

Anni Linturi, Risto Linturi

Virtuaalitekniikka etäneuvonnassa

Asennuksen, kunnossapidon ja kenttähuollon VR/AR -
palveluhankkeen loppuraportti - versio 0.9

Sisällys

1	Johdanto	4
2	Taustoitus osaamisvajeen merkitykseen huolto-, kunnossapito- ja asennustoiminnassa	6
3	VR-laitteet	8
3.1	Katsaus muutamiin sovellusalueisiin ja markkinakehitykseen	10
3.2	Toimintaperiaatteet	13
3.3	Katsaus VR-laitteisiin	17
3.3.1	Oculus -perhe	17
3.3.2	HTC Vive	20
3.3.3	Windows Mixed Reality -laitteet	22
3.3.4	Google Daydream -perhe	24
4	AR-laitteet	25
4.1	Katsaus muutamiin sovellusalueisiin ja markkinakehitykseen	27
4.2	Toimintaperiaatteet	29
4.3	Katsaus AR-laitteisiin	32
4.3.1	HoloLens	33
4.3.2	Meta 2	35
4.3.3	ODG R-9	36
4.3.4	Magic Leap sekä muut AR-lasit ja odotettavissa olevat julkistukset	38
4.3.5	Muut merkittävät AR-lasit	40
5	Osoitustekniikat	41
6	Virtuaalinen etäneuvontaratkaisu	44
6.1	Konseptin yleinen esittely	45
6.2	Mahdollisia käyttökohteita	49
6.3	Ongelmakohdat	52
6.3.1	Yleiseen käyttömukavuuteen liittyviä ongelmakohtia	52
6.3.2	Havaintokykyyn liittyviä ongelmakohtia	53
6.3.3	Konseptiin liittyviä erityisongelmia	55
6.3.4	Virtuaalimaailman luonnin teho-ongelmat	57
6.4	Osittaisratkaisut	57

6.5	Pilotointilaitteiston valinta ja keskeiset kysymykset	63
7	Yhteenveto	67
	Lähteet	69

1 Johdanto

Huolto-, kunnossapito- ja asennustyö sisältävät monia asiantuntemusta vaativia tehtäviä. Mikäli työn suorittaja tarvitsee tehtäviensä suorittamiseen asiantuntijan opastusta, vähentävät etäneuvonnan ratkaisut matkustamiseen liittyviä kustannuksia. Virtuaalitodellisuuden uudet teknologiat voivat helpottaa etäneuvontaa olennaisesti.

Virtuaalitodellisuuden ja laajennetun todellisuuden teknologioiden (VR- ja AR-teknologioiden) merkityksen on arvioitu kasvavan nopeasti, ja niihin on kohdistunut paljon yleistä mielenkiintoa (Digi-Capital 2017). Molemmat teknologiat tarjoavat runsaasti uusia mahdollisuuksia viestimiseen.

Huolto- ja kunnossapitotoiminnalla on laaja yhteiskunnallinen merkitys. Kunnossapidon yhtenä tärkeänä menestystekijänä pidetään osaamista. (Kunnossapitoyhdistys ry n.d.) Osaamistarpeen ja osaamisen kehittämisen ongelmiin voidaan kehittää ratkaisuja uusien viestintämuotojen avulla. Erityisesti etäneuvonta vaikuttaa lupaavalta kehityskohteelta kunnossapitotoiminnan kehittämisessä. Tästä selvityshankkeesta hyötyvät erityisesti huolto- ja kunnossapitotoiminnan sekä etäneuvonnan kehittäjät.

Hanke on osa hallituksen Kiradigi -kärkiohjelmaa ja sen vastuullisena toteuttajana on Sovelto täysin omistamansa kehitysyhtiön Soveltamon kautta. Hankkeeseen ovat kokeilijoina ja seuraajina osallistuneet Delete Finland Oy, Helen Oy, Helsingin yliopiston kiinteistöpalvelut Oy, Kemira Oyj, Maintpartner Oy, RTK-Palvelu Oy, Skanska Oy ja Suomenlinnan hoitokunta. Hanketta ovat osaamisellaan tukeneet HP Finland Oy, Kunnossapitoyhdistys Promaint ry, Microsoft Oy, Rakli ry ja Trimble Finland Oy.

Työn lähtökohtana on ollut Sovelto Oyj:n ideoima ja Anni Linturin Metropolian opinäytetyöksi laatima esiselvitys huolto- ja asennustoiminnan etäneuvonnan konseptista, johon ei kirjoitushetkellä ollut saatavilla valmiita ratkaisuja. Tämä raportti pohjautuu sekä esiselvitykseen että sen jälkeiseen hankkeessa tehtyyn selvitys- ja kehitystyöhön. Esiselvityksen teksti sisältyy tähän sellaisenaan soveltuvin osin

Esiselvitys perustui saatavilla olevaan kirjalliseen materiaaliin, jonka jälkeen hankkeessa on tehty laajasti käytännön kokeiluja.

