2009. Muu optinen säteily. Verkkojulkaisu. <https://docplayer.fi/17475870-Maila-hietanen-reijo-visuri-heidi-nyberg.html>. Viitattu 18.3.2021.

Holon IQ 2020. \$4,5B Global EdTech Venture Capital for 1H 2020. Julkaistu 10.7.2020. <https://www.holoniq.com/notes/4.5b-global-edtech-venture-capital-for-q1-2020/>. Viitattu 21.10.2021.

Hosch, William L. 2021. Britannica. Julkaistu 11.2.2021. <https://www.britannica.com/technology/virtual-reality>. Viitattu 13.7.2021.

Huld 2019. Materiaalia lisäävä valmistus. Julkaistu 17.5.2019. <https://huld.io/fi/blogi/materiaalia-lisaava-valmistus-am/>. Viitattu 19.7.2021.

HXRC 2021. Helsinki XR Center. Julkaistu 2021. <https://www.metropolia.fi/fi/tutkimus-kehitys-ja-innovaatiot/yhteistyoyalustat/xr-center>. Viitattu 22.10.2021.

JAMK 2019. Ohjelmistoalalla on vetoa – JAMK tarjoaa nopean väylän XR- ja WEB-kehittäjiksi. Julkaistu 13.6.2019. <https://www.epressi.com/tiedotteet/koulutus/ohjelmistoalalla-on-vetoa-jamk-tarjoaa-nopean-vaylan-xr-ja-web-kehittajiksi.html>. Viitattu 22.10.2021.

Javornik, Ana 2016. Harvard Business Review. Julkaistu 4.10.2016. <https://hbr.org/2016/10/the-mainstreaming-of-augmented-reality-a-brief-history>. Viitattu 13.7.2021.

Kajava, Johannes 2017. Uniresepti: Unet simulaationa. Julkaistu 20.4.2017. <https://www.uniresepti.fi/uncategorized/unet-simulaationa/>. Viitattu 21.4.2021.

Kallio-Tamminen, Tarja 2006. Kvanttilainen todellisuus: Fysiikka ja filosofia maailmankuvan muokkaajina. Helsinki: Yliopistopaino, 2006. ISBN 951-570-625-4. Viitattu 15.4.2021.

Kiger, Patrick J. 2020. The Franklin Institute. Julkaistu 6.1.2020. <https://www.fi.edu/tech/what-is-extended-reality>. Viitattu 6.7.2021.

Koetsier, John 2021. Fueling The Metaverse: Epic Games Buys Biggest 3D Model Platform Sketchfab. Julkaistu 21.6.2021. <https://www.forbes.com/sites/johnkoetsier/2021/07/21/fueling-the-metaverse-epic-games-buys-biggest-3d-model-platform-sketchfab/?sh=6454abfe13a1>. Viitattu 7.8.2021.

Laamanen & Känkänen 2020. Muotoiluala muutoksessa. LAB-ammattikorkeakoulun julkaisusarja, osa 13. Lahti.

Larsson 2018. Julkaistu 7.2.2020. <https://www.larssonsweden.com/china/%E6%8B%89%E5%B0%94%E6%A3%AE%E6%96%B0%E9%97%BB/if-you-want-to-go-fast-go-alone-if-you-want-to-go-far-go-together-african-proverb/>. Viitattu 12.12.2021.

Lowood, Henry E. 2021. Britannica. Julkaistu 13.5.2021. <https://www.britannica.com/technology/virtual-reality>. Viitattu 8.7.2021.

Marr, Bernard 2021. Forbes. Julkaistu 4.6.2021. <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2021/06/04/future-predictions-of-how-virtual-reality-and-augmented-reality-will-reshape-our-lives/?sh=782eda8568b4>. Viitattu 14.7.2021.

McWhertor, Michael 2020. Here ´s Unreal Engine 5 running on the PlayStation 5. Julkaistu 13.5.2020. <https://www.polygon.com/2020/5/13/21256621/unreal-engine-5-ps5-demo-playstation-5-graphics-epic-games>. Viitattu 7.8.2021.

Maunonen, Tamara 2016. Suuri Unikirja. Gummerus:Helsinki 2016.

Mixed Reality Hub 2018. Helsingin Yliopisto. Julkaistu 7.12.2018. <https://www2.helsinki.fi/fi/tutkimusryhmat/mixed-reality-hub/teknologiateollisuus#section-63576>. Viitattu 16.7.2021.

