

Moona Mattila

**LAAJENNETUN TODELLISUUDEN
HYÖDYNTÄMINEN VALMISTAVASSA
TEOLLISUUDESSA**
Huollon ja kunnossapidon näkökulma

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tarkastaja: Helena Leppäkoski
Joulukuu 2021

TIIVISTELMÄ

Moona Mattila: Laajennetun todellisuuden hyödyntäminen valmistavassa teollisuudessa
Kandidaatintyö, 26 sivua
Tampereen yliopisto
Teknisten tieteiden kandidaatin tutkinto-ohjelma
Joulukuu 2021

Laajennettu todellisuus (engl. Extended Reality) on yläkäsite virtuaaliselle, lisätylle sekä yhdistetylle todellisuudelle. Laajennetun todellisuuden lisääntyminen tehdasympäristössä antaa mahdollisuuksia huollon ja kunnossapidon tehtävien neuvomiseen etäyhteydellä tai tehtävien harjoitteluun turvallisessa ympäristössä. Tässä työssä tarkastellaan laajennetun todellisuuden laitteiden soveltuvuutta tehdasympäristöön, erityisesti huollon ja kunnossapidon tehtävien apuvälineinä. Työn tavoitteena on tutkia teollisuuskäytön ja yrity maailman näkökulmasta, millaisessa vaiheessa virtuaalitekniikan laitteet ovat ja miten niitä voidaan hyödyntää.

Työn alkuosa esittelee teoriaa virtuaalisesta, lisätyistä ja yhdistetyistä todellisuudesta, minkä jälkeen käydään läpi virtuaalista työtä mahdollistavia laitteita laiteryhmittäin. Laiteryhmät ovat käytännössä virtuaalisen todellisuuden ja lisätyn todellisuuden laitteiden näyttöjä, jotka voidaan karkeasti ryhmitellä niiden sijoittelun mukaan päähän asetettaviin, kädessä pidettäviin ja paikallaan oleviin näyttöihin. Tämän työn tarkastelut perustuvat kirjallisuusselvitykseen, ja lähteinä on käytetty verkossa saatavilla olevia artikkeleita ja tutkimuksia. Työhön on koottu erilaisia yhteenvetotaulukoita laitteiden ominaisuuksista sekä niiden vahvuuksista että kehitettävistä puolista.

Tarkastelun tuloksena voidaan todeta, että laajennetun todellisuuden laitteet eivät nykyiseltä kehitystasoltaan ole vielä valmiita tehdaskäyttöön. Laitteiden tekniset ominaisuudet ja ulkomuoto vaativat lisää kehitystyötä. Lisätyn todellisuuden laitteiden tulisi olla muun muassa kevyempiä, niissä tulisi olla äänenvoimakkuutta enemmän, jotta käyttäjä kuulee meluisassa tehdasympäristössä ja niiden ei tulisi rajoittaa käyttäjän näkökykyä tai liikettä. Virtuaalisen todellisuuden laitteiden tulisi esimerkiksi olla todenmukaisempia, jotta harjoittelu virtuaalimaailmassa vastaisi todellisen maailman tilanteita.

Covid-19 pandemian vauhdittamana laajemman ja kokonaisvaltaisemman etätyöskentelyn vaatimus tänä päivänä kannustaa kuitenkin laitteiden kehitystyöhön myös teollisuudessa. Huollon ja kunnossapidon näkökulmasta taloudellista säästöä syntyisi pelkästään matkustustarpeen vähentymisestä ja huoltopalveluiden nopeutumisesta. Samoin todellisten tilanteiden harjoittelua on mahdollista toteuttaa turvallisesti virtuaalitekniikalla.

Tulevaisuudessa kiinnostava näkökulma on myös tekoälyn lisääminen lisätyn todellisuuden laitteisiin, jolloin ne voisivat ilmoittaa ennakoidun huollon tarpeen käyttäjälleen. Tulevaisuudessa älykkäiden kunnossapitosovelluksien avulla laitteet voisivat neuvoa käyttäjiänsä itsenäisemmin.

Avainsanat: laajennettu todellisuus, virtuaalinen todellisuus, lisätty todellisuus, huolto ja kunnossapito

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ALKUSANAT

Kandidaatintyön aiheen valinta ei ollut itsestäänselvyys. Selailin valmiita aiheita, joista löysin itseäni kiinnostavan suunnan työlle. Muutaman tiedonhakukierroksen jälkeen aiheeksi vahvistui nykyinen. Mielenkiintoa aiheeseen lisäsi myös nykyinen maailmantilanne eli Covid-19 pandemia ja mitä hankaluuksia se on tuonut tullessaan. Opin valtavasti lisää laajennetusta todellisuudesta, josta en tiennyt juuri mitään työtä aloitellessani.

Haluan kiittää erityisesti ohjaajaani Helena Leppäkoskea neuvoista ja palautteesta, joita hän on työtäni koskien antanut. Lämpimät kiitokset kuuluvat myös ystäväilleni ja perheelleni, jotka ovat olleet tukena ja kannustamassa kandidaatintyöprojektin aikana.

Tampereella, 29. joulukuuta 2021

Moona Mattila

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. LAAJENNETTU TODELLISUUS	3
2.1 Virtuaalinen todellisuus ja sen käsitteet	3
2.2 Virtuaalisen todellisuuden toimintaperiaate	4
2.3 Virtuaalisen todellisuuden laiteryhmät	5
2.4 Lisätty todellisuus	6
2.5 Lisätyn todellisuuden laiteryhmät	7
2.6 Yhdistetty todellisuus	8
2.7 Laitteiden tietoturva	8
3. LISÄTYN JA YHDISTETYN TODELLISUUDEN LAITTEITA JA KÄYTÄNNÖN RATKAISUJA	9
3.1 Päähän asetettavat näytöt	10
3.2 Kädessä pidettävät laitteet	12
3.3 Läpinäkyvä paikallaan oleva näyttö	13
4. VIRTUAALISEN TODELLISUUDEN LAITTEITA	15
4.1 Päähän asetettava näyttö	15
4.2 Virtuaalisen todellisuuden huone	17
4.3 Virtuaalisen todellisuuden työpöytä	18
4.4 Muut laitteet	19
5. TULEVAISUUDEN SUUNTIA	20
5.1 Lisätty todellisuus	20
5.2 Virtuaalinen todellisuus	21
6. YHTEENVETO	22
LÄHTEET	24

LYHENTEET JA MERKINNÄT

3D	Kolmiulotteinen (engl. 3-Dimensional)
AR	Lisätty todellisuus (engl. Augmented reality)
GNSS	Globaali satelliittipaikannusjärjestelmä (engl. Global Navigation Satellite System)
GPS	Globaali paikantamisjärjestelmä (engl. Global Positioning System)
HD	Teräväpiirto (engl. High definition)
HHD	Kädessä pidettävä näyttö (engl. Handheld Display)
HMD	Päähän asetettava näyttö (engl. Head Mounted Display)
LMC	Leap Motion Controller
MR	Yhdistetty todellisuus (engl. Mixed Reality)
NFT	Natural Feature Tracking
OST	Optical See-Trough
SAR	Läpinäkyvä, paikallaan pysyvä näyttö (engl. Spatial Augmented Reality)
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping
VR	Virtuaalinen todellisuus (engl. Virtual Reality)
VST	Video See-Trough
XR	Laajennettu todellisuus (engl. Extended Reality)

1. JOHDANTO

Elämme juuri neljännen teollisen vallankumouksen aikakautta, jossa tavoitteena on ylläpitää ja kehittää vahvaa ja innovatiivista toimintaa (Ababsa 2020). Digitalisaatio eli digitaalisen teknologian lisääntyminen on yksi merkittävimmistä neljännen teollisen vallankumouksen osa-alueista. Digitalisaatio teollisuudessa johtaa ketterämpiin sekä verkottuneisiin tuotantoprosesseihin. Samaan aikaan teollisuuden koneet ja niiden keskenäiset suhteet muuttuvat monimutkaisemmiksi. Ongelmien ratkaisuun tarvitaan yhä enemmän asiantuntijätietoa sekä -taitoa, jota ei ole aina paikallisesti saatavilla. (Vorraber et al. 2020) Tämän takia käsite virtuaalitekniologia on tullut teknologia-alan yrityksille yhä kiinnostavammaksi, jotta asiantuntijätieto ja -taito olisi saatavilla myös esimerkiksi etäyhteydellä.

Digitalisaation hyötyjä tutkitaan, jotta voitaisiin välttää esimerkiksi matkustuskustannuksia sekä viivästyksiä tehdaslaitteiden korjauksissa ja huollon toimissa (Vorraber et al. 2020). Koska huolto ja kunnossapito saattaa olla haastavaa monimutkaisessa tehdasympäristössä, voidaan virtuaalitekniologian avulla parantaa työprosesseja ja turvallisuutta sekä vähentää matkustamisen tarvetta huoltotöiden vuoksi. Esimerkiksi vuoden 2020 Covid-19 pandemian takia matkustamista on rajoitettu ja henkilökohtaiset kontaktit ovat olleet minimissään. Tämä on tuonut etätyön vaatimuksen teollisuuteenkin, jolloin ulkopuolisten palveluiden, kuten huollon ja kunnossapidon toiminta tavalliseen tapaan ei ole ollut mahdollista.

Työn tavoitteena on tutkia teollisuuskäytön ja yritysmaailman näkökulmasta, millaisessa vaiheessa virtuaalitekniologian laitteet ovat ja miten niitä voidaan hyödyntää. Tarkoituksena työssä on laatia kooste, josta käy ilmi virtuaalitekniologian laitteiden tämänhetkinen soveltuvuus teollisuuskäyttöön. Aiheeseen liittyen on paljon kansainvälistä kirjallisuutta sekä tutkimuksia. Työn lähteinä on käytetty artikkeleita ja tutkimustuloksia. Tähän työhön on koottu niin teoriaa virtuaalitekniologiasta ja sen käsitteistä kuin laitteiden toimivuudesta. Tässä työssä keskitytään laitteistojen arviointiin huoltohenkilöstön opetuksen tai neuvomisen näkökulmasta. Lisäksi pohditaan lyhyesti laitteiden mahdollisia tietoturvan heikkouksia. Laitteita on olemassa eri valmistajilta useita, ja sen takia työssä rajataan laitteet toisistaan poikkaviin laiteryhmiin. Samanlaisia ratkaisuja eri valmistajilta ei käsitellä.

Työn rakenne on seuraava. Toisessa luvussa esitellään laajennetun todellisuuden määritelmä ja esitellään laajennetun todellisuuden laitoryhmiä ja pohditaan lyhyesti laitteiden tietoturvaa. Kolmannessa luvussa käydään läpi lisätyn ja yhdistetyn todellisuuden laitoryhmiä, kun taas neljännessä luvussa keskitytään virtuaalisen todellisuuden laitoryhmiin. Viidennessä luvussa käsitellään tulevaisuuden näkymiä eli, mitä asioita laitteista pitäisi vielä parantaa tai tutkia tarkemmin. Tässä luvussa lisätyllä ja virtuaalisella todellisuudella on omat kappaleensa.