Hanke ja sen pohjana oleva esiselvitys perustuvat teknistaloudellisen tuottavuuden ja vaikuttavuuden ajattelumalliin, jota on kuvattu Tekesin Palvelut ja tuottavuus -teknologia-katsauksessa, jossa myös korostetaan näiden merkitystä palveluiden kehittämiseen (Brax 2007). Kehitettyä etäneuvonnan konseptia ja sen osittaisratkaisuja tarkastellaan tuottavuuden näkökulmasta, jotta asetetut reunaehdot laitteiston valinnalle olisivat yhteensopiva konseptin kanssa. Esiselvitys painottui yleiseen laitetekniseen tarkasteluun ja konseptin pilotointiin soveltuvan laitteiston valintaan. Hankkeessa itsessään on laitekokeilujen lisäksi painotettu ohjelmistojen ja käyttötilanteiden kokeiluun ja kehittämiseen. Raportissa esitetyt arviot ovat kauttaaltaan kvalitatiivisia.

Raportin aluksi taustoitetaan osaamisvajeen merkitystä huolto-, kunnossapito- ja asennustoiminnassa, jotta olisi mahdollista hahmottaa alan laajuutta, alan metodien uudistamisen tarvetta ja sitä toimintaympäristöä, johon hankkeessa kehitettyä konseptia on ensisijaisesti hahmoteltu käytettäväksi. Tämän jälkeen raportissa kuvataan yleisellä tasolla konseptin toteutukselle olennaisten virtuaalilasien (VR-lasien) ja laajennetun todellisuuden lasien (AR-lasien) toimintaperiaatteita sekä sovellusalueita ja tarkastellaan yksittäisiä laitteita. Tarkastelu suoritetaan riittävän laajana, jotta ymmärretään laitetekniikan odotettu luonne massatuotteena ja laitevalikoiman osalta tarkastelua on laajennettu sekä ajanmukaistettu esiselvitykseen verrattuna. Yleiskäyttöisyys ja suosio vaikuttavat laitteiden tulevaan hintakehitykseen ja ominaisuuksiin (Katz & Shapiro 1985, 424–440).

Osoitinlaitteita ja niiden yleisiä periaatteita esitellään tiiviisti omassa luvussaan. Tarkoituksena on kuvata teknologiakehityksen keskeneräisyys ja muutosnopeus tämänhetkisten laitevaihtoehtojen lisäksi. Toimintaperiaatteiden ja kattavuuden osalta esittely on VR- ja AR-laseja suppeampi, sillä näillä laitteilla perusratkaisuja on lukuisia ja ominaisuudet usein kypsymättömiä. Teknisten aihealueiden laajuuden vuoksi näihin aiheisiin liittyvää termistöä selitetään asiakäsittelyn yhteydessä.

Hankkeen tavoitteena oleva konsepti kuvataan luvussa 6. Konsepti perustuu neuvovan asiantuntijan käytössä oleviin VR-laseihin, laseihin yhdistettäviin osoitinlaitteisiin sekä

huoltohenkilön tai asentajan käytössä oleviin AR-laseihin. Tavoitteena on uudentyyppisen vuorovaikutuksen mahdollistaminen etäneuvonnassa. Tämän jälkeen esitellään konseptin mahdollisia käyttökohteita ja sovelluksia, ongelmakohtia sekä konseptia yksinkertaisempia valmiina saatavia osittaisratkaisuja. Lopuksi esitellään reunaehdot täyttävä laitteistovalikoima, joka sopii konseptin pilotointia varten kehitettyyn ohjelmistoympäristöön ja kyseinen ohjelmistoympäristö itsessään. Tämän lisäksi käsitellään pilotoinnin järjestystä ja keskeisiä kysymyksiä.

2 Taustoitus osaamisvajeen merkitykseen huolto-, kunnossapito- ja asennustoiminnassa

Hankkeessa tarkastellaan käsin käytettävillä työkaluilla tai suoraan käsillä suoritettavia sekä asiantuntemusta vaativia tehtäviä. Tässä raportissa keskitytään erityisesti huolto-toimenpiteisiin, mutta ei rajata muita kunnossapidon tai kokoonpanoon ja asennukseen liittyviä toimia pois, mikäli niihin voidaan järkevästi soveltaa etäneuvontaa. Huolto ja kunnossapito eivät ole täysin vakiintuneita käsitteitä ja niillä saatetaan tarkoittaa eri asioita kontekstista riippuen (Asp, Tuominen & Hyppönen n.d.). Hankkeen kannalta eri alojen terminologiset erot eivät ole merkityksellisiä, sillä kriteereiksi muodostuvat edellä mainitut käsien avulla suoritettavat ja asiantuntemusta vaativat tehtävät, joihin voidaan järkevästi soveltaa etäneuvontaa.

