



METAVERSEN KEHITYS, NYKYTILA JA TULEVAISUUDEN POTENTIAALI

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Tietotekniikan kandidaatintyö

2023

Altti Väättäinen

Tarkastaja: Apulaisprofessori Ari Happonen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Teknis-luonnontieteellinen

Tietotekniikka

Altti Väätäinen

METAVERSEN KEHITYS, NYKYTILA JA TULEVAISUUDEN POTENTIAALI

Tietotekniikan kandidaatintyö

2023

36 sivua, 5 kuvaa, 2 taulukkoa

Tarkastaja(t): Apulaisprofessori Ari Happonen

Avainsanat: Metaverse, VR, AR, MR, XR, Digitalisaatio

Metaverse on ideologisenä terminä jo 30 vuotta vanha konsepti ja on taas lähivuosina saanut paljon huomiota. Metaverse on herättänyt kiinnostusta monissa tutkijoissa ja suurissa yrityksissä teknologian kehityksen myötä, mikä on myös saanut sen nopeaan kasvuun.

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on tehdä kirjallisuuskatsaus metaverseen. Selvitetään mitä metaverse tarkoittaa ja käydään läpi teknologian ja toteutusten nykytila. Työssä käydään myös läpi erilaisia laitteita millä metaverseen päästään sisään. Selvitetään millaisia ovat metaverse ohjelmistoalustat ja fyysisen maailman ja metaversen integraation haasteet ja mahdollisuudet.

Työn tuloksena saatiin kirjallisuuskatsauksen seurauksena, että metaverse tarvitsee vielä paljon tutkimusta. Metaverse on vielä kehityksen alkuvaiheessa, sillä suurin osa käyttökohteista on vielä toteuttamatta. Metaversen tuomat hyödyt ovat toistaiseksi viihdettä lukuun ottamatta pienet. Metaverse kasvaa kuitenkin nopeasti ja sillä on paljon potentiaalia tulevaisuudelle, sillä se tuo mukanaan uusia lähestymistapoja arjen ongelmiin.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Engineering Science

Software Engineering

Altti Väätäinen

Development, Current State, and Potential of the Metaverse

Bachelor's thesis

2023

36 pages, 5 figures, 2 tables

Examiners: Assoc. Prof. Ari Happonen

Keywords: Metaverse, VR, AR, MR, XR, Digitalization

The concept of the Metaverse has been around as an ideological term for 30 years, and it has gained significant attention again in recent years. With the advancement of technology, the metaverse has sparked interest among many researchers and large companies, leading to its rapid growth.

The aim of this bachelor's thesis is to conduct a literature review on the metaverse. It seeks to explore what the Metaverse entails and delve into the current state of technology and implementations. The thesis also inspects various devices used to access the metaverse. Additionally, it investigates the different software platforms for the metaverse, and the challenges and opportunities related to integrating the physical world with the metaverse.

The results of the literature review indicate that the metaverse still requires considerable amount of research. It is currently in its early stages of development, as most of its potential use cases remain unrealized. Apart from entertainment, the benefits brought by the metaverse are currently limited. Nevertheless, the metaverse holds significant potential for the future. However, the metaverse is expanding rapidly and holds significant potential for the future, introducing new approaches to everyday problems.

KIITOKSET/ ACKNOWLEDGEMENTS

Haluan kiittää opiskelukavereitani ja läheisiäni saadusta tuesta. Lisäksi haluan kiittää tämän työn ohjaajaa, Ari Haposta saaduista neuvoista ja tuesta työtä tehdessä.

LYHENNELUETTELO

AI	Tekoäly (Artificial Intelligence)
AR	Muunneltu todellisuus (Augmented Reality)
FoV	Näkökenttä (Field of vision)
MR	Yhdistetty todellisuus (Mixed Reality)
NFT	Digitaalinen hallintatodistus (Non-fungible token)
PPD	Pikseli per aste (Pixel per degree)
VR	Virtuaalitodellisuus (Virtual Reality)
XR	Laajennettu todellisuus (Extended Reality)
°	Aste (Degree)

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Kiitokset

Lyhenneluettelo

1	Johdanto.....	7
1.1	Tavoitteet ja rajaukset	8
2	Metaverse ja sen alusta ja teknologia toteutukset.....	10
2.1	Metaverse käsite.....	10
2.2	Yleisimmät sovellukset	11
3	Fyysiset laitteet.....	14
3.1	Virtuaalilasit ja metaverseen pääsy	14
3.1.1	Virtuaalilasien tulevaisuus	16
3.1.2	Fyysisten metaverse laitteiden aiheuttamat haitat	17
4	Ohjelmisto alustat metaverse käyttöä varten	19
4.1	Metaverse ohjelmisto alustojen arkkitehtuuri	19
4.2	Erilaiset ohjelmisto alustat ja niiden potentiaali	20
4.2.1	Videopeli alustat	20
4.2.2	Opetus alustat.....	22
4.2.3	Markkina alustat	23
4.2.4	Ohjelmistoalustojen tulevaisuus	23
5	Fyysisen maailman ja metaversen integraatio	25
6	Johtopäätökset	27
7	Yhteenveto.....	29
	Lähteet	31

1 Johdanto

Ihmisillä on aina ollut tarve kommunikoida keskenään. Olemme lähteneet liikkeelle viidakorummuihin, tuli ja savumerkeistä aina käytettäviin puhelimiin ja internettiin. Tämä tarve viestiä on vauhdittanut yhteiskunnan teknistä kehitystä, niin yksityiselämässämme, julkishallinnollisessa työssä (Palacin et al., 2019), kuin myös teollisissa ja palveluliiketoiminta käyttökohteissa (Metso ja Happonen, 2023). Eikä mikään keksintö ihmiskunnan historiassa ei ole kokenut yhtä suurta kehitystä kuin internet ja matkapuhelimet. (Yle, 2009) Viestimien kehittyminen ei ole kumminkaan pysähtynyt, vaan jatkuu koko ajan digitalisaation myötä. Suurin osa viestintäkeinoista on siirtynyt digitaaliseen muotoon. Nyt olemme siinä pisteessä, että seuraava askel viestinnässä on alkamassa ja on aika siirtyä virtuaalimaailman sisälle metaversen muodossa. Metaverse aiheena on ollut olemassa pitkään, mutta vasta lähivuosina noussut enemmän pinnalle. Termi "Metaverse" on saanut alkunsa Neal Stephensonin vuonna 1992 kirjoittamasta dystopisesta novellista nimeltä "Snow Crash".

Metaverse koostuu etuliitteestä meta, 'yli-, tuonpuoleinen-' ja sanasta verse eli universumi. (Brown, 2021). Termillä yleensä tarkoitetaan isoa joukkoa erilaisia 3D virtuaalimaailmoja, jotka ovat kytköksissä internettiin. (The Verge, 2021) Metaverse on sidonnainen myös XR-laitteistoon, jonka kautta metaverseen päästään käsiksi. XR tarkoittaa laajennettua todellisuutta ja sitä käytetään kattoterminä virtuaalitodellisuudelle (VR), muunnellulle todellisuudelle (AR) ja yhdistetylle todellisuudelle (MR). XR-laitteistot ovat hyvin tärkeä osa, sillä iso osa eri metaverseistä vaatii näitä laitteita luomaan parhaan kokemuksen.

Vuonna 2021 Metaverse nousi taas pinnalle, kun Facebookin toimitusjohtaja Mark Zuckerberg muutti yrityksensä nimeksi Meta Platforms Inc ja päätti panostaa Metaverse konseptiin. (ABC News, 2021; TheVerge, 2021) Myös monet muut suuryritykset, kuten Google, Microsoft, Nvidia ja Qualcomm, päättivät investoida miljardeja dollareita tähän konseptiin. (Techtarget, 2022)

Metaversessä hyödynnettävä virtuaalitodellisuus (VR) on täysin erillinen virtuaalinen ympäristö, jonka tarkoituksena on luoda virtuaalilasien kautta fyysistä maailmaa vastaava kokemus virtuaalimaailman puolella. Kun taas muunneltu todellisuus (AR) ottaa digitaalisia syötteitä ja virtuaalisia elementtejä ja tuo ne fyysisen maailman puolelle käyttäen AR laseja,

lasien kautta voi esimerkiksi soittaa puheluita, selata internettiä tai tuoda lasien näkymään, vaikka päivän sään. Yhdistetty todellisuus (MR) on AR:n ja VR:n välimaasto ja yhdistää molempien ominaisuuksia.

Metaversen kaltainen immersiiivinen digitaalisen ympäristön hyödyntämiskokemus voidaan luoda XR teknologian lisäksi myös pimennetyllä huoneella, jossa ainoa valonlähde on hyvin lähellä katsojaa oleva erittäin suuri näyttöpinta-ala, joka on suurempi kuin ihmisen kerralla näkemän näkökentän koko. Liittämällä tähän realistinen surround ääni kokemus, ihmisen omat aivot rakentavat vahvan immersion siitä, että henkilö on osa virtuaalimaailmaa, jos saadaan liitettyä esim. virtuaalikäsineet, joilla voidaan olla vuorovaikutuksessa virtuaalimaailman kanssa, luodaan entistä parempi immersio.

Metaverse on hyvin mielenkiintoinen aihe, sillä sen mahdollisuudet ovat käytännössä loputtomat. Metaverse toimii alustana monille aktiviteeteille, vain ihmisen mielikuvitus on rajana. Sen kautta voi esimerkiksi pelata videopelejä, tavata kavereiden kesken, opiskella erillisessä virtuaalitulassa tai vaikka pitää kokouksia etänä Microsoft Teamsin kautta. Kaikkia edellä mainittuja aktiviteetteja pystyy tietenkin tekemään myös metaversen ulkopuolella, mutta metaversen hyötynä on se, että saadaan elävöitettyä etäyhteyksiä, rakennettua yhteisöllisyyttä ja todellisuuden tuntua vuorovaikutuksessa. Metaversen tuomat suurimmat hyödyt tulevat kuitenkin siitä, että se on täysin uusi alusta tutkimustyölle, on jo huomattu, että metaverse tuo täysin uusia työkaluja esimerkiksi lääketieteeseen ja opetukseen. Tämä on vasta ensikatsaus mahdollisuuksista. Metaverse tulee luomaan paljon erilaisia mahdollisuuksia eri osa-alueille, mutta vaatii vielä paljon tutkimustyötä.