2. LAAJENNETTU TODELLISUUS

Laajennettua todellisuutta (engl. Extended Reality, XR) voidaan pitää yläkäsitteenä virtuaalitodellisuudelle (engl. Virtual Reality, VR), lisätylle todellisuudelle (engl. Augmented Reality, AR) sekä näiden yhdistelmälle eli yhdistetylle todellisuudelle (engl. Mixed Reality, MR). Laajennettuun todellisuuteen kuuluvat kaikki ne teknologiat, jotka tehostavat aistejamme. (Gupton 2017)

2.1 Virtuaalinen todellisuus ja sen käsitteet

Virtuaalitodellisuudelle ei ole yhtenäistä tai tarkkaa määritelmää, ja se vaihtelee käyttötarkoitusten mukaan (Guo et al. 2019). Tässä työssä virtuaalista todellisuutta kuvataan kolmiulotteisena, interaktiivisena ja yleensä kokonaan tietokoneella luotuna todellisuutena (virtuaalimaailmana). VR on tietokonesimulaatio, jossa käyttäjä havaitsee tietokoneella simuloidun ympäristön niin kuin se olisi todellinen ympäristö (Mandal 2013). Virtuaalimaailmassa käyttäjä saa suoraa aistipalautetta sekä hänelle ilmenee läsnäolon ja immersion eli uppoutumisen tunnetta (Pöysäri 2021).

Virtuaalimaailmaksi kutsutaan tietokoneella simuloitua kolmiulotteista ympäristöä. Virtuaalimaailmalla on oma sisältö, joka halutaan esittää käyttäjälle useiden aistien kautta. Virtuaalimaailmassa käyttäjä saa aistivaikutelmia muun muassa visuaalisuuden, äänen sekä kosketuksen kautta. Virtuaalisen maailman sisältöön kuuluu neljä peruskategoriaa. Ensimmäisenä on ympäristö, joka sisältää ympäristön pinnan muodot, ympäröivän alueen ja ominaisuudet. Toisena ovat objektit eli kolmiulotteiset muodot. Nämä muodot vievät tilaa virtuaalimaailmassa, ja niillä on olemassa väri, muoto, tekstuuri sekä massa. Käyttäjä voi koskea ja käsitellä objekteja. Kolmantena ovat käyttöliittymän elementit eli esimerkiksi virtuaaliset painikkeet, kytkimet ja liikusäätimet, jotka edustavat osia käyttöliittymästä. Viimeisenä ovat itse käyttäjät eli avatarit. (Pöysäri 2021)

Virtuaalimaailmassa tärkeitä käsitteitä ovat immersio ja läsnäolo. Immersiolla tarkoitetaan käyttäjän uppoutumisen tunnetta eli sitä, kuinka todentuntuiselta virtuaalimaailma käyttäjälleen esiintyy. Läsnäololla taas tarkoitetaan sitä, kuinka käyttäjä tuntee itse olevansa virtuaalimaailmassa pelihahmona. Näin käyttäjän toiminta virtuaalimaailmassa tuntuu todellisemmalta kuin se, että käyttäjä toimisi pelihahmon välityksellä.

Jotta immersion ja läsnäolon tunteista saadaan todellisia, tarvitaan kolmiulotteisen ympäristön lisäksi kosketusvastike (engl. Haptic Feedback). Kosketusvastikkeessa simuloidaan käyttäjän kosketusta virtuaalisessa maailmassa, jotta saadaan immersion tunne mahdollisimman voimakkaaksi. Kosketusvastikkeen tarkoitus on saada käyttäjä tuntemaan oikeasti objektit, joita hän koskettaa virtuaalimaailmassa. Kosketusvastike voidaan jakaa voimavastikkeeseen sekä tuntovastikkeeseen. Voimavastikkeessa pyritään simuloimaan käyttäjälle tunne virtuaalisen objektin voimista, momenteista, paineesta sekä vastuksesta. Tuntovastikkeessa pyritään simuloimaan sitä, miltä virtuaalisen objektin pinta tuntuu. Pinta voi olla esimerkiksi sileää, kuuma tai liukas. (Pöysäri 2021)

2.2 Virtuaalisen todellisuuden toimintaperiaate

VR:n avulla ihminen on vuorovaikutuksessa simuloitun ympäristön kanssa niin, kuin se olisi todellinen ympäristö. VR-ympäristössä käyttäjä voi muokata ympäristöä tai siirtyä siinä reaaliajassa. (Mandal 2013) Tiedot käyttäjän liikkeistä välittyvät reaaliaikaisesti VR-ohjelmalle (Pöysäri 2021). Näin käyttäjän toiminta tulee palautteena hänelle itselleen esimerkiksi VR-lasien sekä kuulokkeiden avulla. Käyttäjällä on oltava pää- sekä kädenseurantajärjestelmät (engl. VR Gesture), jotta VR-ohjelma tunnistaa käyttäjän toiminnan (Mandal 2013). VR-ohjelma analysoi käyttäjän toimintaa ja näin muuttaa virtuaalimaailman vastaamaan sitä (Pöysäri 2021). Käyttäjän toimintaa voivat seurata muut reaali maailmassa olijat esimerkiksi tietokoneen ruudun avulla (Mandal 2013).

Mandalin (2013) mukaan VR:n ero arkipäivän median, kuten televisioiden, kanssa on kolmiulotteisuuden rakenne, immersio, läsnäolo ja vuorovaikutteisuus. Immersio on tärkeä ominaisuus esimerkiksi koulutuksissa, joissa halutaan harjoitusten olevan mahdollisimman lähellä todellisen maailman tilanteita. Mandalin (2013) mukaan immersioilla on tasoja, jotka muodostuvat tietokoneen luomista aistivaikutelmista. Nämä vaikutelmat välitetään ihmisen aisteille. Niiden tyyppiä sekä laadun mukaan määritellään immersion taso sekä läsnäolon tunne. Immersio voidaan jakaa näin ollen kolmeen luokkaan: immersioiton, puoliksi immersioivinen ja täysin immersioivinen virtuaalitodellisuus (Mjuber et al. 2004).

VR:ssä liikkeen tunnistus voi tapahtua kahdella eri tavalla. Laitteet voivat tunnistaa liikettä niin sanotusti ulkoapäin (engl. Outside-in Tracking) eli laitteet eivät ole käyttäjässään kiinni vaan ne ovat asetettu rajatun liikealueen ympärille. Ulkoapäin seuraavien laitteiden hyvä puoli on niiden seurannan tarkkuus sekä viiveettömyys. Huonona puolena on liikkeen tunnistuksen rajattu alue. (Pöysäri 2021) Toinen seurantatapa on se, että laitteet ovat käyttäjässään kiinni (engl. Inside-out Tracking).

Tässä seurantatavassa hyvänä puolena on sen rajoittamaton tarkkailualue mutta heikkoutena seurannan tarkkuus sekä viive. (Pöysäri 2021) Liikkeen seurannan avulla rajataan tietty esteetön alue käyttäjälle niin, että laite voi esimerkiksi ilmoittaa käyttäjälleen, mikäli hän poistuu pelialueelta. Toisaalta VR-laitteissa voi olla kaapeleita, jotka ovat kytkettynä tietokoneeseen. Näiden kaapelien avulla saadaan myös rajattua käyttöaluetta. Näin käyttäjä ei poistu esteettömältä pelialueelta ja törmää oikean maailman objekteihin.

Toisin sanoen, kun puhutaan virtuaalimaailmasta, tarkoitetaan käyttäjän havainnoimaa maailmaa. Käyttäjä on oikeassa maailmassa rajatussa tilassa, yllään virtuaalisen todellisuuden laitteet, kuten VR-lasit ja kosketusvastike hanskat. Näiden laitteiden avulla käyttäjä voi manipuloida virtuaalisen maailman objekteja ja liikkua ympäristössä. Kaikki käyttäjän tekeminen ilmenee hänelle, kuin se olisi todellista. Virtuaalista maailmaa voidaan kuvailla tietokonepelien tapaiseksi ympäristöksi, mutta virtuaalimaailmassa käyttäjä ei havaitse reaali maailman tapahtumia.

2.3 Virtuaalisen todellisuuden laiteryhmät

Mjuberin et al. (2004) mukaan laitteet voidaan jaotella immersion tunteen mukaan. Tässä työssä immersio jaetaan Mjuberin et al. (2004) mukaan immersiiivittömiin, puoliiksi immersiiivisiin sekä täysin immersiiivisiin (Taulukko 1). Huomattavin ero immersiiivittömissä ja täysin immersiiivisissä laitteissa on kosketusvastike, ohjaus ja liikkeen seuranta. Taulukossa 1 mainittuja laitteita voidaan yhdistellä immersiiivisestä jaottelusta huolimatta.

Taulukko 1. VR-laitteiden luokittelu.

Immersion taso	Esimerkkejä näytöistä	Muut laitteet
Immersionittömiin	Korkealaatuinen näyttö (Mjuber et al. 2004)	Tietokoneen hiiri, näppäimistö, joystick ja trackballs-ohjaimet (Mjuber et al. 2004)
Puoliiksi immersiiivinen	Valkokangasmonitorinäytöt ja läpinäkyvät paikallaan olevat näytöt (projektorit) (Mjuber et al. 2004)	Joystick ohjaimet ja haptinen käsine, joka tunnistaa käyttäjän liikettä (Mjuber et al. 2004)
Täysin immersiiivinen	VR-lasit, visiiri ja HMD (Mjuber et al. 2004)	Liikkeentunnistus haptinen käsine, ääniohjaus, liikkeenseuranta kamerat ja inertiaalisensorilaitteet (Pöysäri 2021; Mjuber et al. 2004)

Tässä työssä virtuaalisen todellisuuden laitteet ovat puoliksi tai täysin immersiiivisiä ja niihin tulee kuulumaan päähän asetettavat VR-laitteet tai muu yllä mainituista näytöistä, täysin immersiiivisiin kuuluvat käsiohjauslaitteet, seurantalaitteet sekä mahdolliset tukiohjelmat ja lisätarvikkeet.

2.4 Lisätty todellisuus

Lisättyllä todellisuudella tarkoitetaan virtuaalisen sisällön lisäämistä todelliseen ympäristöön. Lisätty todellisuus on variaatio virtuaalisesta ympäristöstä, jossa käyttäjä näkee todellisen ympäristön sekä siihen lisätyn virtuaalisen sisällön. Tarkoituksena on, ettei käyttäjältä korvata todellista ympäristöä vaan lisätään siihen haluttuja elementtejä. (Azuma 1997) Azuman (1997) mukaan lisätyn todellisuuden on täytettävä kolme peruseriaatetta: Sen on oltava yhdistelmä todellista sekä virtuaalista maailmaa, oltava reaaliaikaisessa vuorovaikutuksessa sekä oltava kolmiulotteinen. Toisin kuin VR:ssä, AR luo käyttäjälleen pääosin visuaalisesti lisättyjä ominaisuuksia todelliseen ympäristöön nähden. AR:ssä tietokoneen tai laitteen ei ole tarkoitus välittää käyttäjän jokaiselle aistille aistimuksia. Yksi tunnetuimmista AR-pohjaisista sovelluksista on Pokemon Go, joka on älypuhelimille tarkoitettu peli.