Mori, Masahiro 2012. The Uncanny Valley. The Original Essay by Mori Masahiro. Kääntänyt: Karl F. MacDorman ja Norri Kageki. Julkaistu 12.6.2012. <https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/humanoids/the-uncanny-valley>. Viitattu 23.7.2021.

Muotoilu Metropolia 2021. XR Design. Julkaistu 2021. <https://muotoilu.metropolia.fi/muotoilun-opinnot/xr-design/>. Viitattu 22.10.2021.

North of 41 2018. What really is different between AR/MR/VR/XR? Julkaistu 20.3.2018. <https://medium.com/@northof41/what-really-is-the-difference-between-ar-mr-vr-xr-35bed1da1a4e>. Viitattu 12.12.2021.

Nutt, Christian 2015. Epic Games offer up \$5 million in Unreal Dev Grants. Julkaistu 19.2.2015. https://www.gamasutra.com/view/news/236807/Epic_Games_offers_up_5_million_in_Unreal_Dev_Grants.php. Viitattu 5.8.2021.

Ogievich, Dmitri 2019. Samsung patent granted for AR contact lenses. Julkaistu 12.8.2019. <https://www.itproportal.com/features/samsung-patent-granted-for-ar-contact-lenses/>. Viitattu 15.7.2021.

Orland, Kyle 2020. How Epic got such amazing Unreal Engine 5 results on next-gen consoles. Julkaistu 14.5.2020. <https://arstechnica.com/gaming/2020/05/behind-the-scenes-of-that-incredible-unreal-engine-5-tech-demo/>. Viitattu 7.8.2021.

Paloheimo, Eero 2014. Todellisuus ja havaittaja. Julkaistu 1.5.2014. <https://www.eeropalohimo.fi/todellisuus-ja-havaittaja/>. Viitattu 20.3.2021.
Pomerantz, Jeffrey; Rode Randy 2020. Exploring the Future of Extended Reality in Higher Education. Julkaistu 29.6.2020. <https://er.educause.edu/articles/2020/6/exploring-the-future-of-extended-reality-in-higher-education>. Viitattu 20.10.2021.

Pomerantz, Jefferey 2018. XR for Teaching and Learning. Julkaistu 10.10.2019. <https://library.educause.edu/resources/2019/10/xr-for-teaching-and-learning>. Viitattu 20.8.2021.

Psychology Today 2019. What is Reality? An Interview with Donald Hoffman. Julkaistu 13.12.2019. <https://www.psychologytoday.com/us/blog/consciousness-self-organization-and-neuroscience/201912/what-is-reality-interview-donald>. Viitattu 3.4.2021.

Quanta Magazine 2019. The Evolutionary Argument Against Reality. Julkaistu 21.4.2016. <https://www.quantamagazine.org/the-evolutionary-argument-against-reality-20160421/>. Viitattu 20.3.2021.

Ribeiro, Arthur; Gajsek Dejan 2021. Learn C# for Unity. Julkaistu 21.4.2021. <https://circuitstream.com/blog/learn-c-for-unity/>. Viitattu 16.10.2021.

Rpmano, Sal 2020. Gematsu. Julkaistu 28.10.2020. <https://www.gematsu.com/2020/10/famitsu-sales-10-12-20-10-18-20>. Viitattu 17.7.2021.

Rosenthal, Annie 2018. Plussocialgood. How 3D-printing Could Revolutionize the Future of Development. Julkaistu 1.5.2018. <https://plussocialgood.medium.com/how-3d-printing-could-revolutionize-the-future-of-development-54a270d6186d>. Viitattu 18.7.2021.

Salmenkivi, Eero 2014. Platon. Julkaistu 30.6.2010. Muokattu 23.9.2014. <https://filosofia.fi/fi/ensyklopedia/platon>. Viitattu 18.3.2021.

Savilahti 2021. Kampusrannoilta oppia työhön ja elämään. Julkaisuaika tuntematon. <http://www.savilahti.com/kampusrannoilta-oppia-tyohon-ja-elamaan>. Viitattu 25.10.2021.

Scientific American 2016. Are We Living in a Computer Simulation? Julkaistu 7.4.2016. <https://www.scientificamerican.com/article/are-we-living-in-a-computer-simulation/>. Viitattu 16.4.2021.

Springer 2020. Evaluating the effectiveness of learning design with mixed reality (MR) in higher education. Julkaistu 28.2.2020. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10055-020-00427-9>. Viitattu 17.7.2021.