1.1 Tavoitteet ja rajaukset

Metaverse on hyvin keskeneräinen kokonaisuus, minkä tulevaisuuden mahdollisuuksia tutkitaan edelleen. Mikä on myös tärkeä osa tätä kandidaatintyötä. Tässä kandidaatintyössä tehdään kvalitatiivinen kartoitus metaverse laitteistoista, ohjelmistoista, sekä erilaisia metaverse alustoista. Työn tarkoituksena on toimia yleiskatsauksena metaversestä ja sen tuomista mahdollisuuksista. Työn keskeisimmät tutkimuskysymykset voidaan määritellä seuraavasti:

- 1) Mitä metaverse laitteita on olemassa?
- 2) Millaisia metaversejä on olemassa?

- 3) Mitä metaverse alustoja on olemassa?
- 4) Mitkä ovat metaversen ongelmat ja vahvuudet?
- 5) Tuleeko metaverse olemaan merkittävässä roolissa tulevaisuudessa?

2 Metaverse ja sen alusta- ja teknologiatoteutukset

Tässä luvussa käsitellään tarkemmin mitä metaverse tarkoittaa. Luvussa käsitellään myös metaverseen liittyviä yleisimpiä sovelluksia mitä ihmiset ovat kohdanneet.

2.1 Metaverse käsite

Metaverse on hyvin laaja käsite ja millä ei ole yhtä ainutta terminologista selitystä ja aiheuttaa täten ristiriitaisuutta (Schöbel et al. 2023). Siksi tässä työssä käytämme selkeyden vuoksi Nottinghamin yliopiston tutkijan Steve Benfordin määrittelyä metaversestä. Benfordin mukaan termiin metaverse liittyy seuraavanlaisia ominaisuuksia (2021):

1. Virtuaalinen/Meta maailma: Maailma, jota voi tutkia tietokoneen, kännykän, tabletin, pelikoneen tai jonkin puettavan teknologisen laitteen avulla, kuten VR-, AR- ja XR-lasien avulla.
2. Virtuaalitodellisuus: Mahdollista käyttää virtuaalilaseja mahdollisimman immerstiivisen kokemuksen luomiseksi virtuaalisessa maailmassa.
3. Muut ihmiset: Metaverse on sosiaalinen alusta, jossa on paljon ihmisiä, jotka esiintyvät erilaisina 3D-hahmoina.
4. Pysyvyys: Virtuaalimaailma on aina saatavilla ja kaikki muutokset ovat pysyviä.
5. Yhteys oikeaan maailmaan: Virtuaaliset asiat virtuaalimaailman sisällä edustavat vastakappaleitaan oikeasta maailmasta. On esimerkiksi mahdollista ohjata virtuaalitodellisuuden puolelta lennokkia oikeassa elämässä.

Yksinkertaistettuna, metaverse on siis aina saatavilla oleva 3D-virtuaalimaailma, joka keskittyy keskinäiseen vuorovaikutukseen ihmisten kanssa ilman fyysisiä rajoitteita ja jonka sisälle päästäkseen tarvitaan kännykkä, tietokone, tai jokin muu elektroninen laite mikä käyttää internetiä. Mahdollisimman immerstiivisen kokemuksen luomiseksi voidaan käyttää virtuaalilaseja. Metaverse on myös tavalla tai toisella yhteydessä oikeaan maailmaan, esim. metaversen sisällä olevan digitaalisen kaksosen kautta. Digitaalisella kaksosella tarkoitetaan

koneesta tai tuotantolinjasta luotua virtuaalista simulointimallia, joka pystyy jäljittämään sen käyttöä ja toimintaa reaaliaikaisesti. (Etteplan 2023).

2.2 Yleisimmät sovellukset

Ensimmäiset sovellukset metaversestä olivat videopelejä, jotka koostuivat useista virtuaalimaailmoista. Ehdottomasti suosituin metaverseä soveltanut alkuvaiheen videopeli oli *Second Life*, jonka kehitti Linden Lab vuonna 2003. *Second life* oli edelläkävijä, jonka seurauksena verkostopohjaiset virtuaalimaailmat herättivät kiinnostusta videopeliharrastajien keskuudessa ja sen myötä kiinnostusta myös metaverseen. Metaversenä *Second Life* on nimensä mukainen. käyttäjät voivat tehdä haluamansa näköisen 3D-hahmon, jona käyttäjät esiintyvät virtuaalimaailmassa. Näitä 3D-hahmoja kutsutaan nimellä ”avatar”. Käyttäjät voivat sosialisoitua, ostaa maata, kehittää vaikka fiktiivisiä asioita tai jopa käydä luennoilla. *Second Life* ei ole kuitenkaan ainut metaverse videopelimaailmassa. Monet muut metaverset videopelien keskuudessa kasvavat edelleen päivä päivältä, kuten *Roblox*, *Sandbox* ja *Fortnite*. (Narin 2021.)

Metaverseä on sovellettu myös opetuksessa. Esimerkiksi, yritykset kuten *ClassVr*, *NearpodVR* ja *MergeEdu* ovat kehittäneet metaverse koulutusympäristöjä (Buchholz, Oppermann & Prinz 2022, s.318). Edellä mainituista yrityksistä *ClassVr* on voittanut eniten palkintoja liittyen virtuaalitodellisuuden käyttöön opetuksessa. *ClassVr* tarjoaa oman metaversen, mistä löytyy jokaiseen oppiaineeseen materiaalia VR tai AR muodossa. (*ClassVr*.) Tarkoituksena on parantaa oppimista ja tehostaa oppimismenetelmiä. Oppilaat pystyvät kokemaan esimerkiksi simulaatioita menneistä historiallisista tapahtumista tai paikoista, mikä ei olisi mahdollista ilman virtuaalitodellisuutta tai olisi liian vaarallista olla paikan päällä fyysisesti. On tutkittu, että VR:n käyttö opetuksessa on tehokas monella oppimisen tasolla ja että oppilaat suhtautuvat siihen myönteisesti (Kavanagh et al. 2017, s.94). Metaverse tehostaa opetusta tuomalla enemmän kokemusperäisiä opetusmahdollisuuksia, on todettu, että kokemusperäinen oppiminen on kaikkein tehokkain oppimistapa ja tehostaa käytyjen asioiden muistamista jopa 75 % (Raghavan & Rao 2018).

Monet yritykset ovat nähneet metaversen myös hyvänä markkinointityökaluna. Markkinointi metaversen puolella voi tapahtua esimerkiksi kokousten yhteydessä tai mainosten kautta. Etäkokouksissa metaverse on hyvä työkalu. Isoin metaverse yritys ”Meta” tarjoaa

laitteidensa kautta Meta Horizon Workrooms sovelluksen, jonka kautta etäkokouksia voidaan pitää. Metaverse auttaa rakentamaan kokoukseen aidompaa läsnäolon tunnetta, syvempiä yhteyksiä, sekä tehostaa tiimityötä. (Meta 2023.) Myös autoteollisuudessa on käytetty metaverseä markkinointi- ja mainostyökaluna. Tästä esimerkkinä Volvo. Volvo teki historiaa Intiassa tekemällä yhteistyötä Mindshare Indian kanssa julkaisemalla ensimmäisen auton omassa metaversessään, jota kutsutaan nimellä Volvoverse. Motivaationa tälle tapahtumalle oli vähentää julkaisutilaisuuden hiilijalanjälkeä ja samalla mainostaa yrityksen kestävyttä uudella tavalla, mitä kukaan ei ollut ennen käyttänyt. (Volvo 2022.)

Alla on taulukko (Taulukko 1) erialisista metaverse käyttökohteista ja ideoista metaversen tulevaisuudelle. Kuten näemme taulukosta, suurin osa mahdollisista käyttökohteista on vielä toteuttamatta ja ideat ovat vasta suunnitteluvaiheessa. Metaversestä on potentiaalisesti paljon hyötyä monella eri osa-alueella.

Taulukko 1. Metaversen käyttökohteita ja ideoita. * merkityt ovat jo olemassa olevia käyttökohteita.

Teema	Esimerkki/Malli/Toteutus	Lähde
Opetus	Metaverse uutena oppimisympäristönä.	(Diaz et al. 2020)
	Neljän metaversemaailmatyyppin hyödyntäminen opettamisessa.	(Kye et al. 2021)
	Metaversellä mahdollista parantaa perinteisiä opetustapoja käyttäen VR, AR, ja MR teknologioita.	(Clegg 2023)
	AI:n hyödyntäminen metaverse keskeisessä opetuksessa.	(Hwang & Chien 2022)
	Metaversen käyttäminen käytännön taitojen opetuksessa, esimerkiksi sairaanhoitoalalla realististen tilanteiden simuloinnissa.	(Kim et al. 2022)
	Pelillistämisen elementtien käyttäminen metaverse keskeisessä opetuksessa, oppilaiden osallistumisen kannustamiseksi.	(Sungjin & Sangkyun 2022) *
Pelaaminen	Metaverse työkaluna immersivemmän pelikokemuksen luomisessa.	(Jian et al. 2022)
	NFT metaverse pelit, joita voi pelata ansaitakseen rahaa.	(Seifoddini 2022)
	VR videopelit, kuten Beat Saber, Half-Life: Alyx, Superhot VR, Keep Talking and Nobody Explodes.	(Hamish 2022) *
Kestävä kehitys	GMN (Green Metaverse Networking), metaversen mahdollistavien teknologioiden optimisointi kestävä metaversen kehityksen ylläpitämiseksi.	(Siyue et al. 2023)
Turismi	Erilaiset metaverse turismi kohteet, esimerkiksi Disneyn "Avatar Flight of Passage", Pasific Visions Center:n "Digital Waterfall", pakohuoneet ja virtuaaliset tilat.	(Hanyoung & Myunghwa 2022) *
	Alusta metaverse verkko konserteille ja muille tapahtumille.	(Hanyoung & Myunghwa 2022) *
Lääketeiede	Metaverse alustana etäseurannalle, tutkimuksille ja leikkauksille. Ensimmäinen metaverse leikkaus suoritettiin John Hopkinsin sairaalassa vuonna 2022 hyödyntäen AR-laseja.	(Mozumder et al. 2023) *
Taide	VR ja AR taidenäyttelyitä metaversessä.	(Hanyoung & Myunghwa 2022) *
Kuljetus	Alusta kestävä kuljetuksen kehittämisessä. Halvempi ja turvallisempi tapa testata ajoneuvoja kehitys ja optimisointi vaiheessa	(Dragan et al. 2022)
Arkkitehtuuri	Metaverse alustana interaktiivisille 3D VR malleille rakennuksista, helpottamaan suunnittelua ja rakennusprosessia.	(Gaafar 2021)
Markkinointi	Alusta markkinoinnille ja mainostukselle.	(Volvo 2022) *

Kuten taulukosta näemme, metaverseä pystyy soveltamaan melkein kaikkeen, mutta se tarvitsee vielä lisää tutkimusta ennen kuin kaikkia ideatasolla olevia käyttökohteita voidaan

toteuttaa. Metaverse voi tulevaisuudessa olla merkittävä työkalu esimerkiksi lääketieteen, opetuksen tai kestävän kehityksen saralla, sillä se mahdollistaa uudenlaisia lähestymistapoja ongelmiin, mihin ei fyysisen maailman puolelta löydetä helppoa ratkaisua.