Jotta virtuaalinen sisältö saadaan näkymään johdonmukaisesti todelliseen maailmaan nähden, on AR-järjestelmän arvioitava reaaliaikaisesti virtuaalisen kohteen sijainti sekä suuruus (Lima et al. 2017; Fernando de Souza Cardoso et al. 2020). Yleisin ratkaisu tähän on käyttää järjestelmän kameralle näkyviä markkereita (engl. markers). Järjestelmä tunnistaa nämä markerit ja osaa laskea niiden koordinaatit kameran koordinaatistosta. Vertaamalla koordinaatteja keskenään osaa järjestelmä sijoittaa näytettävän virtuaalisen objektin koordinaatteihin. (Khan et al. 2015) Virtuaalisen objektin voi myös kohdentaa kehittyneemmillä menetelmillä. Näitä ovat luonnollisten ominaisuuksien seuranta (engl. Natural Feature Tracking, NFT) sekä samanaikainen lokalisointi ja kartoitus (engl. Simultaneous Localization and Mapping, SLAM) (Fernando de Souza Cardoso et al. 2020). Näitä menetelmiä ei avata tässä työssä tarkemmin niiden laajuuden vuoksi.

AR:n laitteet tarvitsevat seurantamenetelmiä varten erilaisia antureita. Näillä antureilla pystytään selvittämään käyttäjän sijainti, orientaatio sekä suuntaus (Siltanen 2012). AR laitteissa mittaavia laitteita ovat gyroskoopit, kiihtyvyyssanturit, kamerat, magnetometri, kompassi, satelliittipaikannus, etäisyys sensori ja mikrofoni (Feiner 2002; Fernando de Souza Cardoso et al. 2020; Siltanen 2012). Satelliittipaikantimien toiminta perustuu yhden tai useamman globaalin satelliittipaikannusjärjestelmän (engl. Global Navigation Satellite System, GNSS) lähettämiin radiosignaaleihin. Näitä järjestelmiä ovat

esimerkiksi eurooppalainen Galileo ja USA:n globaali paikannusjärjestelmä (engl. Global Positioning System, GPS). (European Union Agency for the Space Programme 2021)

2.5 Lisätyn todellisuuden laiteryhmät

AR-tekniikat voidaan luokitella käytettävien laitteiden näytön mukaan (Taulukko 2). Näytöissä on kahta eri luokkaa, ja molemmissa tavoissa maailma nähdään reaaliaikaisesti. Ensimmäisessä käyttäjä katsoo todellista maailmaa omilla silmillään ja näkee siihen lisätyt virtuaaliset kohteet, jotka laite tuottaa (engl. Optical See-Trough, OST). Toisessa todellinen maailma näytetään kameran avulla, jolloin todellinen ja digitaalinen kuva voidaan yhdistää, ennen kuin se näytetään käyttäjälle (engl. Video See-Trough, VST). (Fernando de Souza Cardoso et al. 2020) VST-näytöissä reaalista maailmaa katsotaan laitteen kameran avulla. Tässä työssä käsitellään Taulukossa 2 esiteltyjä laiteryhmiä. HMD-laitteet ovat jaoteltu kahteen osaan eli OST- ja VST-näyttöihin. HMD-laitteista tarkemmin käsitellään OST-näyttöjä.

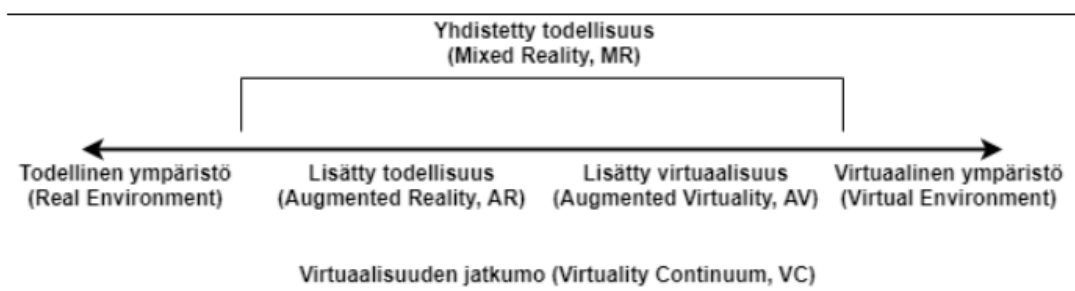
Taulukko 2.

AR-laitteiden luokittelu laiteryhmittäin.

Laiteryhmä	Kuvaus	Esimerkkejä laitteista
HMD	Päähän asetettava kypärä tai lasit, joissa on näyttö. Näyttöihin voidaan sijoittaa virtuaalisen maailman objeketeja, jotka näkyvät todellisen maailman kanssa yhtenäisenä (Fernando de Souza Cardoso et al. 2020). Voi olla sekä OST- tai VST-näyttö.	HoloLens, Oculus Rift DK2s ja Vuzix M4000 Starterkit
Kädessä pidettävät laitteet (Hand Held Display, HHD)	Kamera vastaa todellisen maailman kuvaamisesta ja järjestelmään liitetty tietokone vastaa virtuaalisen sisällön lisäämisestä käyttäjän näytölle (Fernando de Souza Cardoso et al. 2020, katso Nishihara 2015). Laitteet ovat VST-näyttöjä.	Älypuhelimet sekä tabletit (Phillips 2019; Fernando de Souza Cardoso et al. 2020)
Läpinäkyvä, paikallaan pysyvä näyttö (Spatial Augmented Reality, SAR)	Virtuaalinen tieto heijastetaan suoraan todellisen maailmaan. Käyttäjä voi olla suoraan vuorovaikutuksessa halutun virtuaalisen objektin kanssa, eikä hänen tarvitse käyttää muita laitteita nähdäkseen virtuaalisen maailman objektit. Projektorit voivat olla joko käyttäjässä kiinni tai kiinnitettynä esimerkiksi seinään, jolloin ne projisoivat käyttäjän näkökenttään virtuaaliset objektit. (Azuma et al. 2001)	

2.6 Yhdistetty todellisuus

Yhdistetyssä todellisuudessa tarkoituksena on liittää AR:n sekä VR:n vaikutelmia. Tässä yhdistetään ihmisen aistima todellisuus sekä keinotekoinen, tietokoneella luotu todellisuus. (Helsingin yliopisto 2018) Juraschek et al. (2018) mukaan AR sekä VR ovat osa lisättyä todellisuutta ja siten ne voidaan ne esittää osana virtuaalisuuden jatkumoa (Kuva 1) (katso Milgram & Kishino 1994). Jatkumon päädyissä ovat täysin virtuaalinen ympäristö sekä todellinen ympäristö. Näiden välissä todellinen sekä virtuaalinen ympäristö yhdistyvät ja tätä voidaan kutsua yhdistetyksi todellisuudeksi. Jatkumoa seurattaessa vasemmalta oikealle virtuaalisten elementtien osuus kasvaa. Jos sovelluksessa on suurempi osuus todellisuuden elementtejä, voidaan sitä kutsua lisätyksi todellisuudeksi. Vastaavasti jos virtuaalisia elementtejä on enemmän, ollaan joko lisätyn virtuaalisuuden kohdalla tai täysin virtuaalisessa ympäristössä. (Juraschek et al. 2018)



Kuva 1. Virtuaalisuuden jatkumo (Salonen 2020, katso Milgram & Kishinon 1994)

Yhdistetty todellisuus määritellään yleensä samantapaisesti kuin aiemmin määritetty lisätty todellisuus (Juraschek et al. 2018). Yhdistetyssä todellisuudessa virtuaalisia objekteja voidaan käsitellä kuten VR-maailmassa. Ne eivät ainoastaan näy käyttäjälle vaan niitä voi myös käsin liikuttaa. Tällöin käyttäjä on vuorovaikutuksessa sekä virtuaalisen maailman sekä todellisen maailman kanssa. (Milman 2018)

2.7 Laitteiden tietoturva

XR-laitteissa on useita liikettä seuraavia ja tunnistavia sensoreita sekä kameroita, jotka välittävät tietoa. Tämän vuoksi yritysmaailmassa näiden tietoturvariskit ovat arvioitava sekä niihin on puututtava. Tietoturvaallisuuden uhkia esiintyy esimerkiksi laitteiden keräämässä datassa ja sen siirrossa, mikäli yrityksen ulkopuolisia saavat dataa haltuunsa. AR- sekä VR-laitteiden avulla näytetään dataa sekä kuvamateriaalia, jotka ovat yksinomaan tarkoitettu vain yrityksen sisäiseen käyttöön.

Tietoturvauhat voidaan luokitella tietojen manipulointiin sekä luvattomaan lukemiseen. XR-laitteissa kameran välittämä kuva on olennaisin suojattava materiaali. Videosta yrityksen ulkopuoliset saisivat selville salaista videokuvan materiaalia. Tällaista materiaalia on esimerkiksi tehtaan pohjapiirroukset, salasanat sekä muu salainen tieto, mitä kamera voi tallentaa. Toisaalta hakkerit voisivat manipuloida laitteistojen näyttämää dataa niin, että siitä koituisi harmia yritykselle tai uhka huoltotyöntekijälle tai laitteelle, esimerkiksi väärin ohjeistuksien takia. (Langfinger et al. 2017)

Kun laitteita käytetään kahden yrityksen välillä, esimerkiksi huoltotoita neuvoessa, on varmistettava, että yhteys on salattu. Tällöin hakkerit eivät suoraan pääse käsiksi kuvamateriaaliin. Toisaalta uusia laitteita käyttöönotettaessa on varmistettava, ettei laitteen kautta pääse avoimesti yrityksen muuhun verkkoon. Samalla on varmistettava, ettei yrityksen verkosta pääse avoimesti laitteeseen. Näin voidaan estää hakkereiden pääsy laitteen kautta yrityksen verkkoon ja edelleen salattuihin tietoihin.

3. LISÄTYN JA YHDISTETYN TODELLISUUDEN LAITTEITA JA KÄYTÄNNÖN RATKAISUJA

Tässä kappaleessa esitellään lisätyn ja yhdistetyn todellisuuden laitteista pään asetettava näyttö, kädessä pidettävät laitteet sekä läpinäkyvä paikallaan oleva näyttö (Kuva 2). Kappaleessa keskitytään laitteiden soveltuvuuteen yritysmaailmassa huollon ja kunnossapidon näkökulmasta.



Kuva 2. Esimerkkejä lisätyn todellisuuden laitteista. Vas. Kädessä pidettävät (Kaminsky 2019) ja oik. AR-lasit (Kaminsky 2019).