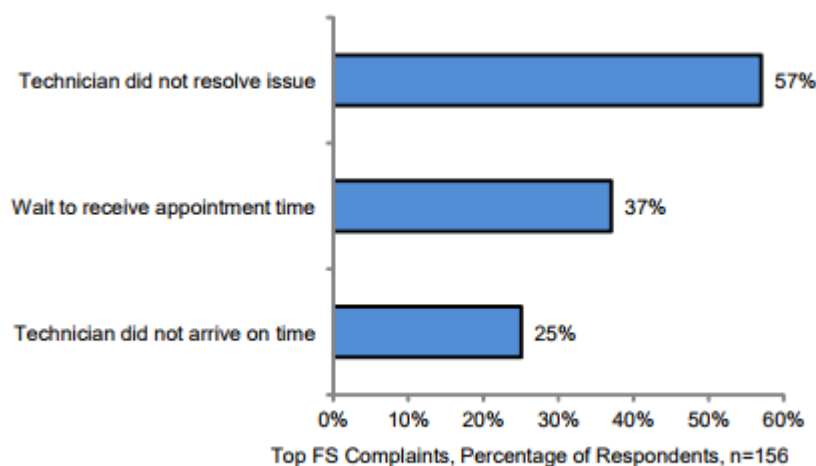
Huolto ja kunnossapito ovat yhteiskunnallisesti erittäin merkittävää toimintaa. Merkittävyyttä voi havainnollistaa kunnossapidon esimerkein. Suomessa kunnossapidon työvoimapanos vuonna 2005 oli 200 000 työvuotta ja arvioitu vuosittainen panostus koko kansantaloudessa oli n. 24 miljardia euroa. Kansantalouden kannalta suurimpina kunnossapidon aloina olivat teollisuus, liike-elämän palvelut sekä julkiset palvelut. Eniten kunnossapidon työntekijöitä löytyy julkisista palveluista ja teollisuudesta. (Kunnossapito-yhdistys ry n.d.) Samankaltaisia tässä työssä käsiteltyjä erikoisosaamista vaativia tehtäviä kuuluu myös moniin kokoonpano- ja asennustöihin.

Hankkeen käsittelemän ja tässä raportissa kuvatun etäneuvonnan tärkeä potentiaalinen käyttäjäryhmä työskentelee kenttähuollossa. Termi kenttähuolto on tässä käännös sanoista *field service*. Käsitteellä viitataan tyypillisesti asiakkaan luona tapahtuvaan huolto- ja korjaustyöhön (Computer Desktop Encyclopedia 1981–2017). Kenttähuolto

tapahtuu siis tilanteessa, jossa huoltohenkilön on matkustettava huoltokohteeseen. Etäneuvonta tulee tarpeeseen, mikäli huoltohenkilöllä ei ole tarpeeksi osaamista paikan päällä olevan tehtävän hoitamiseen ja osaavamman henkilön ei ole esimerkiksi etäisyyksien vuoksi järkevää matkustaa huoltokohteeseen. Tällaisessa tilanteessa tehtävä saadaan hoidetuksi, mikäli etäneuvonta auttaa riittävästi.

Osaamisvajeen merkitystä huoltotöissä on selvitetty, sillä se saattaa aiheuttaa suuria kustannuksia yrityksille. Ensimmäinen huolto- tai korjauskäynti epäonnistuu eri lähteiden mukaan joka neljännessä tapauksessa. Tämän seurauksena on huoltokohteessa käytävä uudestaan. (Aberdeen Group 2013; DePew 2014.) Keskimäärin uusia käyntejä on tarvittu 1,5. Näin suuri tehottomuus on yrityksille yleensä iso ongelma. (Aberdeen Group 2013.) Aberdeen Groupin (2013) raportin mukaan ensimmäisen huolto- tai korjauskäynnin epäonnistuminen johtui 25 % tapauksissa tarvittavan osaamisen puutteesta. Suurimpana syynä, 50 % tapauksissa, oli tarvittavien osien puuttuminen, joka on myös itsessään tarvittavan esitiedon puuttumista. Huoltokäynnin epäonnistuminen voi vaikuttaa myös asiakkaan toiminnan kannattavuuteen aiheuttaen joskus suuriakin taloudellisia tappioita. (Aberdeen Group 2013.)