3 Fyysiset laitteet

Tässä luvussa käsitellään fyysisiä laitteita, joilla metaverseen päästään. Luvussa käsitellään myös laitteiden vahvuuksia, ongelmia ja rajoitteita. Tutkitaan myös fyysisten laitteiden tulevaisuuden mahdollisuuksia.

3.1 Virtuaalilasit ja metaverseen pääsy

Virtuaalilasit ovat hyvin keskeisessä osassa pääsynä metaverseen. Yksinkertaisuudessaan virtuaalilaseissa on sensoreita, jotka jäljittävät silmien liikkeitä, ja kaksi näyttöä, jotka asetuvat silmien korkeudelle. Virtuaalilasit ovat älypuhelimien, tietokoneiden, tablettien ja pelikonsolien ohella yksi ainoista tavoista päästä metaverseen sisään ja luo parhaan immersii-visen kokemuksen (VIVE Team 2022). Jonka takia tässä kandidaatintyössä ne ovat hyvin keskeisessä osassa, kun käsitellään metaverseen pääsyä. Virtuaalilaseissa yleensä yhdistyvät äänet, gyroskoopit, kiihtyvyyssanturit, magnetometrit ja valo järjestelmät, mitkä jäljittelevät käyttäjän liikkeitä ja eleitä, ja yhdessä luovat immersii-visen kokemuksen. (Metamandrill 2022.)

Virtuaalilaseja on markkinoilla monenlaisia ja moneen eri tarkoitukseen pelaamisesta opiskeluun. Alla taulukko erilaisista virtuaalilaseista ja niiden teknisistä ominaisuuksista. Laitetiedot on kerätty valmistajien omilta sivuilta. Vertailtaviksi ominaisuuksiksi on valittu käyttötarkoitus, silmäkohtainen resoluutio, näkökenttä (FOV), virkistystaajuus, paino, akun kesto, hinta ja julkaisuvuosi. Taulukkoon valitut laitteet ovat suosituimpia virtuaalilaseja, mitä kuluttajat ostavat.

Taulukko 2. Virtuaalilasien teknisten ominaisuuksien vertailu

	Metaquest Pro	VIVE XR Elite	Sony Playstation VR	Pimax Vision 8K X KDMAS	Lenovo Think Reality A3	HP Reverb G2	Valve Index	ClassVR	Oculus Quest 2
Käyttötarkoitus	MR	MR	VR	VR	AR	VR	VR	MR (Opetus)	MR
Silmäkohtainen resoluutio (pikseleitä)	1 800 x1920	1920 x 1920	1920 x RGB x 1080	3840x2160	1920 x 1080	2160 x 2160	1440 x 1600	1280x1440	1832x1920
Näkökenttä (asteita)	106 x 96	110	100	200	Ihmisen normaali näkökenttä	89x90x107	114	70	89
Virkistystaajuus (Hz)	90	90	90/120	60/75/90/110	60	90	144	70	60/72/90
Paino (g)	722	270	900	998	130	500	500–600	400	503
Akun kesto (h)	2,5	2	Virta konsolista	Virta tietokoneesta	Virta tietokoneesta	Virta tietokoneesta	Virta tietokoneesta	4	2–3
Hinta (€)	1200	1449	640	1470	1763,28	750	1079	305	449
Julkaisuvuosi	2022	2023	2016	2020	2021	2022	2019	2017	2020

Kuten näemme taulukosta 2, virtuaalilaseja löytyy eri hintaisia ja tekniset kyvyt vaihtelevat huomattavasti. Virtuaalilasit voidaan jakaa käyttötarkoituksen mukaan kolmeen eri kategoriaan: virtuaalitodellisuus (VR), muunneltutodellisuus (AR) ja yhdistetty todellisuus (MR), missä molemmat VR ja AR ominaisuudet yhdistetään. Edellä mainitut termit ovat osa katotermiä laajennettu todellisuus (XR), alta löytyy kuva erilaisista XR laseista (Kuva 1). MR lasit pystyvät toimimaan yksinäisenä yksikkönä, eivätkä välttämättä vaadi tietokonetta tai muuta ulkoista välikappaletta toimiakseen. Laseihin integroitu akku mahdollistaa niiden toimimisen erillisenä yksikkönä, mutta tuo mukanaan myös ongelmia. Kuten taulukosta 2 näemme, akun kesto laseissa on parhaimmillaan 2–4 tuntia. Joten pidempien käyttö sessioiden yhteydessä lasien pitää samaan aikaan olla kaapelin kautta latauksessa, mikä voi rajoittaa liikkumista lasien kanssa.



Kuva 1. XR lasit. Vasemmalla kuvassa VR lasit (Meta Quest 2), keskellä kuvassa MR lasit (Meta Quest Pro), oikealla kuvassa AR lasit (Apple Vision Pro).

Suurin osa virtuaalilaseista tarvitsee yleensä toimiakseen tehokkaan tietokoneen, jotta niitä voidaan käyttää maksimaalisella teholla. Mikä voi koitua joillekin kuluttajille ongelmaksi,

sillä virtuaalilasit ovat vielä hyvin hintavia ja jos ne vaativat käyttöä varten myös tietokoneen, se lisää kokonaiskustannuksia. (Laurell et al. 2019, s.470) Kuluttajille suurin ongelma virtuaalilaseissa on ollut niiden hinta ja tekniset kyvyt, mutta lähiaikoina virtuaalilasien hinnat ovat laskeneet enemmän kuluttajaystävällisemmiksi, mikä on myös kasvattanut niiden suosiota (Kugler 2021). Taulukosta 1 näemme, että virtuaalilasien hinnat vaihtelevat todella paljon ja sijoittuvat noin 300 €-1770 € välille, mikä luo paljon valinnan varaa ostajalle. Yleisimmin kuluttajatason lasit vuoden 2023 tekniikalla maksavat noin 700 €-1200 €.

Hintaan vaikuttaa eniten lasien julkaisuvuosi, silmäkohtainen resoluutio ja MR yhteensopi- vuus. Hinnoittelun trendi vaikuttaa hyvin samanlaiselta kuin isoimpien brändien puhelimien, älykellojen, tablettien, kannettavien tietokoneiden kanssa on käytetty. Taulukon uusin laite on Viven kehittämä VIVE XR Elite, mikä on julkaistu vuonna 2023. Se on samaa hintaluok- kaa Pimaxin kehittämän Pimax Vision 8K X KDMAS lasien kanssa, mutta niiden tekniset ominaisuudet ovat huomattavasti erilaiset. Pimaxin laseissa silmäkohtainen resoluutio on 3840x2160, kun taas Viven laseissa silmäkohtainen resoluutio on 1920 x 1920. Pimaxin la- seissa kaikki fyysiset ominaisuudet, paitsi paino ovat paljon parempia, kuin Viven kolme vuotta uudemmissa MR virtuaalilaseissa. Tämä on hyvä esimerkki siitä, että uusien lasien hinta on aluksi hyvin korkealla ja että MR yhteensopivuus lisää hintaa. Vaikka tekniikka paremmille fyysisille ominaisuuksille löytyy, se on vaikea implementoida MR laseihin, il- man että lasien paino, mukavuus tai akunkesto kärsisivät.

3.1.1 Virtuaalilasien tulevaisuus

Virtuaalilasit luovat parhaan metaverse kokemuksen kaikista metaverseen pääsyn mahdol- listavista laitteista ja ovat siksi yksi tärkeimmistä metaverse teknologioista metaversen tule- vaisuuden kannalta. Virtuaalilaseilla on vielä paljon potentiaalia kehittyä ja ne vaativat pal- jon tutkimusta ja resursseja. Iso kehittämisen kohde tulee olemaan virtuaalilasien näytöt ja optiikka. Paremman ja tarkemman kuvan saavuttamiseksi virtuaalilasien näyttöjen pikseli määrää ja tiheyttä pitäisi kasvattaa. Tämä tuo myös mukanaan hankaluuksia renderöinnissä, ajopiireissä ja energian kulutuksessa. (Zhan et al. 2020. S.3.)

Fyysisten ominaisuuksien ohella on myös tärkeä kiinnittää huomiota lasien ergonomisuu- teen ja käytettävyyteen. Lasien kuuluisi olla kevyet ja kompaktit, jotta ne olisivat mahdolli- simman ergonomiset ja käytettävyydeltään hyvät, varsinkin mobiilia ja pitkäjänteistä käyttöä

silmällä pitäen. Tämä taas hankaloittaa fyysisten ominaisuuksien parantamista, sillä päämäärät menevät ristiriitaan toistensa kanssa. Optiikkaa, näyttöjä ja suoritusyksikköä pitäisi ideaalitulanteessa siis saada paranneltua hankkimatta lisää painoa itse laitteeseen.