Huollon ja kunnossapidon näkökulmasta lisättyä sekä yhdistettyä todellisuutta voidaan hyödyntää esimerkiksi huoltohenkilöstön kouluttamisessa tai neuvomisessa huoltotoimenpiteen aikana. Erilaiset lisätyn sekä yhdistetyn todellisuuden laiteratkaisut ovat mahdollistaneet näiden osa-alueiden tutkimisen. Koska teollisuudessa alan ammattilaisia tarvitaan yhä enemmän, voitaisiin onnistuneilla lisätyn tai yhdistetyn

todellisuuden ratkaisulla vähentää heidän tarvetta matkustaa ja näin säästettäisiin aikaa ja rahallisia kustannuksia.

3.1 Pään asetettavat näytöt

Yksi AR- sekä MR-pohjainen ratkaisu on pään asetettava HMD-laite. Tämä laite asetetaan käyttäjän päähän ja käyttäjän näkemää videokuvaa lähetetään jollekin muulle katsottavaksi reaaliaikaisesti. (Vorraber et al. 2020) Laite voi olla kypärän tai lasien mallinen, ja siinä on näyttö käyttäjän silmien edessä. Lisätyn todellisuuden HMD-laitteet käyttävät yleensä OST-metodia näyttäessään kuvaa käyttäjälleen. Vorraberin et al. (2020) mukaan käyttäjä itse voi myös olla puhe ja kuulo yhteydessä muualle. Esimerkki HMD-laitteena toimii Microsoftin valmistamat HoloLens lasit.

Esimerkiksi HoloLensissä on neljä kameraa, jotka pystyvät tarkkailemaan ympäristöä lasien kummaltakin puolelta. Yksi näistä kameroista seuraa syvyyttä, kaksi näistä kameroista ovat HD videokameraa sekä yksi kamera tunnistaa valon. Yhdessä liiketilaa ja asentoa mittaavan laitteen kanssa (inertiaalimittausyksikkö (Pihlström 2013)) voidaan tuottaa ja käsitellä videodataa reaaliaikaisesti. Näiden ominaisuuksien pohjalta voi joko huoltohenkilö tai asiantuntija luoda 3D-objekteja näkyviin. Video voidaan pysäyttää ja siihen voidaan tehdä merkintöjä sekä 3D-objekteja, jotka voidaan edelleen liittää huoltohenkilön reaali maailmanäkymään. Objektit pysyvät siinä kohdassa, mihin ne ovat alkujaan luotu, eivätkä liiku esimerkiksi huoltohenkilön liikuttaessa päätänsä. (Vorraber et al. 2020)

Vorraberin et al. (2020) tutkimuksessa asiantuntija saa reaaliaikaista kuvaa huoltotyöntekijän HoloLens lasien kautta. Tähän videokuvaan asiantuntija voi tietokoneellaan luoda 3D merkintöjä ja lähettää ne huoltotyöntekijänsä nähtäväksi. Saman aikaisesti asiantuntija voi neuvoa huoltotyöntekijää, jolloin huoltotyöntekijällä on lisäksi kuulo-, ja puheyhteys asiantuntijaan. Vorraber et al. (2020) mukaan HoloLensin käyttöä huoltohenkilökunnan opastuksessa sekä perehdytyksessä on tutkittu muun muassa autoteollisuudessa. Vorraber et al. (2020) tutkimuksessa verrattiin huoltotöiden neuvomista HoloLenssin ja puhelimen välityksellä. HoloLens laseissa 3D-objektien piirtämiseen sekä kuulo- ja puheyhteyteen käytettiin Skypeä, jossa oli AR:n laajennettu sovellus. Tulokset saatiin haastatteluiden sekä videotallenteiden pohjalta tehtyjen analyysien avulla.

Tutkimukseen osallistuneilta huoltotyöntekijöiltä tehdyn kyselyn mukaan HoloLenssin kautta saatu neuvonanto oli tehokkaampi toimenpiteen suorittamiseen, kuin kännykän välityksellä saatu neuvonanto. HoloLensin visuaalisuuden avulla huoltohenkilökunnalle

ohjeiden saaminen oli selkeämpää ja he pystyivät noudattamaan niitä paremmin. Tutkimukseen osallistuneet asiantuntijat pitivät HoloLensin kautta neuvomista tehokkaampana kuin puhelimen välityksellä. (Vorraber et al. 2020) AR-laseissa etuna HHD-laitteisiin nähden voidaan pitää sitä, että lasien avulla huoltohenkilökunta pystyy käyttämään molempia käsiään, eikä heidän tarvitse pitää laitetta toisessa kädessään. Laite kulkee hyvin mukana, sen säilyttämisessä huoltotyön aikana ei ole ongelmia ja sen avulla voidaan visuaalisesti havainnoida työntekijälle, mitä hänen pitää tehdä.

Vorraber et al. (2020) mukaan HoloLens lasien kuitenkin kritisoitiin olevan liian suurikokoiset sekä painavat. Laitteissa myös näytön tarkkuutta arvioitiin hiukan huonommalla arvosanoilla kuin muita toimintoja. Ongelmia ilmeni meluisassa tehdasympäristössä kuulemisen suhteen sillä äänen voimakkuus ei ollut riittävää. Myös laitteen tietoturva oli asiantuntijoilla huolenaiheena. Laitteita ei pidetty täysin tietoturvallisina, jota niiden täytyisi olla koko opastuksen ajan. Tietoturvariskin lisäksi yhteys oli hetkittäin huono ja aiheutti ongelmia sekä hidasti huoltohenkilökunnan opastusta. Asiantuntijat arvelivat lasien olevan tehokkaampi työkalu neuvomiseen, mitä vaikeampi huoltotoimenpide on kyseessä. (Vorraber et al. 2020)

AR-lasien hinta on vielä korkealla, noin 1000–4500 euroa (VR Expert, 2021). Hinnan suuruus hidastaa vielä lasien laajempaa käyttöönottoa yritysmaailmassa. AR-lasit ovat silti potentiaalinen tuote tulevaisuuden neuvonantamisessa etänä. Niissä tärkein ominaisuus on se, että huoltohenkilöstöllä ovat kädet vapaana, laite kulkeutuu helposti mukana ja se ei rajoita näkökykyä tai liikkuvuutta. Tällä hetkellä lasit sopivat vain kohtalaisesti huollon toimiin, koska niissä on vielä useampaa kehitettävää ominaisuutta. Tulevaisuuden tilanteessa AR-lasit pystyisivät viestimään käyttäjälleen, missä huoltotoimia tarvitaan. Tähän tarvittaisiin tekoälyä lisäksi. Tekoälyn avulla laitteet olisivat itsenäisempiä huoltohenkilökunnan neuvomisessa eikä etäyhteyttä asiantuntijoihin välttämättä tarvitsisi.

Päähän asetettava VST-näyttö on ulkonäöltään hyvin samanlainen kuin edellisissä kappaleissa käsitelty HoloLens. Tässä ratkaisussa laite puetaan käyttäjän päälle niin, että se peittää käyttäjän silmät. Käyttäjä näkee todellisen maailman laitteen kameran kautta. Tähän videokuvaan voidaan lisätä virtuaaliset objektit. VST-metodiikka vaatii tarkan kameran, koska käyttäjän näköyhteys todelliseen maailmaan tapahtuu kameran välityksellä. Caruson & Cuginin (2009) mukaan lisätyn todellisuuden VST-näyttöjä ei ole vielä paljoa kaupallisessa käytössä. Kameran tarkkuutta ei ole saatu yhtä tarkaksi kuin ihmisen silmä, mikä hankaloittaa VST-näyttöjen käyttöä.

3.2 Kädessä pidettävät laitteet

Palmarini et al. (2018) mukaan tabletit sekä älypuhelimet voidaan jaotella AR-pohjaisiin käsissä pidettäviin laitteisiin. HHD-laitteissa käytetään hyväksi laitteen omaa kameraa sekä näyttöä. Näytölle voidaan liittää virtuaalisia objekteja ohjeistamaan huoltotyöntekijää huoltotoimenpiteessä tai vastaavasti koulutuksen yhteydessä. Toisaalta asiantuntija tai muu vastaava voi neuvoa huoltotyöntekijää tabletin tai älypuhelimien avulla, piirtämällä objekteja, jotka sitten näkyvät huoltotyöntekijän näytöllä.

Webelin et al. (2013) tehdyssä tutkimuksessa vertailtiin AR-pohjaista koulutusta ja koulutusta videoiden avulla. Saavutettu taitotaso huoltotoimissa oli molemmissa ryhmissä melko sama. AR-pohjaisessa koulutuksessa osallistujat saivat tehdä halutun toimenpiteen kerran apunaan tabletti, jossa oli käytössä AR-pohjainen ohjeistus. Toinen ryhmä suoritti tehtävän seuraten videon esimerkkejä. Jos itse testissä ilmeni ongelmatilanteita, osallistujat saivat käyttää apunaan kirjaa, jossa oli kuvia työsuorituksen vaiheista.

Webelin et al. (2013) tutkimuksessa ryhmien välillä mitattiin harjoitteluun sekä testin suorittamiseen käytettyä aikaa, testissä tulleiden virheiden lukumäärää ja laatua. Ryhmien välillä merkittävin ero oli ratkaisemattomien virheiden määrässä. AR-pohjaisessa harjoittelussa ratkaisemattomien virheiden määrä oli huomattavasti pienempi kuin videon avulla harjoittelussa. Perinteisesti videoiden avulla harjoittelussa useat virheet jäivät siis ratkaisematta. Webelin et al. (2013) arvelevat tämän eron johtuvan perinteisesti harjoittelevien liiallisesta itseluottamuksesta ja ongelmaa voisi vähentää AR-pohjaisella harjoittelulla.

Hyvin samanlainen tutkimus tehtiin Sannan et al. (2015) toimesta. Tässä tutkimuksessa verrattiin AR-pohjaista HHD-laitteilla harjoittelua toiseen perinteiseen tapaan, jossa tehtävä oltiin kuvattu vaiheittain paperilla. Osallistujat olivat korkeakouluopiskelijoita eri tieteenaloilta. Tutkimustuloksia kerättiin muun muassa kyselyillä sekä mittaamalla virheiden määrää sekä kulunutta aikaa.

Sannan et al. (2015) tehdyn tutkimuksen tuloksista selvisi, että AR-pohjaisella HHD-laitteella harjoittelu vähensi myös virheiden määrää. Tehtävän suorittaminen vei enemmän aikaa verrattuna perinteiseen tapaan. Sannan et al. (2015) mukaan AR:n hyödyt ovat riippuvaisia testaajan taidoista. Heidän mukaansa AR:stä hyötyvät lähtökohtaisesti enemmän ne, joilla ei ole ennestään juurikaan ammattitaitoa. Ne huoltohenkilöt, joilta ammattitaitoa löytyy, kuluttavat mitä todennäköisemmin suuren osan ajasta HHD-laitteiden sekä AR-sovelluksen käytön harjoittelussa. Huomattavin muutos on kuitenkin virheiden määrän väheneminen AR-laitteen avulla. Sanna et al.

(2015) tehdyssä tutkimuksessa osallistujat kehuivat AR-ratkaisun video-ominaisuutta, jossa tehtävää toimenpidettä pystyi toistamaan useaan otteeseen.