Figure 1: Customers Want Better First-time Fix



Source: Aberdeen Group, January 2013

Kuvio 1. Huoltokäynnin eniten valituksia aiheuttaneita syitä olivat: ongelman ratkeamattomuus huoltokäynnillä, viive huoltokäynnin ajankohdan sopimisessa ja sovittujen aikataulujen pettäminen (Aberdeen Group 2013, 3).

Kuviossa 1 näkyvät Aberdeen Groupin raportin (2013) mukaiset suurimmat valituksen aiheet huoltokäynneistä. Selvää on, että ensimmäisen huoltokäynnin epäonnistuminen aiheuttaa asiakkailla suurta tyytymättömyyttä. Harvalla yrityksellä on varaa kovin suureen asiakastyytymättömyyteen, jonka takia ensimmäisen huoltokäynnin onnistumisprosentin parantamiseen on syytä kiinnittää erityistä huomiota.

Osaamisvaje saattaa aiheuttaa huoltokäynnin epäonnistumisen lisäksi virheen riskin. Virheellisesti toteutettu huoltokäynti voi lisätä laitteiston vaurioita ja hajoamisherkkyyttä. Näistä syistä laitteistosta voi tulla myös vaarallinen käyttöä. (Dhillon 2014.)

Vaikka organisaatiolla olisi oma huoltohenkilö, yhä harvempi hallitsee kaikki erilaiset ja jatkuvasti monimutkaistuvat koneet ja laitteet. Tästä seuraa kasvava tarve hankkia osaaminen organisaation ulkopuolelta. (Tennilä & Hakonen 2016.) Vaihtoehtona on joko se, että kuhunkin koneeseen erikoistunut huoltohenkilö matkustaa paikan päälle, tai organisaation oma huoltohenkilö saa tarvittavan etäneuvonnan ongelman ratkaisemiseen.

Esimerkkinä nykytilanteesta voi mainita lentokoneiden huollon ja sen haasteet. Lentoliikenteen kasvu ja lentokoneiden kehitys on aiheuttanut suuret paineet lentokoneiden huoltohenkilöiden taitojen ylläpidolle. Huoltohenkilön tietämystyyppinen koulutus pätevoittää vain tiettyjen tehtävien tekemiseen vain tietyillä lentokoneilla alan säädösten vuoksi. Tiettyyn tehtävään voi oikean tekijän löytäminen olla hyvinkin vaikeaa, varsinkin jos ongelma havaitaan kentällä, jonka sijainti on vähemmän keskeinen. (IFS 2017.)

3 VR-laitteet

VR on lyhenne sanoista *virtual reality*. Käsitteellä tarkoitetaan virtuaalitodellisuutta. Tässä työssä virtuaalilaseilla eli VR-laseilla tarkoitetaan kasvoille asetettavaa laitetta, joka mahdollistaa virtuaalitodellisuuden eli virtuaalimaailman kokemisen. Laseilla pyritään luomaan vahva immersio virtuaalimaailmaan, jotta tuntuisi siltä kuin katsoja itse olisi osa virtuaalista ympäristöään. Mikäli virtuaalilasit huomioivat myös käyttäjän fyysisen todellisuuden osana kokemusta saatetaan tähän kykyyn viitata Mixed Reality -käsitteellä, joka käännetään suomeksi usein lisätyksi todellisuudeksi.

Peleistä puhuttaessa käytetään paljon termiä immersio. Brown ja Cairns (2004) selvityksessään osoittavat immersiota käytettävän sen intuitiivisen merkityksen mukaisesti kuvailemaan osallistumisen astetta suhteessa peliin. Myös läsnäolo pelissä eli erkaantuminen todellisesta maailmasta ja keskittyminen peliin mainittiin osana immersiota. (Brown & Cairns 2004, 1297–1300.) Tässä työssä immersio-termiä käytetään samankaltaisesti, vaikka virtuaalimaailmasta puhuttaessa ei tarkoitettaisikaan juuri pelimaailmaa. Immersiota VR-laseissa luo se, että laitteen näyttö on käyttäjän kasvoilla ja hänen kääntäessä päätä laitteen näyttö liikkuu pään mukana, mutta käyttäjän näkemä kuva virtuaalimaailmassa kääntyy kuten ympäristö luonnollisesti katsottaessa kääntyisi (Charara 2017). Tarkemmin lasien toiminnasta kerrotaan luvussa 3.2.



Kuvio 2. Google Cardboard VR-lasit (Evan-Amos 2015).

VR-laseja ei voi sanoa vain miksi tahansa ohimeneväksi trendi-ilmiöksi. Lasit mahdollistavat uudenlaisia hyödyllisiä toimintatapoja jokapäiväisiin askareisiin ja luovat mahdollisuuksia kokea jotain aiemmin mahdotonta. VR-laseja voidaan käyttää esimerkiksi tutkimus- ja asiantuntijatyöhön, viihteeseen, opiskeluun, kauko-ohjaukseen, viestintään, kuten sosiaaliseen mediaan ja markkinointiin, etäläsnäöloon sekä matkailuun ja elämyspalveluihin. Konkreettisista mahdollisuuksista kerrotaan enemmän luvussa 3.1.