Siksi on olennaista keskittää ensin resurssit virtuaalilasien käyttötarkoituksen kannalta olennaisiin vaatimuksiin. Olennaisimmat vaatimukset määrittyvät sen mukaan ovatko lasit AR vai VR tarkoitukseen. AR ja VR lasilla on paljon yhteisiä vaatimuksia mitkä liittyvät ihmisen näkökykyyn ja realistiseen 3D renderöimisen hankaluuksiin. AR lasit ovat yleensä paljon pienemmät ja ne havittelevat muodoltaan enemmän silmälaseja. Ongelmana AR lasissa koituu se, että niiden näytöt ovat pienemmät ja se hankaloittaa pikselimäärän kasvattamista. Yleinen tavoite virtuaalilasien tarkkuudelle on 60 pikseliä yhtä näkökentän astetta kohden (PPD). Tämän saavuttaminen esimerkiksi 100° näkökentässä vaatii 6144x3160 silmäkohtaisen resoluution. Jotta pikseleitä saataisiin enemmän pienempään tilaan, se edellyttää yksittäisten pikselien kutistamista. Mikä on hyvin haastavaa varsinkin pienissä näytöissä, missä pinta-alaa ei ole ylimääräistä. VR lasien näyttöjen pikselimäärän kasvattaminen on paremmin saavutettavissa isomman näyttö pinta-alan ansiosta. (Xiong et al. 2021. S.3.)

3.1.2 Fyysisten metaverse laitteiden aiheuttamat haitat

Metaverse tuo uusien mahdollisuuksiensa mukana myös uusia haittoja. Isoimpana haittavaikutuksena tällä hetkellä on metaversen mahdollistavien teknologioiden, sekä sen ylläpitämiseen tarvittavien teknologioiden suuri energian kulutus. Näitä energianälkäisiä teknologioita ovat muun muassa tekoäly, digitaaliset kaksoiset ja laajennettu todellisuus. (Zhang et al. 2023.) Esimerkiksi 30fps, 720 p VR videon renderöinti kuluttaa noin kaksi kertaa enemmän virtaa kuin vastaavan perinteisen videon renderöinti, vaikka puhelimen näytölle. (Leng Yue et al. 2020.) Tämä on ongelmallista, sillä mitä tarkempaa kuvaa halutaan renderöidä, sitä enemmän se kuluttaa virtaa. Metaversen mahdollistavat teknologiat tarvitsevat vielä siis hyvin paljon optimisointia, jotta energian kulutusta saataisiin vähennettyä.

Energian kulutuksen lisäksi toinen metaversen mahdollistavista laitteista on se, että ne jättävät jälkeensä paljon elektroniikka jätettä (Kshetri & Dwivedi 2023). Elektroniikka jäte (Minashkina & Happonen 2022) on yksi yhteiskunnallisen digitalisoitumisen (Happonen & Ghoreishi 2022) merkittävin jätetekninen haittapuoli, kasvavan energiakulutuksen ja energian tuotantoon liittyvien päästöongelmien lisäksi (Auvinen et al. 2020). Metaversen jatkuva

kehittyminen pakottaa myös sen mahdollistavien laitteiden suorituskyvyn ja ominaisuuksien kehittymisen, ja sen myötä lisää rautatavaran tarvetta ja siitä koituvaa elektroniikka jätettä. Isot määrät elektroniikka jätettä muun muassa saastuttavat maaperää, pohjavesiä ja kaatopaikkoja (Turchet 2022). Metaversen kehityksen ja ympäristön kannalta olisi siis tärkeää, että metaversen kanssa työskentelevät yritykset ryhtyisivät varotoimiin ja tarjoaisivat kierätyks mahdollisuuksia metaverse tuotteille, jotta metaversestä koituvia ympäristöongelmia saataisiin vähennettyä (Partida 2022).

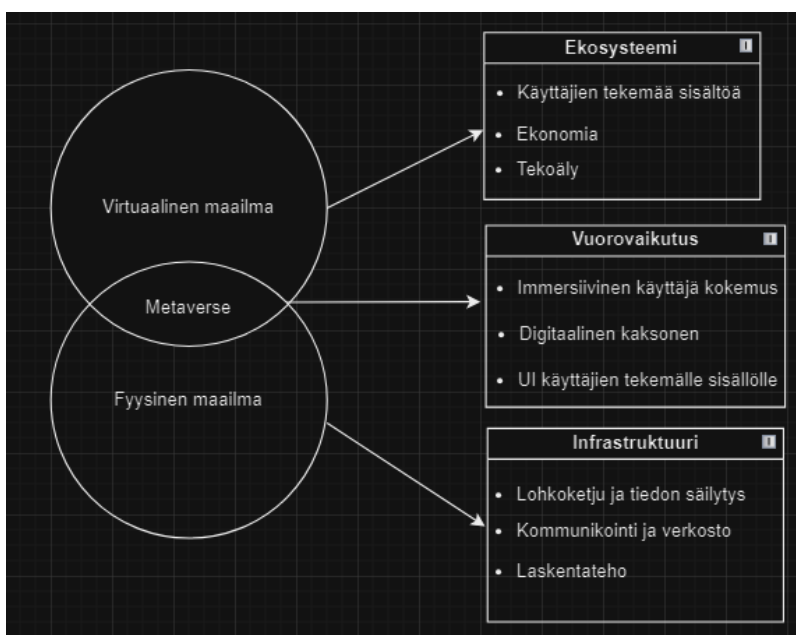
Pienempänä haittana on myös huomattu, että virtuaalilasien käyttäminen voi aiheuttaa käyttäjälle kyberpahoinvointia, rajoittaen joidenkin käyttäjien virtuaalilasien käyttöä metaversessä. Pahoinvointi syntyy, kun ihminen liikkuu VR-maailman sisällä, mutta todellisuudessa pysyy liikkumattomana ja täten aiheuttaa ristiriitaisuutta aivoissa. Kyberpahoinvointi on hyvin samankaltaista kuin matkapahoinvointi, se voi aiheuttaa käyttäjälle huonovointisuutta, päänsärkyä tai huimausta. Oireiden vakavuus vaihtelee todella paljon eri ihmisten välillä ja osalla niitä ei ole ollenkaan. (Coles 2021.) Virtuaalilasien pitkäaikaisen käytön haittoja ei tiedetä.

4 Ohjelmisto alustat metaverse käyttöä varten

Tässä luvussa käsitellään millaisia metaverse ohjelmisto alustat ovat. Luvussa myös käydään läpi mitä metaverse ohjelmistoalustoja on olemassa ja mikä on niiden kehityssuunta. Tunnistetaan myös tämänhetkiset isoimmat kehitys alustat.

4.1 Metaverse ohjelmisto alustojen arkkitehtuuri

Metaversen ylläpitäminen ja pyörittäminen vaatii ohjelmisto alustoja, jonka ympärille erinäiset aktiviteetit voivat rakentua. Ohjelmisto alustat ovat metaversen tukipalkit ja yhdistävät virtuaalisen maailman ja fyysisen maailman luoden metaversen. Tutkijoilla ja ammatin harjoittajilla on ollut hankaluuksia päätyä yhteiseen päätökseen siitä, miten metaverse ohjelmisto alustat voidaan määritellä (Schöbel et al. 2023). Joten työn selkeyttämiseksi metaverse ohjelmisto alustojen havainnollistamiseen tässä työssä käytetään Duan et al. (2021):n kuvausta metaverse alustojen arkkitehtuurista, jossa kuvataan virtuaalimaailmaa ja fyysistä maailmaa ympyröillä ja metaverseä niiden liittymänä. Molempia ympyröitä ja niiden liittymää vastaa oma tasonsa metaverse arkkitehtuurissa, nämä tasot ovat ylhäältä alas ekosysteemi, vuorovaikutus ja infrastruktuuri. Alla havainnollistava kuva. (Kuva 2)



Kuva 2. Metaverse alustojen arkkitehtuuri (Mukaillen Duan et al. 2021)

Yllä sijaitsevasta kuvasta (Kuva 2) näemme, että infrastruktuuri kerrokseen sisältyy kaikki tärkeimmät ominaisuudet virtuaalimaailman ylläpitämiseen ja pyörittämiseen, kuten laskennan, kommunikoinnin järjestelmien välillä ja lohkoketjun. Lohkoketju on kehittynyt hajautettu tietokanta, jota tässä tilanteessa voidaan käyttää muun muassa metaverseen liittyvän tiedon säilömiseen (Northcrypto). Vuorovaikutus kerros sisältää tärkeimmät ominaisuudet fyysisen ja virtuaalisten maailmojen yhdistämiseen ja immerstiivisen kokemuksen luomiseen, kuten digitaaliset kaksoset, käyttöliittymät ja ominaisuudet, jotka mahdollistavat vuorovaikutuksen metaversessä. Kolmas kerros on ekosysteemi, mikä elävöittää kokemuksia metaversessä, se koostuu, käyttäjien tekemästä sisällöstä, käyttäjien luomasta ekonomiasta ja tekoälystä, jota voi esiintyä esimerkiksi tietokoneen ohjaaman ei pelattavat hahmon (NPC) muodossa. Yhdessä käyttäjien keskeisen vuorovaikutuksen kanssa, nämä elementit muodostavat elävän ympäristön. (Duan et al. 2021)

4.2 Erilaiset ohjelmisto alustat ja niiden potentiaali

Metaverse ohjelmistoalustoja on monenlaisia moniin eri tarkoituksiin. Metaverse alustoista eniten suosiota ovat saaneet opetukseen ja pelaamiseen liittyvät alustat kuten, Roblox, Sandbox, Second Life ja Horizon Worlds. Näistä Roblox, Sandbox ja Second Life mainittiinkin jo luvussa 2, kun käytiin läpi yleisiä sovelluksia metaversestä. Tässä luvussa niitä tarkastellaan ohjelmisto alustoina ja sitä mitä niillä voidaan tehdä.