HHD-laitteiden epäkäytännöllisin puoli on, että niiden täytyy olla tuettuna koko tehtävän ajan. Tämä hankaloittaa joitakin huoltotoimenpiteitä, koska käyttäjän on pidettävä laitetta kädessään. (Palmarini et al. 2018) Käyttäjän on kuitenkin laskettava laite kädestään huoltotyötä tehtäessä, jolloin sovelluksen pohjasta riippuen katoavat ohjeet toimenpiteeseen tai neuvonantajan näköyhteys laitteeseen. Kun tabletti tai älypuhelin on laskettu pois käsistä, ei sen kamera osoita kohtaan, johon ollaan tekemässä korjausta. Näin ollen se ei pysty neuvomaan käyttäjäänsä. Toisaalta laite voi olla tuettuna tilapäisesti tuen avulla. Tämä ei toisaalta sovellu kaikkiin huoltotoimenpiteisiin, joissa esimerkiksi tila on rajallinen tai toimenpide vaatii paljon liikkumista ja HHD-laitteen liikuttelua. Toisaalta halvimpien älypuhelimien ja tablettien kameroiden tarkkuus ja valotus ei aina ole riittävää, jos suoritetaan pienen osan korjaus tai toimenpide huonossa valaistuksessa. Koska HHD-laitteet käyttävät näytöissään VST-menetelmää, on videon laadun oltava tarpeeksi tarkka käyttäjälleen huoltotyön onnistumiseksi. Näiden vuoksi HHD-laitteet eivät ole täysin valmiita sellaisenaan huollon avuksi.

HHD-laitteiden helppo liikuteltavuus, koko, alhaisempi hinta (hinta noin. 100–2000€ (Verkkokauppa.com 2021)) kilpaileviin tuotteisiin nähden ja valmius ottaa AR-sovelluksia käyttöön tekevät laitteista kilpailukykyisen (Carmigniani et al. 2011). Älypuhelimet sekä tabletit ovat jo markkinoilla ja ovat mahdollisesti käyttäjilleen tutumpia kuin muut AR laiteratkaisut.

3.3 Läpinäkyvä paikallaan oleva näyttö

Läpinäkyvät paikallaan olevat näytöt eli projektorit ovat viimeinen AR-näyttöjen kolmesta laiteryhmästä. Büttnerin et al. (2020) tekemässä tutkimuksessa tutkittiin, kuinka hyvin AR-projektorien avulla pystyttiin harjoittelemaan kokoonpanotehtäviä verrattuna perinteiseen paperipohjaiseen oppimiseen sekä henkilökohtaiseen opetukseen. Tutkimuksessa verrattiin kolmen eri ryhmän suoriutumista lopullisesta testistä, kun he olivat saaneet harjoitella tehtävää jollain edellä mainitusta metodista.

Büttnerin et al. (2020) tekemässä tutkimuksessa osallistujat saivat harjoitella arvioitavaa toimenpidettä kahdella eri harjoittelukerralla ja peräkkäisinä päivinä. Arvioinnit järjestettiin heti ensimmäisenä päivänä harjoittelukertojen jälkeen sekä seitsämän päivää ensimmäisestä harjoittelukerrasta. Arviointi perustui siihen, kuinka hyvin osallistujat suorittivat harjoittelun toimenpiteen ilman apua sekä osallistujien vastaamiin kysymyksiin tutkimuksesta. Büttnerin et al. (2020) tutkimuksessa mitattiin osallistujien

harjoitteluun käytettyä aikaa, arvioiduissa testissä tehtyjä virheiden lukumäärää, kirjallisen kokeen tuloksia sekä harjoittelukertojen lukumäärää. Harjoittelukertojen lukumäärä kasvoi sitä mukaan, mitä enemmän harjoittellessa tehtiin virheitä.

Büttnerin et al (2020) tutkimus osoitti, että suurimmat erot harjoittelussa tulivat toisena päivänä. Henkilökohtaisessa opetuksessa keskiarvoltaan harjoittelukertojen lukumäärä oli huomattavasti pienempi kuin muissa. AR harjoittelussa harjoituskierroksia tehtiin keskiarvolta yli kolme kertaa enemmän ja paperipohjaisessa harjoittelussa vielä enemmän. Sama järjestys oli harjoitteluajassa. Henkilökohtaisessa opetuksessa harjoittelu-aika oli keskiarvoltaan huomattavasti lyhyempi kuin muissa ja paperipohjaisessa oppimisessa harjoittelu-aika oli pisin. Büttnerin et al (2020) tutkimuksessa heti toisen harjoittelupäivän jälkeisessä arviotavassa testissä tulleiden virheiden määrät erosivat ryhmien välillä. Henkilökohtaisessa opetuksessa olleella ryhmällä virheitä ei tullut ollenkaan, kun taas AR-harjoittelussa olleilla tuli keskiarvoltaan eniten virheitä. Seitsämän päivää ensimmäisestä harjoittelukerrasta olleessa testissä AR-harjoittelussa olleet tekivät vähiten virheitä verrattuna muihin mutta ero ei ollut suuri. Lopullisessa kirjallisessa testissä ryhmien välillä ei ollut suurta eroa. (Büttner et al. 2020)

Büttnerin et al. (2020) tutkimuksesta käy ilmi, että kokoonpanotehtävien harjoittelu AR-projektoreilla ei ole virheettömämpää eikä nopeampaa verrattuna henkilökohtaiseen opetukseen tai paperin avulla opetteluun. Syyt voivat selittyä sillä, että AR-pohjaisten projektoreiden käyttö ei ole käyttäjilleen tuttua. Büttnerin et al. (2020) tutkimuksessa videoprojisointia käytettiin kokoonpanotehtävän neuvomisessa. Kun samaa laitteistoa käytettäisiin vastaavasti huollon ja kunnossapidon tehtävissä, tulisi ongelmia laitteen huonon liikuteltavuuden ja vaikean asennettavuuden kanssa. Huollon toimissa projektori olisi asetettava siten, ettei tehtävää tehdessä tai harjoitellessa peitä projektorin heijastusta tai laitteita on oltava useampi. Laite pitäisi joka kerta kohdentaa oikein, että halutut objektit näkyisivät huollettavan laitteen oikeassa kohdassa. Laite ei myöskään sovi ahtaisiin tiloihin, koska tarvitsee tietyn etäisyyden kohdentaakseen objektit todelliseen ympäristöön oikein. Tämän AR-laitteen kanssa suurin osa ajasta meni itse laitteen asentamiseen ja näin ollen huoltotyö ei olisi ainakaan nopeampaa. Laite on myös vaikea siirrettävä ja niiden hinta on välillä 400–2000 euroa kappaleelta (Verkkokauppa.com, 2021). Tämän vuoksi projektorit eivät sovellu yleisesti huollon tehtäviin.

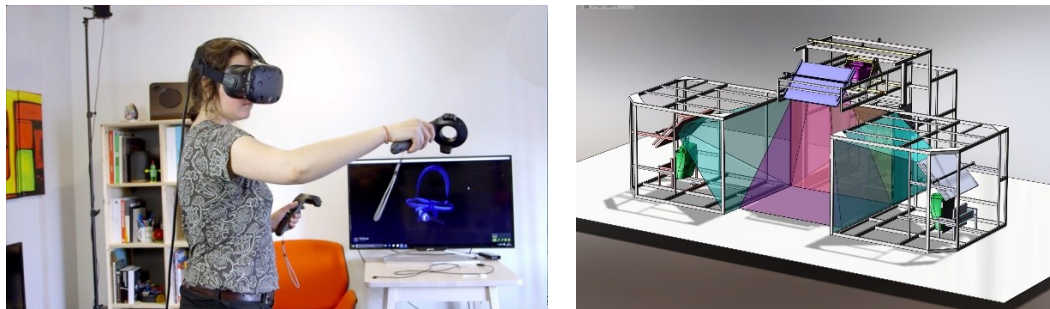
Toisaalta videoprojektorin avulla helpoissa huoltotoimissa voitaisiin esimerkiksi hahmotella oikea asennuskohta sekä sen koko. Projektorit sopisivat ryhmässä tehtäviin toimenpiteisiin, koska projisoidut objektit näkyisivät kaikille samalla tavalla, eikä vain

yksittäisille henkilöille. Projektorit sopivat paremmin pieniin asennus tehtäviin, joissa ollaan paikallaan. Tällöin laitta ei tarvitse liikutella tai kohdentaa useita kertoja.

4. VIRTUAALISEN TODELLISUUDEN LAITTEITA

Virtuaalisen todellisuuden laitteiden avulla huoltohenkilökunnalla on mahdollisuus päästä harjoittelemaan käytännössä erilaisia huoltotoimenpiteitä turvallisessa ympäristössä. Näiden laitteiden avulla pyritään tarjoamaan käyttäjälle mahdollisimman todenmukainen huoltotilanne, jossa voidaan harjoitella tai kerrata jotakin toimenpidettä, jota reaali maailmassa tehdään vain harvoin. Virtuaalisen todellisuuden sekä sen laitteiden avulla voitaisiin kouluttaa entistä ammattitaitoisempaa henkilökuntaa turvallisessa ympäristössä.

Virtuaalinen todellisuus vaatii täysin tietokoneella mallinnetun ympäristön toimiakseen. Haasteena tähän on luoda mahdollisimman todentuntuinen ympäristö, jossa käyttäjät voisivat turvallisesti harjoitella erilaisia toimenpiteitä. Virtuaalisen maailman sekä toimenpiteiden mallintaminen vaatii aikaa ja tarkkuutta, jotta siitä saadaan todentuntuinen ja toimiva ympäristö. Mallintamiseen käytettäviä ohjelmistoja on useita erilaisia. Tässä työssä keskitytään kuitenkin laiteryhmiin näyttöihin, joita ovat päähän asetettava näyttö, virtuaalisen todellisuuden huone ja työpöytä (Kuva 3).



Kuva 3. Vas. päähän asetettava näyttö (Harris 2018) ja oik. virtuaalinen huone (V-Rtifacts 2009).

4.1 Pähän asetettava näyttö

Pelimaailmasta tunnetuin VR-laite on päähän puettavat VR-lasit, jotka peittävät käyttäjän koko näkökentän. VR-laseista aukeaa käyttäjälle näkyvyys virtuaalimaailmaan. Immersion tunnetta tehostetaan äänimaailmalla, liikettä seuraavilla laitteilla sekä haptisilla ominaisuuksilla. VR-laseja pidetään täysin immersiiivisenä laitteena.