Springwise 2019. Cinematic Reality. Julkaistu 29.5.2019. <https://www.springwise.com/tech-explained-cinematic-reality/>. Viitattu 18.7.2021.

Stanford 2018. Gilles Deleuze. Julkaistu 23.5.2008. <https://plato.stanford.edu/entries/deleuze/>. Viitattu 12.12.2021.

Summers, N 2019. Inside of the virtual production of "The Lion King". Julkaistu 29.7.2019. https://www.engadget.com/2019-07-29-lion-king-remake-vfx-mpc-interview.html?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAAN-faFs53RT87EM6psRUYSfHqUOxGsDYD_-huYjw-D_qzIZSatWN8fg65HVmpYhVDneCQo4zaSFPDSMJLNaA1LtKMAICD-8uQsunryc9m7itnNafWXqx66VSDMIkzLbnLtIdqmEZcJCK8Zx0QcMAxeeMHWcO-gita4GC33eoi3peN. Viitattu 17.10.2021.

Takahashi, Dean 2021. Epic Games launches Unreal Engine 5 early access, shows massive 3D scenes. Julkaistu 26.5.2021. <https://venturebeat.com/2021/05/26/epic-games-launches-unreal-engine-5-early-access-shows-massive-3d-scenes/>. Viitattu 8.8.2021.

Task Purpose 2014. The History of Video Games and The Military. Julkaistu 17.11.2014. <https://taskandpurpose.com/entertainment/us-militarys-close-history-video-games/>. Viitattu 12.12.2021.

The Guardian 2019. Study shows how LSD interferes with brain's signalling. Julkaistu 22.1.2019. <https://www.theguardian.com/science/2019/jan/28/study-shows-how-ldd-messes-with-brains-signalling>. Viitattu 21.3.2021.

TM 2017. Erikoinen teoria heräsi: Onko Oscar-fiasko todiste siitä, että elämme simuloitussa todellisuudessa? Julkaistu 28.2.2017. <https://tekniikanmaailma.fi/erikoinen-teoria-herasi-onko-oscar-fiasko-todiste-siita-etta-elamme-simuloitussa-todellisuudessa/>. Viitattu 11.4.2021.

TM 2019. MIT:n tutkijan kova väite: On todennäköistä, että elämme simuloitussa todellisuudessa. Julkaistu 12.4.2019. <https://tekniikanmaailma.fi/mitn-tutkijan-kova-vaite-on-todennakoista-etta-elamme-simuloitussa-todellisuudessa/>. Viitattu 11.4.2021.

UE Blueprints. Introduction to Blueprints. Julkaisu tuntematon. <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/ProgrammingAndScripting/Blueprints/GettingStarted/>. Viitattu 17.10.2021.

UM 2021. Extended Reality for Everybody Specialization. Verkkosivu. Päivitetty 2021. <https://www.coursera.org/specializations/extended-reality-for-everybody>. Viitattu 30.7.2021.

Uniliitto 2019. Uniutinen 4. Julkaistu 7.12.2020. Teksti: Leeni Peltonen. <https://www.uniliitto.fi> > Uniutiset-4_2019_web. Viitattu 22.4.2021.

Unity Store 2021. Plans and prising. <https://store.unity.com/>. Viitattu 17.10.2021.

Van Inwagen, Peter 2002. Metaphysics. Boulder, CO: Westview Press 2002.

Wade, Nicholas J. 2000. An Upright Man. Perception Journal. Julkaistu 1.3.2000. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1068/p2903ed>. Viitattu 27.3.2021.

Viatechnik 2021. Julkaisupäivämäärä tuntematon. <https://www.viatechnik.com/5-lidar-technology-applications/>. Viitattu 14.7.2021.

Wox 2020. Are we living in a computer simulation? I don't know. Probably. Julkaistu 24.10.2020. <https://www.vox.com/future-perfect/2019/4/10/18275618/simulation-hypothesis-matrix-rizwan-virk>. Viitattu 14.4.2021.

VR headset authority 2019. Future of VR and 3D printing. Julkaisuaika tuntematon. <https://vrheadsetauthority.com/future-of-vr-and-3d-printing/>. Viitattu 21.8.2021.

XR-Design Metropolia 2021. XR Design, Muotoilun tutkinto-ohjelma AMK, päiväopiskelu. Julkaistu 2021. <https://muotoilu.metropolia.fi/muotoilun-opinnot/xr-design/>. Viitattu 22.10.2021.