Markkinoilla on monia erilaisia VR-laseja, ja laitteissa käytetyt teknologiaratkaisut poikkeavat toisistaan (Charara 2017). Kuviossa 2 on Google Cardboard -lasit, jotka ovat markkinoiden edullisimmasta päästä. Koska teknologiset ratkaisut eivät ole vielä vakiintuneet, myös korkeatasoisissa laitteissa ratkaisut vaihtelevat. Eri ominaisuuksien taso laitteissa saattaa siis vaihdella suuresti. (Charara 2017.) Alalla tapahtuu jatkuvaa kehitystä, joka osaltaan lisää ominaisuuksien kirjoa. Uusia laitteita on jatkuvasti kehitteillä sekä markkinoilla jo toimivien tahojen että uusien tulokkaiden toimesta. (DigiCapital 2017.)

Monet VR-laseille tarkoitetut sovellukset eivät ole suoraan ristiin käytettävissä eri valmistajien laitteilla, sillä riittävää standardoitumista ei ole vielä tapahtunut. Sovelluksista joudutaan siis tuottamaan laitekohtaisia versioita. On olemassa Khronos Groupin aloite, jonka tarkoituksena on luoda alalle standardi. Tämä mahdollistaisi sovellusten kehittämisen suoraan monille eri laitteille. Kehitettävää standardia tukevat monet suuret alan toimijat. (Khronos Group n.d.) Khronos Groupin lisäksi on myös useita muita tahoja pyrkimyksenään luoda VR- ja AR-alalle (AR-laitteista kerrotaan luvussa 4) standardeja, yksi näistä on IEEE (Brennesholtz 2017). Varsinaisten standardien lisäksi osa sovelluskehitysympäristöistä on saavuttanut vahvan aseman ja laitevalmistajat pyrkivät sovittamaan lasinsa näihin kehitysympäristöihin tukien niille kehitettyjen sovellusten toimintaa omilla laitteillaan. Tällaisia ympäristöjä ovat mm. Unity, ARCore ja ARKit.

3.1 Katsaus muutamiin sovellusalueisiin ja markkinakehitykseen

Seuraavaksi kuvataan laajemmin erilaisia VR-lasien mahdollisia käyttötarkoituksia. Esimerkkien avulla voi havaita, että VR-laseista saattaa tulevaisuudessa tulla älypuhelisten tapaisia massatuotteita. Laitteiden yleistyminen tulee määrittämään niiden ominaisuuksia, saatavilla olevia ohjelmistoja ja hintatasoa tulevassa kehityksessä. Siksi tämä katsaus on laajempi kuin luvussa 6 esiteltävän konseptin kapean tarkastelun

kannalta olisi välttämätöntä. Tarkoituksena on myös lisätä ymmärrystä laitteiden ja konseptin erilaisista soveltamismahdollisuuksista ja siten lisäksi estää huolto- ja kunnossapitotoimissa mahdollisten käyttötarkoitusten rajoittamisen vain suoraan konseptin mukaisiin toimiin. Useammat erilaiset käyttötarkoitukset ja hyödyt laitteista pienentävät suoria kustannuksia pelkälle konseptin pilotoinnille.

Lääketieteen alueella virtuaalitodellisuuden sovelluksia on esitelty runsaasti. VR-laseja voidaan hyödyntää tuntoaistiin perustuvien ohjainten kanssa esimerkiksi uusien hammaslääkärin opetuksessa. Hampaiden porausta ja paikkausta voi harjoitella VR-laseissa näkyvässä virtuaalihammashoitolassa käyttäen ohjainta, joka tuntoaistiin perustuvan palautteen avulla kertoo käyttäjälleen, miten pora käyttäytyy. Tämä mahdollistaa turvallisen oppimisen ilman riskiä kenenkään ihmisen todellisten hampaiden vahingoittamisesta. (Virtual Reality Society n.d.) Samankaltaista harjoittelutilannetta voisi myös hyödyntää kunnossapito- ja huoltotoiminnassa. Lääketieteen alueella VR-lasien tuomia mahdollisuuksia on jo testattu kirurgisen toimenpiteen 3D-nauhoitteen katseluun. Operaatiota voi katsella kirurgin näkökulmasta, jolloin on helpompi kuvitella itsensä kirurgin paikalle tekemään kyseinen toimenpide. (Rousseau 2014.)