Numfun et al. (2020) tekemässä tutkimuksessa insinööriopiskelijoita pyydettiin suorittamaan huoltotoimiin kuuluva toimenpide, jossa tarkoituksena oli purkaa vaihdelaatikko. Tehtävä suoritettiin virtuaalisen maailman HMD-lasien avulla ja liikkeen tunnistus Leap Motion Controllerin (LMC) avulla. Tutkimuksen tarkoituksena oli osoittaa virtuaalisen maailman käytettävyyden hyötyjä huollon ja kunnossapidon koulutuksessa. (Numfu et al. 2020)

Numfun et al. (2020) mukaan tutkimukseen osallistujat pitivät VR-laseista. Osallistujien mielestä lasit olivat helppokäyttöisiä ja joustavia. HMD-laitteessa etuna on näkökentän laajuus verrattuna esimerkiksi pelkkään tietokoneen näyttöön. Käyttäjä pystyy päättämään kääntämällä vaihtamaan näkymää. Immersion tunne on VR-laseissa todellisempi verrattuna esimerkiksi tietokoneen näyttöön. Numfun et al. (2020) tutkimuksessa selvisi, että yli puolet osallistujista olivat täysin keskittyneitä virtuaaliseen ympäristöön toimenpiteen aikana sekä tunsivat uppoutuneensa siihen. Osallistujat olivat sitä mieltä, että lasien ja virtuaalisen ympäristön avulla oppiminen oli helppoa. Toisaalta Numfun et al. (2020) tutkimukseen osallistuneet olivat keski-ikäisiä 21-vuotiaita, jolloin heille teknisten laitteiden käytön opettelu saattaa olla helpompaa.

Numfun et al. (2020) mukaan tutkimus osoitti, että osallistujat olivat liian itsevarmoja tehtävää suorittaessaan. Syy liikaan itsevarmuuteen epäiltiin johtuvan virtuaalisen ympäristön turvallisuudesta. Kun tiedetään ettei mitään voi sattua, ei olla yhtä varovaisia kuin oikean maailman tilanteissa. (Numfu et al. 2020) Tämä voi johtaa samalla liikaan itsevarmuuteen ja vaaratilanteisiin oikean maailman huoltotöissä. Jos harjoittelu ei ole tarpeeksi realistista, voivat harjoittelijat saada vaarallisen paljon itseluottamusta tehtävään. Virtuaalista maailmaa täytyisi saada vastaamaan enemmän oikean maailman tilanteita, jolloin vaaratilanteista annettaisiin käyttäjälle varoitus esimerkiksi haptisella ominaisuudella tai näkökenttään ilmestyvällä varoituksella. Jos virtuaalimaailmaan saadan tarpeeksi varoituksia vaaratilanteista, tulisi harjoittelusta todenmukaisempaa.

VR-lasit ovat edelleen melko uusi keksintö ja niiden hinta on vielä melko korkea. Lasien hinta on ominaisuuksista riippuen välillä 100-7500 euroa (VR Expert 2021).

Numfun et al. (2020) tutkimukseen osallistuvien kyselystä kuitenkin selvisi, että VR lasien käytön jälkeen osa kärsi fyysisestä ja visuaalisesta (visual tiredness) väsymyksestä sekä päänsärystä. Näistä oireista osittain kärsivät yli puolet Numfun et al. (2020) tutkimukseen osallistuneista. Tämä on lasien merkittävimpiä haittapuolia, koska huoltotöiden harjoittelua ei tällöin voida yhtäjaksoisesti jatkaa pitkään. Joillakin voivat oireet olla niin epämiellyttäviä, ettei HMD-laitteilla harjoittelu ole mahdollista.

4.2 Virtuaalisen todellisuuden huone

Virtuaalinen todellisuus voidaan näyttää käyttäjälleen projektoreiden avulla siihen tarkoitettussa tilassa. Tällaista täysin immersivistä ratkaisua kutsutaan VR-huoneeksi (engl. CAVE). VR-huone on melko pieni tila, jonka seinille, lattiaan ja kattoon heijastetaan virtuaalinen maailma projektoreiden avulla. Käyttäjä tarvitsee yllään haptisen ominaisuuden, jotta voi vuorovaikuttaa ympäristönsä kanssa ja saada haptista palautetta tekemisestään. Liikkeen seurantaan voidaan käyttää outside-in tai inside-out metodia. Käyttäjällä on yleensä yllään myös lasit, joiden avulla käyttäjä voi nähdä itsensä ja ympäristön yhdistettynä todenmukaisesti (Plepys 1993). Virtuaalinen huone on kallis ratkaisu verrattuna muihin VR-laitteisiin. Kun otetaan mukaan kaikki laitteet, jota VR-huoneeseen tarvitaan, on sen hinta 50 000 eurosta ylöspäin (Arcane Technologies 2021).

VR-huoneessa voidaan harjoitella huoltotöiden tekemistä, kuten VR-lasien kanssa. VR-huoneessa voi olla enemmän kuin yksi käyttäjä samaan aikaan ja kaikki huoneessa olijat voivat nähdä saman. Kaikki käyttäjät kuitenkin tarvitsevat vuorovaikuttamiseen sopivan laitteen, kuten ohjaimen ja pään seurantaan tarkoitetut lasit. Useamman käyttäjän vuorovaikutus vaatii myös tarkempaa kuvaa sekä sovelluksen nopeaa reagointia (Curz-Neira et al. 1992). Virtuaalisen huoneen avulla voidaan luoda käyttäjälle mahdollisimman todentuntuinen tilanne. Tästä on hyötyä esimerkiksi huoltotöiden harjoittelussa. Käyttäjä saa palautetta tekemästään ja opettelee sen mukaan uusien toimenpiteiden tekemistä turvallisesti. Virtuaalinen huone vastaa lähes VR-laseja. Erona on näyttö, jolta virtuaalinen maailma näytetään.

VR-huoneen sekä sen vuorovaikuttamiseen tarvittavien laitteiden käyttö vaatii perehdytystä. Siksi alkuun suurin osa ajasta voi mennä itse laitteen käytön opettelemiseen sekä virtuaalisessa ympäristössä toimimiseen. Yhtä lailla virtuaaliseen huoneeseen olisi saatava käyttäjälle mahdollisimman todenmukainen tilanne, sekä vaaratilanteen varoitukset. Numfu et al. (2020) osoittivat tutkimuksessaan, että käyttäjät tulivat liian itsevarmoiksi harjoitellessaan. Tämä johtui siitä, että käyttäjät tiesivät olevansa turvassa virtuaalisessa maailmassa. Vaaratilanteita voitaisiin myös virtuaalisessa huoneessa varoittaa esimerkiksi aistipalautteella tai ilmoittamalla vaaratilanteen vakavuudesta käyttäjän näkökenttään. Vaaratilanteesta voisi esimerkiksi kertoa, kuinka pahasti olisi voinut käydä, jotta saadaan käyttäjille todentuntuinen kuva tilanteesta.

4.3 Virtuaalisen todellisuuden työpöytä

VR-työpöytä (engl. Desktop, tietokoneen näyttö) on VR-pohjainen puoliksi immerstiivinen ratkaisu, jossa virtuaalinen maailma näytetään käyttäjälleen tietokoneen ruudun kautta. Tähän liitetään muita VR-laitteita, jotta yhdistelmästä saadaan vuorovaikutteinen. VR-työpöydän kanssa voidaan liittää käyttäjälle äänimaailma joko kuulokkeista tai kaiuttimista. Käsiohjaukseen käytetään liikkeen tunnistavia hanskoja sekä asiayhteyteen sopivaa ohjelmistoa.

Gavishin et al. (2015) tutkimuksen mukaan yllä kuvatun pelkän VR-työpöydän käyttöä huoltohenkilökunnan opetuksessa verrattiin opetusvideon katsomiseen sekä samanlaiseen AR-pohjaiseen ratkaisuun. Tutkimukseen osallistujat olivat teknikkoja, joilla oli ennestään kokemusta huoltotoimista. Heidän tehtävänä oli opetella toteuttamaan tekninen toimenpide, johon he saivat aluksi yhteisen ohjauksen. Tämän jälkeen he joko harjoittelivat tehtävää tietyn määrän VR-työpöydällä, AR-laitteilla tai katsomalla opetusvideota aiheesta. Kukaan ei ollut aikaisemmin tehnyt kyseistä tehtävää, joten se oli kaikille osallistujille oppimistapahtuma. Tämä tekninen toimenpide piti suorittaa perehdytyksen jälkeen. Ennen kokeen aloittamista ryhmä, joka toimi VR-työpöydän kanssa, perehdyttiin sen ominaisuuksiin. (Gavish et al. 2015)

Gavishin et al. (2015) tutkimustuloksia vertaillen ryhmä, joka oli yhteisen osuuden lisäksi harjoitellut VR-työpöydällä toimenpidettä, tarvitsi enemmän aikaa harjoitteluun kuin ne, jotka katsoivat opetusvideon. Kuitenkaan harjoitusajan ero ei joutanut suuriin eroavaisuuksiin itse testissä. Testissä virheiden määrä VR-työpöydällä harjoitelleilla ja opetusvideon katsoneilla ei poikennut toisistaan huomattavasti ja virheitä tehtiin hyvin vähän. (Gavish et al. 2015)

Osallitujilta tehdyssä kyselyssä selvisi, ettei VR-työpöytää pidetä yhtä pätevänä opetuksen kannalta kuin esimerkiksi AR-pohjaista opetusmetodia. VR-työpöydässä harjoittelu-aika oli huomattavasti pidempi, ja suurin aika meni itse järjestelmän käytön harjoitteluun kuin itse tehtävän tekemiseen. Tehtävän suorittamista pidettiin vaikeampana VR-työpöydällä kuin AR-laitteella. Virheistä ja niiden korjaamisesta suoriuduttiin lähes yhtä pätevästi molemmilla laitteistoilla. (Gavish et al. 2015) VR-laitteistoissa aikaa vieväksi ongelmaksi ilmenee käyttäjien perehdytys itse laitteisiin. Koska VR-laitteistot eivät ole vielä suuressa käytössä, täytyy niiden perehdyttämiseen käyttää aikaa. Gavish et al. (2015) tehdyssä tutkimuksessa kaikki VR-työpöytää käyttäneet suoriutuivat testissä ja kertoivat oppineensa jotakin. Ainoat ongelmat liittyivät laitteiston ja ohjelmiston käyttöön.

VR-työpöydässä ongelmana on sen rajoittunut näkökentän laajuus. Koska virtuaalisen todellisuuden näkymä näytetään tietokoneen ruudun kautta, ei sen näkymä seuraa käyttäjän pään liikkeitä. Tässä näkökentän ulottuvuus ei ole yhtä laaja verrattuna esimerkiksi VR-laseihin. Myös toimintasäde on riippuvainen liikkeentunnistuksen sekä haptisten käsineiden johtojen pituudesta. VR-työpöytä soveltuu esimerkiksi pienien asennuksien harjoitteluun. Huoltotöiden harjoittelua varten VR-työpöytä sekä haptiset käsineet sopivat vain rajatuissa toimissa, koska huoltotöiden ei voida olettaa aina olevan pienien osien kiinnitystä. VR-työpöytä soveltuukin paremmin juuri pienten kokoonpanotehtävien harjoitteluun, koska näyttö on paikallaan ja sen toimintasäde on rajoittunut.