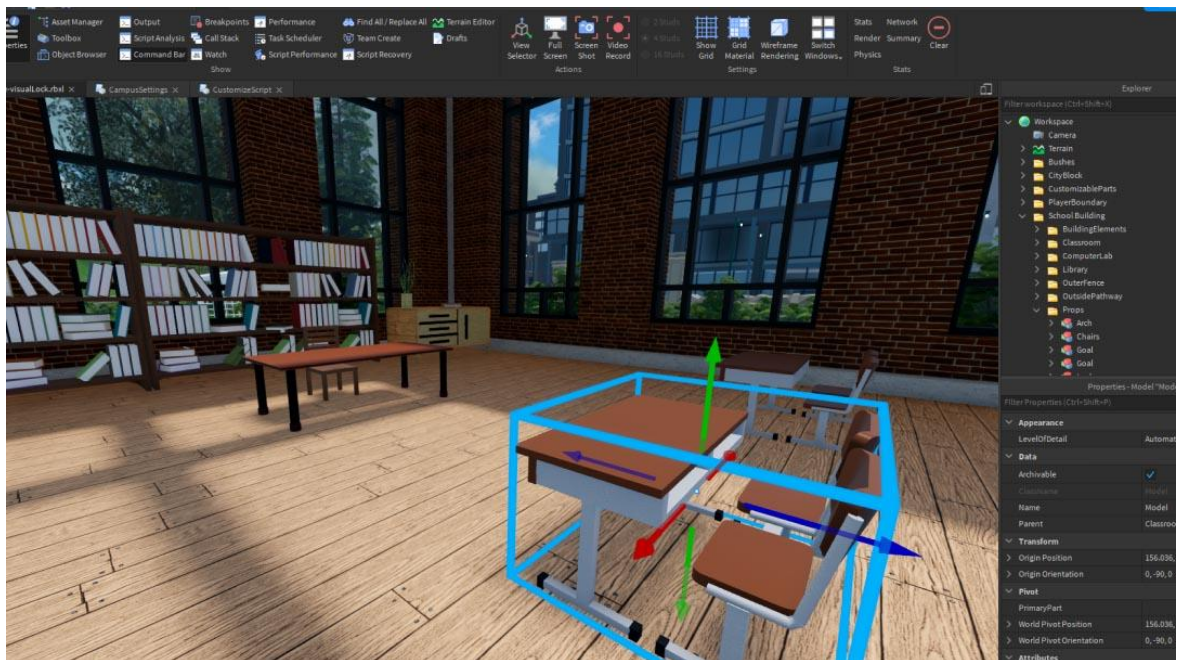
4.2.1 Videopeli alustat

Videopeleille tarkoitettut metaverse alustat soveltuvat hyvin vapaa-ajan viihteeseen liittyvän sisällön luomiseen. Sisältö voi vaihdella paljon nopea tempoisesta ja interaktiivisesta hidasteempoiseen chattialusta tyyppiseen sisältöön, kuten alla olevassa kuvassa (Kuva 3). Suurin osa sisällöstä on käyttäjien itseluomaa sisältöä ja vain pieniosa on alustan kehittäjien itse tekemää sisältöä. Tarkoituksena näissä alustoissa on kannustaa käyttäjiä luomaan omanlaista sisältöä alustalle, joka on saatavilla kaikille käyttäjille. Esimerkkinä tästä Roblox, jossa on yli 50 miljoonaa peliä ja käyttäjät tekevät niitä jatkuvasti lisää. Roblox tarjoaa resursseja ja työkaluja pelien luomiseen alustalle ”Roblox Studion” kautta. (Han et al. 2021)



Kuva 3. Second Life pelaajat sosialisoitumassa

On myös huomattu, että osaa näistä alkuperäisesti pelaamiseen tarkoitetuista metaverse alustoista voitaisiin hyödyntää ja jalostaa pelaamisen lisäksi myös opetuksessa tai kokoustamisessa (Salmon 2009; Roblox; Second Life). Muun muassa Roblox ja Second Life tarjoavat jo opetukseen ja kokoustamiseen tarkoitettuja työkaluja, alla on kuva Robloxiin tehdystä luokkahuoneesta (Kuva 4). Alustat pitävät jo valmiiksi sisällään tarvittavia elementtejä virtuaaliseen kanssakäymiseen toisten ihmisten kanssa ja ovat jo valmiiksi tuttuja monille ihmisille, joten käyttöönotto opetuksessa ja kokoustamisessa ei vaatisi paljon opettelua ja säästäisi kustannuksia (Salmon 2009). Videopelialustat eivät ole kuitenkaan ainut alusta opetukselle ja kokouksille, mutta olivat ensiaskel opetuskäyttöön ja kokouskäyttöön tarkoitetuille metaverse alustoille.

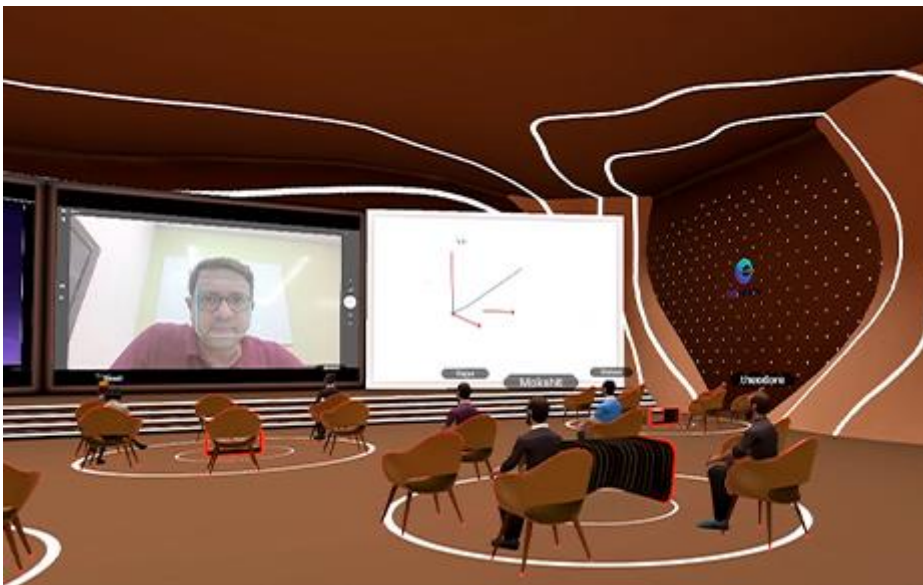


Kuva 4. Kuva Roblox Studio kehitysympäristöstä / suunnittelujärjestelmästä.

4.2.2 Opetus alustat

Metaverse opetus alustat ovat herättäneet kiinnostusta tutkijoissa, varsinkin kun virtuaali-maailmojen käytöllä opetuksessa on huomattu olevan positiivisia tuloksia (Jovanović & Milosavljević 2021; Kavanagh et al. 2017). Metaverse opetusalustojen tarkoituksena on tehostaa perinteisiä opetustapoja, sekä tuoda uusia opetustyökaluja lähiopetukseen ja erityisesti etäopetukseen kokemuseräisille oppijoille.

Yritykset, kuten ClassVR, Nearpod ja Edverse ovat tehneet metaverse alustoja, jotka erikoistuvat opetukseen tai palaverien pitämiseen. Yleisesti alustat toimivat niin, että ne sisältävät joko alustan tarjoajan luomia useita valmiita interaktiivisia oppitunteja ja simulaatioita sekä/tai opettajat voivat tarvittaessa luoda itse omia itse räätälöityjä oppitunteja metaverseen omille oppilailleen. Esimerkkinä tästä, ClassVR tarjoaa tuhansia valmiita virtuaalioppitunteja, jotka hyödyntävät AR ja VR teknologiaa (ClassVR). Edverse taas on hyvä esimerkki sellaisesta metaverse opetus alustasta, joka tarjoaa työkaluja opetukseen ja kokouksiin ja kaikki sisältö on käyttäjien itse luomaa. Edverse tarjoaa esimerkiksi virtuaalisen ympäristön, jossa pitää oppitunteja ja kokouksia, tavan jakaa sisältöä reaaliaikaisesti muille käyttäjille ja interaktiivisten elementtien käyttömahdollisuuden. (Edverse) Alla on kuva, jossa näkyy millaisia edversen metaverse ympäristöt voivat olla (Kuva 5).



Kuva 5. Edverse kokoustila, jossa ihmiset voivat kokoontua ja jakaa sisältöä toistensa kesken

4.2.3 Markkina alustat

Yhtenä isona ja kovasti kasvavana metaverse alusta tyyppinä ovat markkinointi alustat (Periyasami & Periyasamy 2022). Koska metaverse hyödyntää lohkoketjuja tiedon säilömiseen, se mahdollistaa virtuaalisen omaisuuden muuttamisen digitaalisen hallintatodistuksen (NFT) muotoon. NFT on eräänlainen kryptovaluutan muoto, joka voi toimia omistustodisteenä fyysisestä tai digitaalisesta omaisuudesta. Jokainen NFT on uniikki ja korvaamaton, joten ne voivat edustaa omaisuutta metaversen puolella. NFT:n käyttö metaversessä mahdollistaa siis turvallisen tavan vaihtaa virtuaalista omaisuutta ja on siksi saanut paljon suosiota esimerkiksi virtuaalikiinteistöjen markkinoilla. (Zhao & You 2023)

Tällaisia metaverse alustoja ovat esimerkiksi Earth 2.0 ja Upland. Earth 2.0 on geologinen metaverse, tarkoittaen sitä, että se on 1:1 skaalassa tehty digitaalinen vastine maapallolle. Maanmuodot ovat siis samat kuin maassa normaalistikin, mutta käyttäjät luovat itse rakennukset ja muun sisällön mitä maanpälle tulee. Käyttäjät voivat ostaa maapalstoja digitaaliselta alustalta oikeaa rahaa vastaan, sekä ostaa ja vaihtaa palstoja keskenään. (Earth 2) Upland on taas alustana hyvin samantyylinen kuin Earth 2.0, mutta keskittyy enemmän tavara markkinoiden simuloimiseen ja normaaliin arkeen, jossa pelaajat yhdessä luovat ekonomian ja rakentavat toimitusketjuja. Oikean elämän elementtejä tuodaan Uplandissa esille esimerkiksi siten, että matkustaminen vie aikaa ja tehtaiden pyörittäminen vaatii raaka-aineita ja resursseja, joita voidaan ostaa toisilta käyttäjiltä.

4.2.4 Ohjelmistoalustojen tulevaisuus

Metaverse ohjelmistoalustat kehittyvät jatkuvasti ja niitä julkaistaan hiljalleen uusiin tarkoituksiin ja entisiä alustoja sovelletaan alkuperäisestä tarkoituksesta poikkeaviin tarkoituksiin. Esimerkiksi metaversessä musiikin tekoa, kuuntelua, soittamista ja konserttien pitämistä varten on suunniteltu omaa ohjelmisto alustaansa (Turchet 2022). Tähän mennessä musiikkiin liittyvää sisältöä on tehty pelialustoille. Monet artistit ovat jo esiintyneet metaversessä, kuten Marshmello, Travis Scott ja David Guetta (Tien-Dana 2023). Tulevaisuudessa metaverse konserttien suosio voi kasvaa uusien alustojen tullessa julki.