Zoan 2021. Yritysverkkosivut. Päivitetty 2021. <https://zoan.fi/>. Viitattu 21.7.2021.

Östman, Johanna 2019. Biotulostus. Julkaistu 12.4.2019. <https://yle.fi/uutiset/3-10737002>. Viitattu 18.8.2021.

KUVAT

KUVA 1. Tarvainen, Ari 2021. Opinnäytetyö prosessi. Kuva. 10.3.2021. Kuopio.

KUVA 2. Tarvainen, Ari 2021. Opinnäytetyön sisällön rakenne. Kuva. 29.3.2021. Kuopio.

KUVA 3. Tarvainen, Ari 2021. Opinnäytetyön viitekehys. Kuva. 20.11.2021. Kuopio.

KUVA 4. Tarvainen, Ari 2021. Real World. Kuva. 29.3.2021. Kuopio.

KUVA 5. Wikiquote. Sokrates. Julkaisuaika tuntematon. Socrate. Valokuva. <https://it.wikiquote.org/wiki/Socrate>. Viitattu 29.3.2021.

KUVA 6. Sapere. Platon. Julkaisuaika tuntematon. Platone. Valokuva. <https://www.sapere.it/enciclopedia/Plat%C3%B3ne+%28filosofo%29.html>. Viitattu 29.3.2021.

KUVA 7. Kim. Aristoteles. Julkaistu 21.6.2018. Aristotele. Valokuva. <http://il-kim.it/maturita-2018-al-classico-esce-aristotele/>. Viitattu 29.3.2021.

KUVA 8. Douglas Crets. Immanuel Kant. Julkaistu 7.11.2019. Immanuel Kant. Valokuva. <https://douglascrets.medium.com/immanuel-kant-entrepreneur-ea016239deb4>. Viitattu 11.4.2021.

KUVA 9. Quanta Magazine. Donald D. Hoffman. Julkaistu 21.4.2016. Donald D. Hoffman. Valokuva. <https://www.quantamagazine.org/the-evolutionary-argument-against-reality-20160421/>. Viitattu 29.3.2021.

KUVA 10. Psychology Today. Neckerin kuutio. Julkaistu 13.12.2019. Necker Cube. Valokuva. <https://www.psychologytoday.com/us/blog/consciousness-self-organization-and-neuroscience/201912/what-is-reality-interview-donald>. Viitattu 3.4.2021.

KUVA 11. Wide Insights Forum. Litteä paikallaan oleva 2D-kuva. Julkaisuaika tuntematon. Valokuva. <https://wiseinsightsforum.com/the-case-against-reality-new-book-by-donald-hoffman-observes-that-perception-is-not-objective-reality/>. Viitattu 3.4.2021.

KUVA 12. New Scientist. LSD:n vaikutus aivoihin kuvantamismenetelmällä. Julkaistu 11.4.2016. Modern imaging methods are revealing LSD's influence on the brain. Valokuva. <https://www.newscientist.com/article/2083851-first-bsd-brain-imaging-study-offers-insights-into-consciousness/>. Viitattu 30.3.2021.

KUVA 13. Science Direct. Strattonin lasit. Julkaistu 23.4.2017. Valokuva. http://www.allgemeinepsychologie.info/cms/images/stories/allgpsy_pub/Cortex%20The%20world%20is%20upside%20down.pdf. Viitattu 5.4.2021.

KUVA 14. Hall, Anthony. Strattonin peilikoe. Julkaistu 22.11.2017. Valokuva. <http://antonyhall.net/blog/inverted-vision-experiments/>. Viitattu 10.4.2021.

KUVA 15. The Guardian. Pac-man- tietokonepeli. Julkaistu 22.5.2020. Valokuva. <https://www.theguardian.com/games/2020/may/22/pac-man-video-game-40-years-old>. Viitattu 2.11.2021.

KUVA 16. Inspiration Grid. Cyberpunk 2077- peli. Julkaistu 9.5.2019. Valokuva. <https://theinspirationgrid.com/cyberpunk-street-level-by-krzysiek-burzynski/>. Viitattu 10.11.2021.

KUVA 17. Tarvainen, Ari. Rizwan Virkin vaiheet simulointihypoteesissa. 10.11. 2021. Kuva. Kuopio

KUVA 18. Hietämäki, Jorma. Tutkimuksen keskeiset aiheet ja niihin liittyvät kysymykset. Julkaistu 5.8.2015. Kuva. <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/96981> Viitattu 3.9.2021.