4.4 Muut laitteet

Jotta käyttäjät voivat olla vuorovaikutuksessa virtuaalisen todellisuuden kanssa ja saada haptista palautetta, tarvitsevat he liikettä tunnistavia laitteita. Näiden avulla immersion ja läsnäolon tunteesta saadaan todellisempi. Tässä kappaleessa esitellään muutamia VR elekielen laitteita, jotka on jaettu selvyuden vuoksi kahteen eri taulukkoon (Taulukko 3 ja Taulukko 4). VR:n muihin laitteisiin ei tässä työssä keskitytä, sillä aihe on itsessään laaja. Elekielen tunnistavien laitteiden tarkastelusta on mainittu aiemmissa kappaleissa.

Taulukko 3.
kosketusnäyttö.

Muut VR-laitteet: Liikkeen seuranta kamera ja kapasitiivinen

Laite	Liikkeen seuranta kamera	Kapasitiivinen kosketusnäyttö
Seuranta	Outside-in	Inside-out
Laite esimerkkejä (Li et al. 2019)	Leap Motion Controller	iPhone, muut älylaitteet
Toiminta-periaate	Käyttäjän eleet tunnistetaan kameran tunnistusalueella. (Li et al. 2019)	Laite havaitsee käyttäjän kosketuksen anturien avulla ja muuntaa sen koordinaateiksi (Li et al. 2019).
Vahvuudet	Vähäinen laitevaatimus, alhainen kustannus, kerää liike tietoja (Li et al. 2019)	Pitkä käyttöikä, helppo kokoonpano ja monikosketus-tuki (Li et al. 2019).
Heikkoudet	Ulkoinen ympäristö rajoittaa, valaistus täytyy olla riittävä, ihonvärin tunnistus, peittävyys (Li et al. 2019) sekä rajattu liikkeentunnistus alue	Ei toimi, mikäli käyttäjällä on käsineet ja näytön lasi rikkoontuu helposti.

Taulukko 4.

Muut VR-laitteet: Haptinen käsine ja Inertiaalisensori.

Laite	Haptinen käsine	Inertiaalisensori
Seuranta	Inside-out	Inside-out
Laite esimerkkejä (Li et al. 2019)	Dexmo ja cyber Touch II	Gesture Wrist, Nintendo Wii ja HTC Vive Pro controller
Toiminta-periaate	Käyttäjä asettaa käsineen näköisen laitteen käteensä. Laite tunnistaa näin käyttäjän käsien liikkeit. (Li et al. 2019)	Koostuu kolmesta osasta: anturi, toimilaitte sekä eleiden keräys. Kiinnitetään yleensä käyttäjän ranteeseen tai käteen, josta se kerää käyttäjän liiketiedot. (Li et al. 2019)
Vahvuudet	Käyttäjä saa aistipalautetta käsittelemistään virtuaalisista kappaleista. Ympäristö ei vaikuta hankkan toimivuuteen	Ulkoinen ympäristö ei vaikuta toimivuuteen.
Heikkoudet	Korkeat kustannukset, monimutkainen valmistusprosessi. Kalibrointia tarvitaan usein. (Li et al. 2019)	Vaikea valmistettavuus, vaatii tarkat anturit.

5. TULEVAISUUDEN SUUNTIA

Laajennetun todellisuuden laitteiden käyttömahdollisuuksia teollisuudessa on tutkittu esimerkiksi eri yritysten toimesta. Tässä luvussa käydään läpi AR- ja VR-laitteiden jatkokehityksen ja -tutkimuksen kohteita huollon ja kunnossapidon näkökulmasta.

5.1 Lisätty todellisuus

AR-kehittäjien tulisi testata laitteita ja niiden ominaisuuksia itse tehdasympäristössä. Esimerkiksi laitteiden äänentoistoa sekä valaistusta pitäisi testata erilaisissa olosuhteissa, jotta saadaan parempaa tietoa niiden heikkouksista. Samalla AR-sovellusten ei tulisi rajoittaa tai lisätä tarvetta liikkuu. Näin saadaan mahdollisimman todennukainen tilanne esimerkiksi huoltotöitä harjoitellessa. (Fernando de Souza Cardoso et al. 2020)

Toisaalta on huomioitava aika, joka kuluu huoltohenkilökunnan opettamisessa AR-laitteiden käyttöön. Tulevaisuudessa AR-sovellukset ja laitteet voivat olla tunnetumpia

mutta tällä hetkellä niiden käytön opettelu vie aikaa. Jotta huoltotöiden opastuksesta etäyhteydellä saadaan mahdollisimman toimiva ratkaisu, on huoltohenkilökunnan ja neuvonantajien oltava tietoisia AR-laitteen sekä -sovelluksen käytöstä.

AR-laitteisiin ei ole löytynyt täysin sopivaa ratkaisua avuksi huoltotöihin. Laitteiden tulisi olla kevyitä ja ne eivät saisi rajoittaa käyttäjän näkökykyä tai liikkuvuutta (Fernando de Souza Cardoso et al. 2020). Laitteiden hinnan olisi oltava kohtuullinen sekä hyödyt pitäisivät tulla paremmin esille, jotta laitteet tulisivat yrityksille tutuimmiksi. Vaikka AR-lasit OST-näytöllä ovat potentiaalisin vaihtoehto huoltotöiden neuvomisessa etäyhteydellä, vaativat ne silti kehitystä ollakseen täysin toimiva ratkaisu.

AR-laitteiden ja sovelluksien avulla voisi tulevaisuudessa saada apua huollon ja kunnossapidon tehtäviin. Lisäämällä älykkäitä kunnossapitosovelluksia mukaan AR-laite voisi itsenäisemmin neuvoa käyttäjänsä tai olla apuna tehtaan korjauksen visualisoinnissa. AR-laite voisi myös avustavan tekoälyn avulla ehdottaa käyttäjälleen yksinkertaisista huoltorutiineista, joita tehdaskoneelle tulee suorittaa sekä antaa ohjeita tehtävän suorittamiseksi. (Valmet 2021) Toisaalta AR-laite voisi ilmoittaa käyttäjälle ennakoivasta huollon tarpeesta. Ennakoivaan huollontarpeeseen voisi kuulua tehdaskoneen tietyn kuluosan vaihto, ja esimerkiksi AR-laitteen avulla on mahdollista kertoa käyttäjälleen, missä kyseinen osa sijaitsee ja ohjeistaa, miten se vaihdetaan. Ennakoivan huollon avulla on mahdollista välttää tehdaskoneen pitkät seisokit.

5.2 Virtuaalinen todellisuus

Virtuaalisen todellisuuden laitteet ovat jo tutumpia pelimaailmasta. Niiden käyttöä ja ominaisuuksia tulisi tutkia enemmän. VR-laitteiden ja sovelluksen avulla voitaisiin tulevaisuudessa harjoitella todellisen maailman tilanteita turvallisesti ja mahdollisimman todenmukaisesti. Numfun et al. (2020) tutkimuksessa todettiin osallitujien olleen liian itsevarmoja VR-maailmassa ja sen takia VR-sovelluksia tulisi kehittää vielä todenmukaisemmaksi, jolloin vaaratilanteiden tunnistamista ja niihin reagointia saadaan harjoiteltua.

Tulevaisuutta varten VR:n hyötyjä tulisi arvioida tarkemmin. Käyttäjiä koulutettaessa, tulisi arvioida heidän suorituskykyään sekä oppimiskäyrää. Samalla tulisi tehdä laskelmaa kustannuksista, josta saadaan selville VR-laitteiden ja sovelluksien taloudellinen hyöty. (Karagannis et al. 2021) VR-laitteiden tulisi kehittyä samalla kevyemmiksi, helppokäyttöisemmiksi ja mukavemmiksi. Käyttäjien ei tulisi kokea

esimerkiksi huonovointisuutta käyttäessään laitteita. Näin ajallista harjoittelua virtuaalisessa maailmassa ei tarvitsisi rajoittaa.

6. YHTEENVETO

Työn tavoitteena on laatia kooste huollon ja kunnossapidon näkökulmasta, millaisessa vaiheessa virtuaalitekniologian laitteet ovat ja miten niitä voidaan hyödyntää. Työssä päästään tavoitteisiin mutta laajennettu todellisuus on käsitteenä laaja ja jatkuvasti kehittyvä. Sen takia se sopisi tarkempaan ja yksityiskohtaisempaan tutkimukseen. Tässä työssä on käytetty vain kirjallisia lähteitä mutta virtuaalitekniologian laitteiden syvällisemmässä tutkimuksessa olisi hyvä olla enemmän empiiristä tutkimusta. Työssä rajataan laajennetun todellisuuden laitteet laiteryhmiin, koska laitteita löytyy useita eri valmistajilta. Laiteryhmistä laaditaan tiivis katsaus, josta käy ilmi niiden tämänhetkiset vahvuudet ja kehitettävät puolet. Kehitettävien puolien lisäksi jatkotutkimusaiheena voisi olla laitteiden todellinen hyöty ajallisesti sekä rahallisesti verrattuna vanhoihin käytettyihin menetelmiin.

Tässä työssä laajennettu todellisuus pitää sisällään lisätyn, yhdistetyn ja virtuaalisen todellisuuden. Nämä kolme käsitettä määritellään tässä työssä Taulukon 5 mukaan.

Taulukko 5. *Laajennetun todellisuuden määritelmä.*

Todellisuus	Määritelmä
VR	Kolmiulotteinen, interaktiivinen ja yleensä kokonaan tietokoneella luotu ympäristö, jonka käyttäjä havaitsee kuin se olisi todellinen ympäristö. Käyttäjä saa suoraa aistipalautetta, voi olla vuorovaikutuksessa ympäristönsä kanssa ja hänelle ilmenee läsnäolon ja immersion tunteita. Immersio voidaan jakaa kolmeen luokkaan: immersiiiviton, puoliksi immersiiivinen ja täysin immersiiivinen virtuaalitodellisuus.
AR	Virtuaalista sisältöä lisätään todelliseen ympäristöön, jolloin käyttäjä näkee todellisen ympäristön sekä siihen lisätyn virtuaalisen sisällön. Lisätyn todellisuuden on täytettävä kolme perusperiaatetta: Sen on oltava yhdistelmä todellista sekä virtuaalista maailmaa, oltava reaaliaikaisessa vuorovaikutuksessa ja oltava kolmiulotteinen.
MR	Ihmisen aistima todellisuus sekä keinotekoinen, tietokoneella luotu todellisuus yhdistyvät. MR:ssä on sekä AR:n, että VR:n ominaisuuksia. Virtuaalisia objekteja voidaan käsitellä kuten VR-maailmassa. Käyttäjä on vuorovaikutuksessa sekä virtuaalisen että todellisen maailman kanssa.

AR- ja VR-laiteryhmien soveltuvuutta tarkasteltiin huollon ja kunnossapidon koulutuksen sekä etäyhteydellä toimivan reaaliaikaisen opastuksen näkökulmasta. Taulukossa 6 tiivistettynä laiteryhvät, niiden laajennetun todellisuuden jaottelu, vahvuudet ja kehityskohteet.