Metaversen ja sen alustojen nopea kehitys on nostanut esille myös kestävän kehityksen huomioimisen tärkeyden metaversen kehityksen alkuvaiheessa. Sillä voi olla suurikin

positiivinen vaikutus kasvihuonepäästöjen vähentämiseen, jonka takia kestävä kehitys tulee olemaan hyvin läsnä metaversen ja sen ohjelmistoalustojen nopeassa kehitysvaiheessa. (Zhao & You 2023; Giovanni 2023)

Metaverse ohjelmistoalustoista kumminkin eniten potentiaalia tulevaisuuden kannalta on opetuskäyttöön tarkoitetuilla alustoilla, sillä ne tuovat paljon uusia työkaluja ja mahdollisuuksia opettaa ja tehostaa oppimista. On spekuloitu, että metaverse alustoja voitaisiin käyttää simulaatioiden suorittamiselle muun muassa lääketieteen ammatinharjoittajille, jonka avulla he voivat harjoitella ja opetella hyödyllisiä taitoja, kuten haastavia leikkauksia turvalisessa ympäristössä (Mozumder et al. 2023). Metaversellä ja sen ohjelmistoalustoilla on paljon potentiaalia tulevaisuudelle, ja on hankala sanoa mitä kaikkea sillä voidaan lopullisesti tehdä.

5 Fyysisen maailman ja metaversen integraatio

Tässä luvussa käydään läpi, miten metaverse voidaan integroida fyysiseen maailmaan. Luvussa käsitellään myös, miten metaverse tulee olemaan läsnä ihmisten arkielämässä. Lisäksi tunnistetaan integraation haasteita.

Metaverse on ikään kuin rinnakkaistodellisuus fyysiselle maailmallemme ja tulee koko ajan enemmän ja enemmän näkyville arkielämässä. Suosion kasvaessa on tärkeää, että se olisi myös helposti saavutettavissa. Kuten luvussa 3 tuli ilmi, tällä hetkellä tietokoneet, älypuhelimet, tabletit, pelikonsolit ja XR lasit ovat ainoat tavat päästä metaverseen ja ovat siksi isoimmassa roolissa metaversen integraatiossa fyysiseen maailmaan. Iso osa metaverseistä tarvitsee paljon suoritustehoa pyöriäkseen, mikä koituu ongelmaksi useimmilla mobiililaitteilla niiden rajallisen suoritustehon takia. Joten fyysisen maailman ja metaversen integraation ja saavutettavuuden kannalta on tärkeää suunnitella metaverset toimimaan pienelläkin suoritusteholla. (Rawat & El alami 2023)

Metaversen integraatiossa hyvin tärkeä osa on digitaaliset kaksoset, koska niiden avulla saadaan kerättyä fyysisen maailman puolelta paljon hyödyllistä reaaliaikaista tietoa ja hyödynnettyä niitä suoraan metaversessä. Digitaalisten kaksosten avulla voidaan luoda metaversessä digitaalisia kopioita oikean maailman asioista ja hyödyntää niistä kerättyä reaaliaikaista tietoa esimerkiksi erinäisten palveluiden ja prosessien tehostamisessa. (Aloqaily et al. 2022) On esimerkiksi huomattu, että digitaalisen kaksosen luominen rakennusta rakentaessa voi vähentää hiilidioksidipäästöjä 50%, parantaa toimintakuntoa ja kunnossapitoa 35%, parantaa ihmisten tuottavuutta 20% ja parantaa tilankäyttöä rakennuksessa 15% (Bianzino 2022). Digitaalisten kaksosten käyttö metaversessä mahdollistaa erilaisten oikeanelämän tilanteiden simuloinnin ja analysoinnin, ja sen kautta hyödyttää yhteiskuntaa monella tasolla, muussakin kuin vapaa-ajan toiminnassa.

Metaverse on nopeassa kehitysvaiheessa ja tutkimusta tarvitaan paljon. Fyysisen maailman ja metaversen integraation kannalta on välttämätöntä tehdä tutkimuksissa yhteistyötä poikkitieteellisesti, jotta se saadaan integroitua onnistuneesti. Metaverse voi vaikuttaa suuresti moniin tärkeisiin arkielämän asioihin, kuten lääketieteeseen, opetukseen tai talouteen ja siksi

on tärkeää saada alojen ammattiosaajia mukaan ohjaamaan metaversea tulevaisuudessa hyvään suuntaan. (Rawat & El alami 2023)

6 Johtopäätökset

Metaverse on tällä hetkellä nopeassa kehitysvaiheessa ja sen mahdollisuuksia tutkitaan edelleen, eikä voida täysin varmaksi sanoa mitä se tuo mukanaan. Tällä hetkellä erilaisia metaversejä on paljon moniin eri tarkoituksiin, kuten pelaamiseen, opetukseen ja markkina käyttöön. Metaversellä on paljon potentiaalia usealla eri osa-alueella, tutkimuksia siitä mihin metaverseä voisi soveltaa on tehty paljon, mutta suurin osa niistä on vielä idea tasolla eikä niitä ole vielä toteutettu. Metaverse ja sen mahdollistavat teknologiat tarvitsevat vielä lisää tutkimusta ennen kuin voidaan toteuttaa suurinta osaa ideatasolla olevista käyttökohteista.

Metaversen luominen, ylläpito ja sisäänpääsy vaativat paljon suoritustehoja laitteilta. Tämänhetkisistä laitteista, joilla päästään metaverseen, tietokoneet ja XR lasit ovat tehokkaimpia ja joissa riittää tarpeeksi suoritustehoa suurimpaan osaan metaverseistä. Mikä myös johtaa siihen että hyvin pienellä osalla ihmisiä on todellinen pääsy metaverseen. Metaversen pitäisi olla aina saatavilla oleva virtuaalinen maailma, mutta ongelmana on se, että suurimassa osassa mobiililaitteista ei riitä suoritusteho kaikkiin metaverseihin. Siksi XR lasit yhdessä tietokoneen kanssa ovat suosituin tapa päästä metaverseen. XR lasit myös luovat parhaimman immersiiivisen kokemuksen, mitä ei voi saada muilla metaverseen päästävillä laitteilla.

XR laseissa on kuitenkin myös vielä paljon parannettavaa. Isoin parannettava ominaisuus on akunkesto niissä laseissa, jotka toimivat langattomasti tai erillisenä yksikkönä. Keskiarvoisesti akunkesto laseissa on noin 2-4 h yhdeltä lataukselta, mikä ei tule riittämään pidemmille käyttösessioille esimerkiksi matkaillessa. Varsinkin jos tulevaisuudessa etäkokoukset tai etäluennot lisääntyvät ja ne ovat metaversessä. Muut XR lasien parantamisen kohteet tulevat olemaan niiden optiikka, suoritusteho ja ergonomisuus. Tämän osalta on paljon vaikeuksia, sillä on vaikeaa parantaa yhtäkään aiemmin mainitusta kolmesta ominaisuudesta ilman että yksikään niistä kärsii.

Isoimmat XR lasien ongelmat tulevat kuitenkin niiden suuresta energiankulutuksesta ja niistä koituvasta suuresta määrästä elektroniikkajätettä. XR Lasien optimoimiseen ja energiankulutukseen pyritään löytämään ratkaisua ja niitä tutkitaan ja kehitetään jatkuvasti.

Elektroniikkajäte ongelma on minimoitavissa oikeanlaisella kierrätyksellä. Ympäristön kannalta nämä ongelmat olisi hyvä saada ratkaistua mahdollisimman nopeasti.

Metaversen kaltaisen immersiiivisen digitaalisen ympäristön hyödyntämiskokemus voidaan luoda XR lasien lisäksi myös pimennetyllä huoneella, jossa ainoana valonlähteenä käytettäisiin erittäin suurta näyttöpinta-alaa, joka on suurempi kuin ihmisen kerralla näkemän näkökentän koko. Ihmisen omat aivot rakentavat vahvan immersion siitä, että henkilö on itse virtuaalimaailman sisällä. Hyödyntäen surround ääniä ja virtuaalikäsineitä tai muita tapoja olla vuorovaikutuksessa virtuaalisen ympäristön kanssa, voidaan luoda hyvin immersiiivinen kokemus. Tätä metaverse polkua olisi hyvä tulevaisuudessa tutkia lisää, sillä sen avulla voitaisiin vapauttaa käyttäjät virtuaalilasien käytöstä, vähentäen näin kyberpahoinvointia, ja suurten näyttöpintojen tullessa alaspäin samaa laitetta voidaan hyödyntää myös tarvittaessa muihinkin käyttötarkoituksiin.

Metaverset rakentuvat ohjelmistoalustojen päälle. Ohjelmistoalustoja löytyy esimerkiksi pelaamiseen, opetukseen ja markkina tarkoituksiin. Ohjelmistoalustat antavat hyvät työkalut siihen, miten metaverseä lähdetään rakentamaan. Käyttäjillä on paljon vapautta siihen millaista sisältöä metaversessä tulee olemaan. Huomattiin myös, että eniten potentiaalia on opetuskäyttöön tarkoitetuilla metaverse ohjelmisto alustoilla, sillä ne tarjoavat työkaluja, millä voi muovata perinteisiä opetusmenetelmiä ja tehostaa oppimista. Metaverse opetusalustat eivät ole saaneet paljon näkyvyyttä, mutta voivat tulevaisuudessa yleistyä metaversen kasvaessa.

Metaverse saa koko ajan enemmän ja enemmän näkyvyyttä ja se herättää kiinnostusta muissakin tieteenaloissa. Siksi on tärkeää, että metaverseä kehitettäessä tehdään yhteistyötä poikkitieteellisesti ja luodaan metaversen avulla ratkaisuja ongelmiin usealle eri osa-alueelle, kuten lääketieteelle, matkailuun, arkkitehtuuriin jne. Metaversen kannalta on myös tärkeää, että se olisi saavutettavissa mahdollisimman monelta erilaiselta laitteelta, jotta mahdollisimman moni saisi pääsyn metaverseen. Jotta tämä mahdollistuisi, täytyy metaversejen toimia pienelläkin suoritusteholla, kuten mobiililaitteilla.