VR-lasit luovat uudenlaisen mahdollisuuden robottien kauko-ohjaukseen. Erityisesti robottikopterien kauko-ohjauksessa käytetään jo yleisesti VR-laseja. Robottikoptereilla tarkoitetaan miehittämätöntä ilma-alusta (Tanskanen 2016). Muita käytettyjä nimityksiä ovat myös drone tai drooni ja nelikopteri, joita puhekielessä saatetaan käyttää ristiin. Robottikopterin ohjaukseen käytettyjä laseja kutsutaan nimellä FPV-lasit. FPV on lyhenne sanoista *first person view*. Nimitys tarkoittaa laseja, joilla on mahdollisuus nähdä ohjatun robotin ympäristö siinä kiinni olevan kameran kautta kuin olisi itse robotin tilalla. (Oksala 2016.) Robottikoptereiden kauko-ohjausta voidaan hyödyntää esimerkiksi peltoalueiden kartoitukseen (Tanskanen 2016). Robottikoptereiden ohjaamisesta lasien kanssa on järjestetty kilpailuja esimerkiksi Hämeenlinnassa (Oksala 2016).



Kuvio 3. VR-lasien kautta näkyvä maisema (HTC Corporation 2011-2017).

Matkailualalla voidaan hyödyntää VR-laseja kuvion 3 tavoin tarjoamalla esittelykuvia tai videoita, jotka antavat tavanomaisia menetelmiä paremman mielikuvan siitä, mitä matkakohteessa odottaa. 360-asteisten tai 3D-kuvien ja -videoiden avulla voidaan esitellä mahdollisen kohdemaan tunnelmaa ja antaa hotellihuoneista todenmukainen käsitys. Aurinkomatkat on jo käyttänyt teknologiaa hyväksi mainonnassaan esittelemällä YouTuben kautta tavallisten videoiden lisäksi myös 360 asteen videoita (Uusi-teknologia.fi 2016). Näitä Aurinkomatkojen videoita voi katsoa tavallisellakin tietokoneella ja käännellä itse näkymää cursorin avulla. Katselu on mahdollista myös älypuhelimella, jolloin katselukulman vaihtaminen tapahtuu osoittamalla puhelinta eri suuntiin. Matkakohteiden sijaan voi VR-laseilla katsella myös 180/360-asteista tai 3D-kuvaa tai -videota tulevasta huoltokohteesta. Jos esimerkiksi onnistuneet huolto-toimenpiteet videoidaan, kertyy toimenpiteistä melko nopeasti kirjasto, josta tavallisimmat huoltotoimenpiteet voi katsella etukäteen.

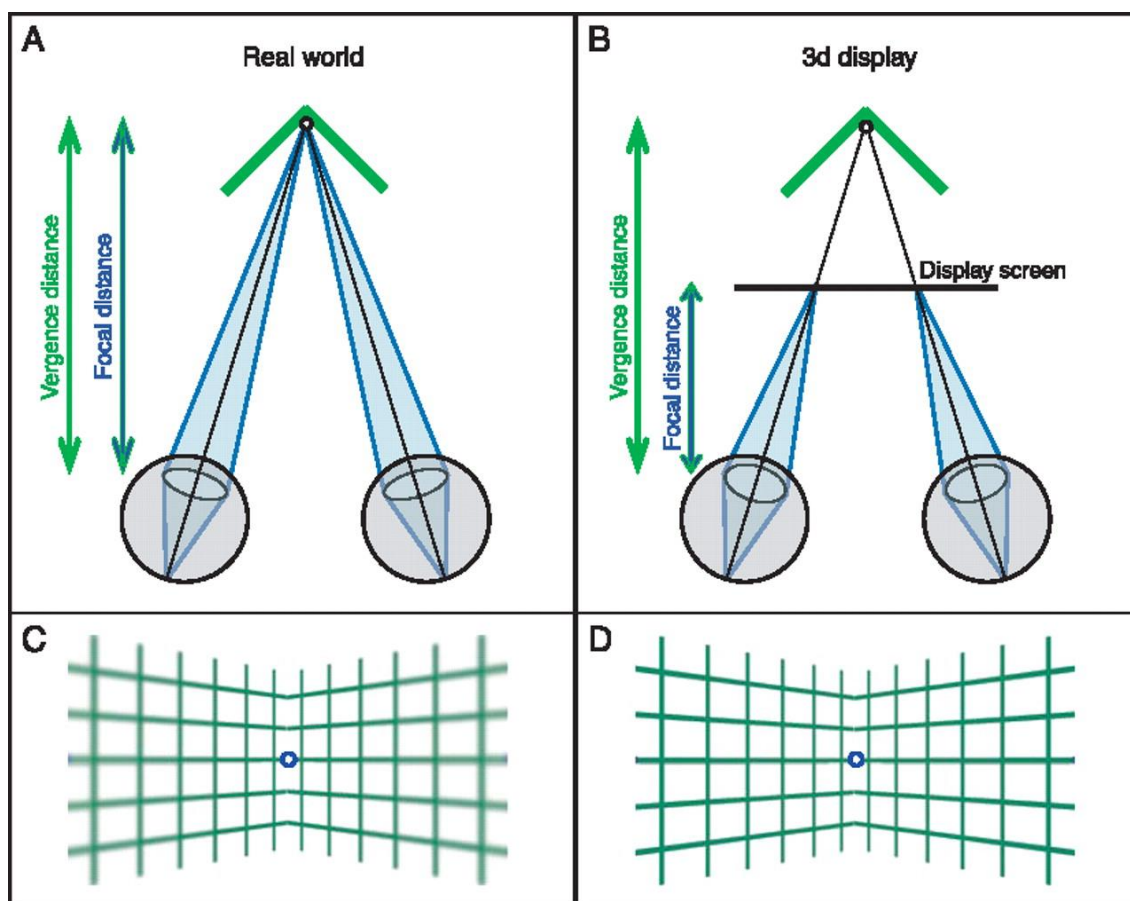
Markkinaennusteissa uskotaan VR:n mahdollisuuksiin. Vuoden 2016 alussa arvioitiin, että vuoteen 2020 mennessä olisi myyty yli 200 miljoonaa kappaletta VR-laseja (Gaudiosi 2016). Vaikka VR-laseja yhä pidetään isona ilmiönä, on nyttemmin tapahtunut pientä käsitysten muuttumista. Kirjoitushetkellä tuoreissa arvioissa VR:n kasvu esitetään hieman hitaammin käynnistyvänä johtuen erinäisistä ongelmista laitteisiin liittyen, kuten