Taulukko 6. *Laiteryhmät ja niiden ominaisuudet.*

Laite-ryhmä	AR/ VR/ MR	Vahvuudet	Kehityskohteet
HMD	AR/ MR	Kädet vapaana, ei rajoita näkökykyä ja helppo liikuteltavuus	Painava, melko kallis, matala äänenvoimakkuus ja tietoturva epävarmaa
HHD	AR	Alhaisempi hinta, valmius AR-sovelluksiin ja helppo liikuteltavuus	Rajoittunut näkökenttä, heikko kameran tarkkuus ja tarvitsee tuentaa
Projektor	AR	Ryhmätyöskentely mahdollista	Vaikea liikuteltavuus, rajattu näkökenttä ja aikaavievä laitteen asennus ja kohdennus
CAVE	VR	Näkökentän laajuus, immersion tunne todellinen ja yhteistyö mahdollista	Täytyy saada vastaamaan todellisen maailman tilanteita, kallis, käytön opettelu vie aikaa
Työpöytä	VR	Melko edullinen ja sopii pienien asennuksien harjoitteluun	Rajallinen toimintasäde, hankala laitteiston ja ohjelmiston käyttö
HMD	VR	Näkökentän laajuus, immersion tunne, helppokäyttöisyys ja seurantaominaisuudet	Huonovointisuus, ei vastannut todellisen maailman tilanteita

Yhteenvetona laitteet vaativat vielä tarkempaa jatkokehitystä sekä tutkimusta, koska niiden ulkomuodoissa ja ominaisuuksissa on puutteita. Tulevaisuudessa laajennetun todellisuuden VR-laitteilla on mahdollista saada todenmukaisempaa ja turvallista harjoittelua. AR-laitteilla on mahdollista neuvoa etäyhteydellä huoltohenkilökuntaa. Laitteista voitaisiin saada itsenäisempiä lisäämällä älykkään kunnossapitosovelluksen osaksi laitteen järjestelmää. Näin tehdaskone ja AR-laitteet pystyisivät viestimään keskenään esimerkiksi huollon tarpeesta, ennakoida huollon tarvetta ja paikantaa huollon tarpeessa oleva osa. Lopuksi huoltohenkilökunta saisi ohjeita tehdaslaitteeseen tehtävästä huollosta.

LÄHTEET

- Ababsa, F. (2020). Augmented Reality Application in Manufacturing Industry: Maintenance and Non-destructive Testing (NDT) Use Cases. Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics. AVR 2020. Lecture Notes in Computer Science, Vol.12243, pp. 333–344.
- Arcane Technologies. (2021). Saatavissa (viitattu 25.11.2021): <https://arcanetech.io/produit/vr-cave/>
- Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments. Vol.6 (4), pp. 355–358.
- Azuma, R., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S. & Macintyre B. (2001). Recent advantages in augmented reality. IEEE Computer Graphics and Applications. Vol.21, pp. 1–27.
- Büttner, S., Prilla, M. & Röcker, C. (2020). Augmented Reality Training for Industrial Assembly Work – Are Projection-based AR Assistive Systems an Appropriate Tool for Assembly Training? CHI '20: Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. pp. 1–12.
- Carmigniani, J., Furht, B., Anisetti, M., Ceravolo, P., Damiani, E. & Ivkovic, M. (2011). Augmented reality technologies, systems and applications. Multimedia Tools and Applications. Vol.51, pp. 341–377.
- Caruco, C. & Cugini, U. (2009). Augmented Reality See-through HMD Oriented to Product Design Assessment. Virtual and Mixed Reality LNCS. Vol.5622, pp.532–541.
- Curz-Neira, C., Sandin, D. J., DeFanti, T. A., Kenyon R. V. & Hart, J. C. (1993). The CAVE: Audio Visual Experience Automatic Virtual Environment. Communications of the ACM. Vol.35(6), pp. 64–72.
- European Union Agency for the Space Programme. (2021). What is GNSS? Päivitetty 03.12.2021. Saatavissa (viitattu 13.12.2021): <https://www.euspa.europa.eu/european-space/eu-space-programme/what-gnss>
- Feiner, S. K. (2002). Augmented Reality: A New Way of Seeing. Scientific American, Vol.286(4), pp. 48–55.
- Fernando de Souza Cardoso, L., Martins Queiroz Mariano, F. C. & Roberto Zorzal, E. (2020). A survey of industrial augmented reality. Computers & Industrial Engineering. Vol.139.
- Gavish, N., Gutiérrez, T., Webel, S., Rodríguez, J., Peveri, M., Bockholt, U. & Tecchia, F. (2015). Evaluating virtual reality and augmented reality training for industrial maintenance and assembly tasks. Interactive Learning Environments. Vol.23(6), pp. 778–798.
- Guo, Z., Zhou, D., Zhou, Q., Zhang, X., Geng, J., Zeng, S., Lv, C. & Hao, A. (2019). Applications of virtual reality in maintenance during the industrial product

- lifestyle: A systematic review. *Journal of Manufacturing Systems*. Vol.56, pp. 525–538.
- Gupton, N. (2017). What's the difference between AR, VR and MR? Päivitetty Kiger Patrick J. 6.1.2020. Saatavissa (viitattu 21.10.2021): <https://www.fi.edu/difference-between-ar-vr-and-mr>
- Harris, M. (2018). 7 best tools for painting, 3D modelling and sculpting in VR. *DigitalArts*. Päivitetty 7.9.2018. Saatavissa (viitattu 16.12.2021): <https://www.digitalartsonline.co.uk/features/hacking-maker/7-best-tools-for-painting-3d-modelling-sculpting-in-vr/>
- Helsingin yliopisto (2018). Teknologiateollisuus. Päivitetty 7.12.2018. Saatavissa (viitattu 21.10.2021): <https://www2.helsinki.fi/fi/tutkimusryhmat/mixed-reality-hub/teknologiateollisuus#section-63566>
- Juraschek, M., Büth, L., Posselt, G. & Herrmann, C. (2018). Mixed Reality in Learning Factories. *Procedia Manufacturing*. Vol.23, pp. 153–158.
- Kaminsky, G. (2019). The Difference Between Augmented, Mixed, and Virtual Reality Explains. *PTC*. Päivitetty 26.8.2019. Saatavissa (viitattu 16.12.2021): <https://www.ptc.com/en/blogs/ar/differences-between-augmented-mixed-and-virtual-reality>
- Kaminsky, G. (2019). Using Immersive AR Experiences for Training and Microlearning. *PTC*. Päivitetty 3.12.2019. Saatavissa (viitattu 16.12.2021): <https://www.ptc.com/en/blogs/ar/augmented-reality-for-training-and-microlearning>
- Karagiannis, P., Togias, T., Michalos, G. & Makris, S. (2021). Operators Training Using Simulation And VR Technology. *Procedia CIRP*. Vol.96, pp. 290–294
- Khan D., Ullah, S. & Rabbi, I. (2015). Factors affecting the design and tracking of ARToolKit markers. *Computer Standards & Interfaces*. Vol.41, pp. 56–66.
- Langfinger, L., Schneider, M., Stricker, D. & Schotten, H.D. (2017). Addressing security challenges in industrial augmented reality systems. *15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*. pp. 299–304.
- Li, Y., Huang, J., Tian, F., Wang, H. & DAI, G. (2019). Gesture interaction in virtual reality. *Virtual Reality & Intelligent Hardware*. Vol.1(1), pp.84–112
- Lima, J., Roberto, R., Simões, F., Almeida, M., Figueiredo, L., Texera, J. M. & Teichrieb, V. (2017) Markerless tracking system for augmented reality in the automotive industry. *Expert Systems with Applications*. Vol.82, pp. 100–114.
- Mandal, S. (2013). Brief Introduction of Virtual Reality & its Challenges. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. Vol.4(4), pp. 304–309.
- Milman, N. B. (2018). Defining and Conceptualizing Mixed Reality, Augmented Reality, and Virtual Reality. *Distance Learning*. Vol.15(2), pp. 55–58.
- Mjuber, T.S., Szecsi, T. & Hashmi, M.S.J (2004). Virtual reality applications in manufacturing process simulation. *Journal of Materials Processing Technology*. Vol.155–156, pp. 1834–1838.

- Numfu, M., Riel, A. & Noel, F. (2020). Virtual Reality Technology for Maintenance Training. Applied Science and Engineering Progress. Vol.13(3), pp. 274–282.
- Palmarini, R., Erkoyuncu, J. A., Roy, R. & Torabmostaedi, H. (2018). A systematic review of augmented reality applications in maintenance. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. Vol.49, pp. 215–228.
- Phillips, D. (2019). A new (and virtual) reality for maintenance. Machine Design. Päivitetty 9.9.2021. Saatavissa (viitattu 26.10.2021): <https://www.proquest.com/docview/2303020494/abstract/131013279C694E4BPQ/1?accountid=14242>
- Pihlström, T. (2013). Langaton Inertiamittausyksikkö. Diplomityö Tampereen teknillinen yliopisto.
- Plepys, D. (1993). CAVE® - A Virtual Reality Theater - 1993. Youtube. Päivitetty 2008. Saatavissa (viitattu 16.12.2021): <https://www.youtube.com/watch?v=-Sf6bJjwSCE&t=3s>
- Pöysäri, S. (2021). Johdanto tuotantotekniikkaan. Tampereen yliopisto. Saatavissa (viitattu 29.10.2021): [19 MEI-50400 Virtuaalitodellisuus 2021 \(1\).pdf](19_MEI-50400_Virtuaalitodellisuus_2021_(1).pdf)
- Salonen, J. (2020). Lisätyn todellisuuden käyttäjäkokemus ja vuorovaikutustavat oppimisessa. Tampereen yliopisto.
- Sanna, A., Manuri, F., Lamberti, F., Paravati, G. & Pezzolla, P. (2015). Using handheld devices to support augmented reality-based maintenance and assembly tasks. IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE). pp. 178–179.
- Siltanen, S. (2012). Theory and applications of marker-based augmented reality. VTT Technical Research Centre of Finland.
- Valmet (2021). Shaping the industrial world virtually. Saatavissa (viitattu 22.12.2021): <https://www.valmet.com/media/articles/automation/shaping-the-industrial-world-virtually/>
- Verkkokauppa.com Oyj. (2021). Saatavissa (viitattu 25.11.2021): <https://www.verkkokauppa.com/fi/etusivu>
- Vorraber, W., Gasser, J., Webb, H., Neubacher, D. & Url, P. (2020). Assessing augmented reality in production: remote-assisted maintenance with HoloLens. Procedia CIRP Vol.88, pp. 139–144.
- VR Expert. (2021). Saatavissa (viitattu 25.11.2021): <https://vr-expert.com/>
- V-Rtifacts. (2009). CAVE® - A Virtual Reality Theater - 1993. Saatavissa (viitattu 16.12.2021): <https://vrtifacts.com/cave%C2%AE-a-virtual-reality-theater-1993/>
- Webel, S., Bockholt, U., Engelke, T., Gavish, N., Olbrich, M. & Preusche, C. (2013). An augmented reality training platform for assembly and maintenance skills. Robotics and Autonomous Systems. Vol.61(4), pp. 398–403.