Kokonaisuudessaan metaversellä on tällä hetkellä hyvä pohja, mistä lähteä kehittämään sitä eteenpäin. Sen luomat mahdollisuudet ovat suuret ja on hyvin mahdollista, että tulevaisuudessa metaverse on merkittävässäkin roolissa ihmisten elämässä, kunhan sen ongelmat saadaan ratkaistua.

7 Yhteenveto

Metaverse on vanha konsepti, jonka juuret ulottuvat 1992 luvulle asti ja on taas lähivuosina noussut pinnalle (Brown 2021). Tässä kandidaatintyössä tehtiin kirjallisuuskatsaus tähän suosittuun aiheeseen, metaverseen. Selvitettiin mitä metaverse tarkoittaa ja käytiin läpi yleisimpiä sovelluksia metaversestä ja sen käyttötarkoituksia. Työssä käytiin myös läpi erilaisia laitteita millä metaverseen päästään sisään. Selvitettiin millaisia ovat metaverse ohjelmistotalustat ja käytiin fyysisen maailman ja metaversen integraation haasteita ja mahdollisuuksia. Tärkeänä osana tätä työtä oli selvittää, onko metaverse vain ohimenevä konsepti vai onko siitä oikeasti hyötyä tulevaisuudessa.

Metaverse on hyvin laaja käsite, eivätkä tutkijat ole päässeet yhteisymmärrykseen käsitteen tarkoituksesta (Schöbel et al. 2023). Siksi työssä käytetään selkeyden vuoksi Nottinghamin yliopisto tutkijan Steve Benfordin määrittelyä metaversestä (2021). Metaverse on aina saatavilla oleva 3D-virtuaalimaailma, joka keskittyy keskinäiseen vuorovaikutukseen ihmisten kanssa ilman fyysisiä rajoitteita ja jonka sisälle päästäkseen tarvitaan kännykkä, tietokone, tai jokin muu elektroninen laite mikä käyttää internetiä. Mahdollisimman immersiiivisen kokemuksen luomiseksi voidaan käyttää virtuaalilaseja. Metaverse on myös tavalla tai toisella yhteydessä oikeaan maailmaan.

Työn aikana todettiin, että metaverseä voidaan hyödyntää moneen eri aihealueeseen. Metaverseä on sovellettu muun muassa videopeleissä, opetuksessa ja markkinoinnissa. Käyttökohde ideoita löytyy paljon, mutta ne ovat vielä pääsääntöisesti toteuttamatta ja ovat toistaiseksi olemassa vain ideatasolla.

Koska metaverse on ikään kuin ”toinen ulottuvuus” virtuaalisessa muodossa, sen sisään täytyy myös päästä jostain kautta. Työssä käytiin läpi laitteita, millä päästään metaverseen sisään ja tunnistettiin niiden kehityskohteita ja ongelmia. Tunnistettiin, että XR lasit ovat merkittävimmissä roolissa metaversen sisäänpääsyn mahdollistavista laitteista, sillä ne luovat käyttäjälle immersiiivisimmän kokemuksen (VIVE Team 2022). Isoimpina ongelmina XR lasissa todettiin niiden suuri energiankulutus ja niistä aiheutuva suuri määrä elektroniikka jätettä.

Metaverset käyttävät ohjelmistoalustoja tukipalkkeina toimiakseen. Työssä kävi ilmi, millaisia ohjelmistoalustoja on olemassa, sekä niiden yleinen rakenne. Isoimmiksi alustoiksi todettiin videopelialustat, opetusalustat ja markkina-alustat. Ohjelmistoalustoja kehitetään jatkuvasti uusiin eri tarkoituksiin, mutta eniten potentiaalia tulevaisuuden kannalta on opetuskäyttöön tarkoitetuilla alustoilla, sillä ne tarjoavat opetukseen ja varsinkin etäopetukseen paljon hyödyllisiä työkaluja, mitkä tehostavat oppilaiden oppimista.

On vielä epäselvää, miten metaverse tulee olemaan osana ihmisten elämää tulevaisuudessa. Siltä varalta, jos metaverse tulee olemaan isossa osassa ihmisten arkielämää, on tärkeää, että se olisi kaikille saavutettavissa. Saavutettavuuden toteuttamiseksi, metaverset pitäisi suunnitella pyörimään myös mobiililaitteilla, joissa suoritusteho ei vastaa tietokoneita tai XR lasseja (Rawat & El alami 2023).

Metaverse tarvitsee vielä paljon tutkimusta ja resursseja, jotta siitä saadaan mahdollisimman paljon hyötyä. Tällä hetkellä metaverse on vielä hyvin varhaisessa vaiheessa, mutta sillä on todella paljon potentiaalia tulevaisuuden kannalta, kunhan ideatasolla olevat sovellukset saadaan toteutettua ja sen ongelmat ratkaistua.

Lähteet

Dalvin Brown, 2021. What is the 'metaverse'? Facebook says it's the future of the Internet. [Verkkoartikkeli]. [Viitattu 29.1.2023]. Saatavilla: <https://www.washingtonpost.com/technology/2021/08/30/what-is-the-metaverse/>

Robertson, Peters, 2021. What is the metaverse, and do I have to care? [Verkkoartikkeli]. [Viitattu 29.1.2023]. Saatavilla: <https://www.theverge.com/22701104/metaverse-explained-fortnite-roblox-facebook-horizon>

Linda Tucci, 2022. What is the metaverse? An explanation and in-depth guide. [Verkkoartikkeli]. [Viitattu 7.2.2023]. Saatavilla: <https://www.techtarget.com/whatis/feature/The-metaverse-explained-Everything-you-need-to-know>

O'Brien, Chan, 2021. EXPLAINER: What is the meataverse and how will it work? [Verkkoartikkeli]. [Viitattu 7.2.2023]. Saatavilla: <https://web.archive.org/web/20211204012219/https://abcnews.go.com/Business/wireStory/explainer-metaverse-work-80842516>

Yle.fi, 2009. Viestimien kehittyminen. [Verkkouutinen]. [Viitattu 20.2.2023]. Saatavilla: <https://yle.fi/aihe/artikkeli/2009/11/16/viestimien-kehittyminen>

Steve Benford, 2021. Metaverse: five things to know – and what it could mean for you. [Verkkoartikkeli]. [Viitattu 13.3.2023]. Saatavilla: <https://theconversation.com/metaverse-five-things-to-know-and-what-it-could-mean-for-you-171061>

Etteplan. 2023. Digitaalinen kaksonen. [Verkkoartikkeli]. [Artikkeli]. [Viitattu 14.3.2023]. Saatavilla: <https://www.etteplan.com/fi/palvelumme/suunnittelupalvelut/digitaalinen-kaksonen>

Narin, Nida Gökçe. 2021. A Content Analysis of the Metaverse Articles. [Artikkeli]. [Viitattu 15.3.2023]. Saatavilla: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2167699>

Buchholz Florian, Oppermann Leif & Prinz Wolfgang. 2022. There's more than on metaverse. s.318. [Artikkeli]. [Viitattu 16.3.2023]. Saatavilla: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/icom-2022-0034/html>

ClassVr. Virtual Reality for Schools. [Artikkeli]. [Viitattu 17.3.2023]. Saatavilla: <https://www.classvr.com/>

Kavanagh Sam, Luxton-Reilly Andrew, Wuensche Burkhard, Plimmer Beryl. 2017. A Systematic review of Virtual Reality in education. [Artikkeli]. [Viitattu 18.3.2023]. Saatavilla: <https://www.learntechlib.org/p/182115/>

Meta. 2023. Meta Horizon Workrooms. [Artikkeli]. [Viitattu 18.3.2023]. Saatavilla: <https://www.meta.com/fi/work/>

Volvo. 2022. The Volvoverse: Volvo Cars launched first car in the metaverse. [Artikkeli]. Saatavilla: <https://www.volvocars.com/au/news/innovation/The-Volvoverse/>

Metamandrill. 2022. VR Headsets; Your Complete Guide to the Top Virtual Reality Gear. [Artikkeli]. Saatavilla: <https://metamandrill.com/vr-headsets/#what-is-virtual-reality>

Vive. 2022. How to Join the Metaverse: Your Questions Answered. [Artikkeli]. Saatavilla: <https://blog.vive.com/us/how-to-join-the-metaverse-your-questions-answered/>

Laurell Christofer, Sandström Christian, Berthold Adam, Larsson Daniel. 2019. Exploring barriers to adoption of Virtual Reality through Social Media Analytics and Machine Learning – An assessment of technology, network, price and triability. [Artikkeli]. s.469–474. [Viitattu 7.4.2023]. Saatavilla: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.cc.lut.fi/science/article/pii/S0148296319300177>

Coles Jason. 2021. What causes motion sickness in VR, and how can you avoid it? [Artikkeli]. [Viitattu 16.4.2023]. Saatavilla: <https://www.space.com/motion-sickness-in-vr>

Logan Kugler. 2021. The State of Virtual Reality Hardware. [Artikkeli]. [Viitattu 16.4.2023]. Saatavilla: <https://dl-acm-org.ezproxy.cc.lut.fi/doi/abs/10.1145/3441290>

Zhan Tao, Yin Kun, Xiong Jianghao, He Ziqian, Shin-Tson Wu. 2020. Augmented Reality and Virtual Reality Displays: Perspectives and Challenges. [Artikkeli]. [Viitattu 16.4.2023]. Saatavilla: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S258900422030585X>

Xiong Jianghao, Hsiang En-Lin, He Ziqian, Zhan Tao & Wu Shin-Tson. 2021. Augmented reality and virtual reality displays: emerging technologies and future perspectives. [Artikkeli]. [Viitattu 21.4.2023]. Saatavilla: <https://www.nature.com/articles/s41377-021-00658-8>

Zhang Siyue, Lim Wei Yang Bryan, Ng Chong Wei, Xiong Zehui, Niyato Dusit, Shen Sherman Xuemin & Chunyan Miao. 2023. Towards Green Metaverse Networking: Technologies, Advancements and Future Directions. [Artikkeli]. [Viitattu 11.7.2023]. Saatavilla: <https://arxiv.org/abs/2211.03057>