KUVA 19. Peda.net. Unirytmii: Syvän- ja REM-unen vaiheet. Julkaistu 2016. <https://peda.net/kotka/lukiokoulutus/karhulanlukio/opiskelu/oppiaineet/terveystieto/terve1/3-uni-ja-lepo/unen-rakenne2>. Viitattu 4.9.2021.

KUVA 20. Liyanage, Thilina. Tietokoneella luotu ja valokuvattu rakennus. Julkaistu 20.3.2016. Valokuva. <https://www.behance.net/gallery/35221921/Real-Vs-Render>. Viitattu 6.12.2021.

KUVA 21. Tarvainen, Ari. XR-tekniikoiden viitekehys. Kuva. 3.11.2021. Kuopio

KUVA 22. LTX. Jaron Lanierin perustaman VPL-yrityksen ensimmäinen VR-laitteisto "EyePhone" 1980-luvulla Piilaaksossa. Julkaistu 15.11.2018. Valokuva. <https://laptrinhx.com/jaron-lanier-2399504294/>. Viitattu 21.10.2021.

KUVA 23. The Salt Lake Tribune. Panoraama Gettysburgin taistelusta, maalaus Paul Philippoteaux, 1883; Gettysburgin kansallisessa sotapuistossa Pennsylvaniassa. Julkaistu 20.11.2013. <https://archive.slttrib.com/article.php?id=57146796&itype=cmsid>. Viitattu 10.11.2021.

KUVA 24. Gartenberg Media. Cinerama laajakuvaformaatti. Julkaisuaika tuntematon. Valokuva. <https://www.gartenbergmedia.com/dvd-distribution-and-sales/film-history-documentaries/this-is-cinerama> Viitattu 8.10.2021.

KUVA 25. ResearchGate. Ivan Sutherlandin Sketchpad. Julkaistu 2019. Valokuva. https://www.researchgate.net/figure/Ivan-Sutherlands-SKETCHPAD-MIT_fig1_337366337. Viitattu 10.11.2021.

KUVA 26. Timegraphics. Douglas Engelbartin tietokoneen hiiri. Julkaistu 2018. Valokuva. <https://time.graphics/fr/event/255400>. Viitattu 2.11.2021.

KUVA 27. Informit. Sutherlandin päähän asetettava näyttölaite. Julkaistu 10.6.2016. Valokuva. <https://www.informit.com/articles/article.aspx?p=2516729&seqNum=2>. Viitattu 12.11.2021.

KUVA 28. Virtualspeech. Videoplace-järjestelmän kuvaus. Julkaistu 6.8.2019. Valokuva. <https://virtualspeech.com/blog/history-of-vr>. Viitattu 3.10.2021.

KUVA 29. Krueger, Myron. Videoplace jäljittää käden siirtymisen vaiheita. Julkaistu 2011. Valokuva. <https://loadingshoe.wordpress.com/2011/09/20/myron-krueger/>. Viitattu 3.10.2021

KUVA 30. Electronic Visualization Laboratory. Patentti piirustus 1983. Julkaisuaika tuntematon. Valokuva. https://ebrary.net/123267/sociology/gesture_control. Viitattu 15.11.2021

KUVA 31. Starwars. Disneyland's Star Tour 1990. Julkaistu 3.3.2014. Valokuva. <https://www.starwars.com/news/now-the-adventure-is-real-imagining-ring-star-tours>. Viitattu 10.11.2021.

KUVA 32. Thexboxhub. Doom 1- peli vuodelta 1993. Julkaistu 19.8.2019. Valokuva. <https://www.thexboxhub.com/doom-1993-review-welcome-to-hell/>. Viitattu 17.11.2021.

KUVA 33. Alchetron. America's Army- peli. Julkaistu 16.4.2018. Valokuva. <https://alchetron.com/America%27s-Army>. Viitattu 17.11.2021.

KUVA 34. Kädessä- ja päässä pidettävät AR-laitteet. Infotech. Julkaistu 27.8.2020. Valokuva. <https://infotecinformaation.wordpress.com/2020/08/27/augmented-reality-ar/>. Viitattu 17.11.2021.

KUVA 35. Auton Head-Up-näyttö. Motor1.com. Julkaistu 22.7.2020. Valokuva. <https://it.motor1.com/news/445230/head-up-display-come-funzionare-cosa-fa/>. Viitattu 17.11.2021

KUVA 36. AEC Magazine. AR-lasien läpi katsotut rakenteet. Julkaistu 10.3.2021. Valokuva. <https://aecmag.com/news/unity-acquires-visuallive-to-boost-mixed-reality-hololens-for-construction/>. Viitattu 17.11.2021.