viivästyksistä toimituksissa. (Digi-Capital 2017.) Markkinan kasvu on tärkeää, jotta laitteiden kehitys jatkuu ja siten myös teknologiaratkaisut halpenevat.

3.2 Toimintaperiaatteet

Yksinkertaisimmillaan VR-lasien tavoite on tuoda virtuaalimaailma käyttäjälle suoraan silmien eteen koko näkökentän laajuksena kokemuksena ilman television tai tietokoneen näytön tuomia kehyksiä. Kolmiulotteinen syvyysvaikutelma luodaan tuottamalla stereoskooppinen kuva kaksiulotteisesta näkymästä erikseen kummallekin silmälle. Syvyysvaikutelman luomiseen tarvitaan siis kaksi kuvaa, jotka voidaan luoda joko kahdella eri näytöllä tai jakamalla yksi näyttö kahdeksi eri kuvaksi. (Charara 2017.) Lähellä silmää olevan kuvan näkemisen mahdollistaa laseissa oleva optiikka (VR Lens Lab n.d.).

Pyrittäessä luomaan kolmiulotteinen vaikutelma stereoskooppisella näytöllä lähelle silmiä poikkeavat näytöllä näkyvät kuvat sitä enemmän toisistaan, mitä lähempänä katseltavan objektin tulisi näyttää olevan. Tämä aiheuttaa monella VR-lasien tekniikalla *vergence accommodation conflictiksi* kutsutun ongelman. Kyseessä on silmien tarkennusmekanismien ristiriitaa kuvaava tila. *Accommodation*, suomeksi akkomodaatio on silmien mukautuminen, jotta katse voi tarkentua eri etäisyyksillä oleviin kohteisiin. *Vergence* on silmien kiertyminen kohteen suuntaan. (Zhang 2015.) Yleensä silmän mukautuminen ja kiertyminen toimivat yhteen. Kuitenkin litteää näyttöä katseltaessa silmät mukautuvat näytön pintaan, kun kiertyminen toisaalta tapahtuu suhteessa katseltavan objektin tarkoitettuun etäisyyteen. (Hoffman, Girshick, Akeley & Banks 2008.) Tästä syntyy kuviossa 4 näkyvä silmien toiminnan ero katsottaessa todellista maailmaa ja virtuaalimaailmaa 3D-lasien kautta. Tämä akkomodaation ja kiertymisen eroavaisuus rasittaa silmiä aiheuttaen epämukavuutta käyttäjälle (Hoffman ym. 2008).



Kuvio 4. Osa havainnekuvasta, jossa näytetään silmien akkomodaation ja kierron eroavaisuudet katsottaessa todellista maailmaa tai 3D-näyttöä (Hoffman ym. 2008).