Leng Yue, Huang Jian, Chen Chi-Chun, Sun Qiuyue & Zhu Yuhao. 2020. Energy-Efficient Video Processing for Virtual Reality. [Artikkeli]. [Viitattu 11.7.2023]. Saatavilla: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9057664>

Kshetri Nir, Dwivedi Yogesh K. 2023. Pollution-reducing and pollution-generating effects of the metaverse. [Artikkeli]. [Viitattu 13.7.2023]. Saatavilla: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268401223000014>

Turchet Luka. 2022. Musical Metaverse: vision, opportunities, and challenges. [Artikkeli]. [Viitattu 15.7.2023]. Saatavilla: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00779-023-01708-1>

Partida Devin. 2022. How to Keep the Metaverse Sustainable. [Artikkeli]. [Viitattu 15.7.2023]. Saatavilla: <https://arinsider.co/2022/08/24/how-to-keep-the-metaverse-sustainable/>

Márquez Díaz, J.E., Domínguez Saldaña, C.A., Rodríguez Avila, C.A. 2020. Virtual World as a Resource of Hybrid Education. [Artikkeli]. [Viitattu 5.7.2023]. Saatavilla: <https://www.proquest.com/docview/2666932553/fulltextPDF/8B1E02CBE400493APQ/1?accountid=27292>

Kye, B., Han, N., Kim, E., Park, Y., Jo, S. 2021. Educational applications of metaverse: possibilities and limitations. [Artikkeli]. [Viitattu 5.7.2023]. Saatavilla: <https://synapse.koreamed.org/articles/1149230>

Clegg Nick. 2023. How the Metaverse Can Transform Education. [Artikkeli]. [Viitattu 5.7.2023] Saatavilla: <https://about.fb.com/news/2023/04/how-the-metaverse-can-transform-education/>

Hwang, G.J., Chien, S.Y. 2022. Definition, roles, and potential research issues of the metaverse in education: An artificial intelligence perspective. [Artikkeli]. [Viitattu 5.7.2023]. Saatavilla: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666920X22000376>

- Sungjin, P. Sangkyun, K. 2022. Identifying World Types to Deliver Gameful Experiences for Sustainable Learning in the Metaverse. [Artikkeli]. [Viitattu 5.7.2023]. Saatavilla: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/3/1361>
- Jian, S., Chen, X & Yan, J. 2022. From Online Games to “Metaverse”: The Expanding Impact of Virtual Reality in Daily Life. Available online: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-05434-1_3
- Seifoddini, J. 2022. A multi-criteria approach to rating Metaverse games. [Artikkeli]. [Viitattu 5.7.2023]. Saatavilla: <https://dergipark.org.tr/en/pub/jmv/issue/71114/1053778>
- Hamish, H. 2022. Best VR games: top virtual reality experiences to play right now. [Artikkeli]. [Viitattu 5.7.2023]. Saatavilla: <https://www.techradar.com/best/the-best-vr-games>
- Siyue, Z. Wei, Y. Bryan, L. Wei, C. Zehui, X. Dusit, N. Xuemin, S. Chunyan, M. 2023. Towards Green Metaverse Networking: Technologies, Advancements and Future Directions. [Artikkeli]. [Viitattu 5.7.2023]. Saatavilla: <https://arxiv.org/abs/2211.03057>
- Mozumder, M.A.I., Armand, T.P.T., Uddin, S.M.I., Athar, A., Sumon, R.I., Hussain, A. & Kim, H.C. 2023. Metaverse for Digital Anti-Aging Healthcare: An Overview of Potential Use Cases Based on Artificial Intelligence, Blockchain, IoT Technologies, Its Challenges, and Future Directions. [Artikkeli]. [Viitattu 5.7.2023]. Saatavilla: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/8/5127#>
- Dragan, P., Muhammet, D., Ilgin, G., Madjid, T., Mario, K. 2022. A metaverse assessment model for sustainable transportation using ordinal priority approach and Aczel-Alsina norms. [Artikkeli]. [Viitattu 5.7.2023]. Saatavilla: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004016252200302X>
- Gaafar, A.A. 2021. Metaverse In Architectural Heritage Documentation & Education. [Artikkeli]. [Viitattu 5.7.2021]. Saatavilla: <http://www.ss-pub.org/wp-content/uploads/2021/10/AEER2021101401.pdf>
- Raghavan Rakesh, Rao Prahlad. 2018. Accenture Extended Reality (XR) – Immersive Learning for the Future Workforce. [Artikkeli]. [Viitattu 16.7.2023]. Saatavilla: https://www.accenture.com/_acnmedia/pdf-86/accenture-extended-reality-immersive-training.pdf
- Schöbel Sofia, Karatas Jasmin, Tingelhoff Fabian, Leimester Jan Marco. 2023. Not everything is a Metaverse?! A Practitioners Perspective on Characterizing Metaverse Platforms. [Artikkeli]. [Viitattu 17.7.2023]. Saatavilla: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4250001

Duan Haihan, Li Jiaye, Fan Sizheng, Lin Zhonghao, Wu Xiao, Cai Wei. 2021. Metaverse for Social Good: A University Campus prototype. [Artikkeli]. [Viitattu 17.7.2023]. Saatavilla: <https://arxiv.org/abs/2108.08985>

Northcrypto. Mikä on lohkoketju? [Artikkeli]. [Viitattu 20.7.2023]. Saatavilla: <https://www.northcrypto.com/fi/about/blockchain>

Han Jeongmin, Heo Jeongyun & You Eunsoon. 2021. Analysis of Metaverse Platform as a New Play Culture: Focusing on Roblox and ZEPETO. [Artikkeli]. [Viitattu 22.7.2023] Saatavilla: <http://star.informatik.rwth-aachen.de/Publications/CEUR-WS/Vol-3026/paper3.pdf>
Roblox. A New Era of Teaching and Learning. [Artikkeli]. [Viitattu 22.7.2023]. Saatavilla: <https://education.roblox.com/>

Second Life. Remote Work Redefined. [Artikkeli]. [Viitattu 22.7.2023]. Saatavilla: <https://secondlife.com/connect>

Jovanović Aleksandar, Milosavljević Aleksandar. 2021. VoRtex Metaverse Platform for Gamified Collaborative Learning. [Artikkeli]. [Viitattu 22.7.2023]. Saatavilla: <https://www.mdpi.com/2079-9292/11/3/317>

Zhao Ning, You Fengqi. 2023. The growing metaverse sector can reduce greenhouse gas emissions by 10 Gt CO₂e in the united states by 2050. [Artikkeli]. [Viitattu 23.7.2023]. Saatavilla: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2023/ee/d3ee00081h>

Periyasami Saravanan, Periyasamy Aravin Prince. 2022. Metaverse as Future Promising Platform Business Model: Case Study on Fashion Value Chain. [Artikkeli]. [Viitattu 23.7.2023]. Saatavilla: <https://www.mdpi.com/2673-7116/2/4/33>

Giovanni De Pietro. 2023. Sustainability of the Metaverse: A Transition to Industry 5.0. [Artikkeli]. [Viitattu 23.7.2023]. Saatavilla: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/7/6079>

Tien-Dana Jack. 12 Major Artists Who Have Performed in the Metaverse. [Artikkeli]. [Viitattu 23.7.2023]. Saatavilla: <https://www.one37pm.com/music/ten-major-artists-who-have-performed-in-the-metaverse>

Rawat Danda B., El alami Hassan. 2023. Metaverse: Requirements, Architecture, Standards, Status, Challenges, and Perspective. [Artikkeli]. [Viitattu 24.7.2023]. Saatavilla: <https://arxiv.org/abs/2302.01125>

Aloqaily Moayad, Bouachir Ouns, Karray Fakhri, Ridhawi Ismaeel Al, Saddik Abdulmotaleb El. 2022. Integrating Digital Twin and Advanced Intelligent Technologies to Realize the Metaverse. [Artikkeli]. [Viitattu 25.7.2023]. Saatavilla: <https://arxiv.org/abs/2210.04606>

Bianzino Nicola Morini. 2022. Metaverse: Could creating a virtual world build a more sustainable one? – Substituting the physical with virtual. [Artikkeli]. [Viitattu 25.7.2023]. Saatavilla: https://www.ey.com/en_gl/digital/metaverse-could-creating-a-virtual-world-build-a-more-sustainable-one

Palacin Victoria, Ginnane Síle, Ferrario Maria Angela, Happonen Ari, Wolff Annika, Piutunen Sara, Kupiainen Niina. 2019. SENSEI: Harnessing Community Wisdom for Local Environmental Monitoring in Finland. [Artikkeli]. [Viitattu 14.8.2023]. Saatavilla: https://www.researchgate.net/publication/332777096_SENSEI_Harnessing_Community_Wisdom_for_Local_Environmental_Monitoring_in_Finland

Metso Lasse, Happonen Ari. 2023. Data Sharing Concept For Electric Car Services: Fleet Level Optimization and Emission Reduction Based on Monitored Data. [Artikkeli]. [Viitattu 14.8.2023]. Saatavilla: https://www.researchgate.net/publication/372463598_Data_Sharing_Concept_For_Electric_Car_Services_Fleet_Level_Optimization_and_Emission_Reduction_Based_on_Monitored_Data

Minashkina Daria, Happonen Ari. 2022. Analysis of the Past Seven Years of Waste-Related Doctoral Dissertations: A Digitalization and Consumer e-Waste Studies Mystery. [Artikkeli]. [Viitattu 14.8.2023]. Saatavilla: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/18/6526>

Happonen Ari, Ghoreishi Malahat. 2021. A Mapping Study of the Current Literature on Digitalization and Industry 4.0 Technologies Utilization for Sustainability and Circular Economy in Textile Industries. [Artikkeli]. [Viitattu 14.8.2023]. Saatavilla: https://www.researchgate.net/publication/348886083_A_Mapping_Study_of_the_Current_Literature_on_Digitalization_and_Industry_40_Technologies_Utilization_for_Sustainability_and_Circular_Economy_in_Textile_Industries

Auvinen Harri, Santti Ulla, Happonen Ari. 2019. Technologies for Reducing Emissions and Costs in Combined Heat and Power Production. [Artikkeli]. [Viitattu 14.8.2023]. Saatavilla: https://www.researchgate.net/publication/337172153_Technologies_for_Reducing_Emissions_and_Costs_in_Combined_Heat_and_Power_Production