KUVA 37. TECH FLIX. Historiallisten kohteiden tiedot AR:ssa. Julkaistu 29.8.2018. Valokuva. <http://www.alltechflix.com/augmented-reality-revolutionizing-travel-tourism/>. Viitattu 17.11.2021.

KUVA 38. Supersampled. Disney- hahmot AR:ssä Time Squarella 2011. Julkaistu 2015. Valokuva. <http://supersampled.com/2015/disney-ar-time-square/>. Viitattu 17.11.2021.

KUVA 39. Infinityleap. Rimmelin AR-sovellus. Julkaistu 15.7.2018. Valokuva. <https://infinityleap.com/discover-a-new-you-with-rimmels-get-the-look-app/>. Viitattu 17.11.2021.

KUVA 40. The Verge. LIDAR-mallinnus. Julkaistu 14.6.2018. Valokuva Lidar-mallinnuksesta. <https://www.theverge.com/2018/6/14/17458936/volvo-luminar-lidar-investment-self-driving>. Viitattu 17.11.2021.

KUVA 41. Lidar News. Lidar-kartoitus puustosta. Julkaistu 30.8.2018. Valokuva. <https://blog.lidarnews.com/3d-mapping-forests-large-scale-lidar/>. Viitattu 17.11.2021.

KUVA 42. E-Magazine. Steven Feinerin Touring Machine 1979. Julkaistu 5.6.2020. Valokuva. <https://emag.directindustry.com/a-brief-history-of-augmented-reality/>. Viitattu 19.11.2021.

KUVA 43. Tinmith. ARQuake AR-ulkopeli. Julkaisuaika tuntematon. Valokuva. <http://www.tinmith.net/arquake/>. Viitattu 19.11.2021.

KUVA 44. Ingram Micro. Microsoft HoloLens 2. Projektiojärjestelmä luo moniulotteisia värillisiä kuvia 2k:n tarkkuudella. Julkaistu 2020. <https://fi.ingram-micro.eu/landing-pages/microsoft-hololens-2>. Viitattu 21.11.2021.

KUVA 45. Variety. Facebook Ray Ban-lasit. Mahdollistavat navigoinnin, kadonneiden avainten löytämisen ja päällyttää mielenkiintoisemman juoksu ympäristön. Julkaistu 16.9.2021. Valokuva. <https://variety.com/2020/digital/news/facebook-smart-glasses-ray-bans-essilorluxottica-1234772183/>. Viitattu 30.11.2021.

KUVA 46. Magic Leap. Magic Leap 1 MR-lasit. Julkaistu 2021. Valokuva. <https://www.magicleap.com/en-us/magic-leap-1>. Viitattu 12.11.2021.

KUVA 47. Zoan. Virtuaalinen kaupunkimalli Helsingin keskustasta. Julkaistu 25.3.2020. Valokuva. <https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/building-virtual-cities-and-digital-twins-with-unreal-engine?sessionInvalidated=true>. Viitattu 20.11.2021.

KUVA 48. Siemens. Digitaalinen esitys tehdaslinjasta. Julkaistu 2018. Valokuva. <https://www.instrumentation.co.za/59538n>. Viitattu 2.12.2021.

KUVA 49. 51World. Shanghai digitaalinen kaksonen. Julkaistu 26.8.2020. Valokuva. <https://www.theb1m.com/video/how-china-cloned-shanghai>. Viitattu 23.11.2021.

KUVA 50. SPP & Imerza. Tampan XR-digitaalinen kaksonen. Julkaistu 19.6.2020. Valokuva. <https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/transforming-real-estate-visualization-with-an-xr-based-digital-twin-of-tampa>. Viitattu 10.11.2021.

KUVA 51. Tarvainen, Ari. Digitaalisesti luotu hahmo itsestä. Kuva. 10.5.2021. Kuopio.

KUVA 52. Tarvainen, Ari. Unity / Unreal Engine: Vahvuudet ja heikkoudet. Kuva. 20.11.2021. Kuopio.

KUVA 53. Tarvainen, Ari. Savonian XR-laitteet. Kuva. 3.11.2021. Kuopio.

KUVA 54. Myöhänen, Mikko. Savonian palvelinkonesali. Valokuva. 2021. Kuopio.