Kolmiulotteinen vaikutelma ei tule yksinomaan kahdesta eri kuvasta, vaan kuvakulman siirtymisen vaikutus kuvaan on erittäin tärkeä elementti. Tämä tarkoittaa sitä, että myös yhdellä silmällä on mahdollista kokea osittainen kolmiulotteinen efekti, kuten todellisesakin maailmassa. Esimerkkinä voidaan mainita jokaiselle tuttu kokemus liikkuvan auton kyydissä maisemaa katsottaessa lähellä olevien asioiden nopea vilahtaminen silmien edessä ja kaukana olevien asioiden hitaampi liike näkökentässä. Tämän lisäksi on mahdollista arvioida etäisyyttä vertaamalla tunnetun asian suhteellista kokoa ympäröivään näkymään, eli esimerkiksi normaali henkilöauto näyttää kaukana ollessaan lelu-auton kokoiselta. (VR Lens Lab n.d.)

Kuva siis tuotetaan näytölle 3D-mallista. Kuvan tuottamisessa kehittyneemmät laitteet käyttävät erityisprosessoreita. Teknisesti kuva prosessoidaan joko VR-laseissa itsessään, erillisessä tietokoneessa tai älypuhelimessa. Älypuhelimta käytettäessä puhelin toimii myös laitteen näyttönä. (Charara 2017.)

Luonnolliseen näkökulman vaihtumiseen vaaditaan lasia käytettäessä pään asennon ja mahdollisesti myös pään sijainnin tunnistus. Kuitenkaan kaikki laitteet eivät tarjoa sijainnin tunnistusta. (Charara 2017.) Osa sovelluksista ei käytä edes tietoa pään asennosta hyväkseen. Esimerkiksi suuri osa nykyisistä 3D-elokuvista, joissa pyritään luomaan syvyysvaikutelmaa, ei mahdollista järkevää kuvakulman vaihtoa. Kuvasta on tehty juuri näkökentän kokoinen ja se näkyy samanlaisena pään asennosta riippumatta. Nämä puutteet eivät häiritse kokemusta sellaisissa passiivisissa katselutilanteissa, joissa katsojan on luontevaa pitää pää paikoillaan.

Tarvittaessa pään asento normaalisti tunnistetaan VR-lasien sisäisillä liikkeen- ja asennontunnistimilla (Charara 2017). Käytettäessä älypuhelinia saatetaan tukeutua puhelimen omiin tunnistimiin. Tällöin itse VR-laseista saadaan erittäin edulliset, sillä lasissa itsessään on tässä tapauksessa vain kiinnike puhelimelle ja tarvittava optiikka. Esimerkiksi tämän tyylinen, kuvassa 1 oleva Google Cardboard maksaa Yhdysvalloissa vain 15 dollaria (Amazon.com n.d. a). Hinnat ovat vertailukelpoisuuden vuoksi esitetty Yhdysvaltojen hintoina, Euroopassa hinnat saattavat vaihdella, tai niitä ei ole ilmoitettu.

Pään sijainnin mittaamiseen saatetaan käyttää huoneeseen sijoitettavia erillisiä etäisyysmittareita. Mittaustietojen avulla voidaan laskea lasien sijainti suhteessa mittareihin. Mikäli lasissa on useita erikseen mitattavia pisteitä, esimerkiksi infrapuna-LED-valoja, tällä tekniikalla voidaan mitata myös lasien asentoa. (Charara 2017.) Lasien sijaintia huoneessa on mahdollista mitata myös lasissa itsessään olevilla kameroilla tai etäisyysmittareilla (Intel Newsroom 2016), jolloin erillisiä mittalaitteita ei tarvitse asentaa. Kullakin tekniikalla on omat etunsa ja haittansa. Lisäksi kehittämisen kohteena on laitteita, joissa pyritään saavuttamaan hyötyjä katseen seurausteknologioilla. Tästä esimerkkinä Fove 0, jonka katseen seurauksen on tarkoitus myös luoda luonnollisempi syväterävyys, mitä nykyisillä VR-laitteilla ei saavuteta (Lamkin 2017).

Katseltavat 3D-mallit voidaan tuottaa monilla eri tekniikoilla. Yksinkertaisimmillaan käytetään 3D-kameraa ja sen suoraan tuottamaa kuvaa tai jopa vain kahta erillistä kameraa. Usein video tarvitsee editointia, jotta kuvat eivät eroa liikaa toisistaan ja kolmiulotteinen efekti säilyy. (Dashwood 2011.) Tällä tavoin tehdyssä videossa tai kuvassa katseluvaikutelma on kolmiulotteinen, mutta tilassa ei ole mahdollista siirtyä kuvakulmiin, joissa kamera ei ole käynyt. Kuitenkin ympäristöä voi katsella eri suuntiin sijainnista, jossa

kamera on ollut, mikäli kuva on lasien näkökenttää laajempi, kuten 180 tai 360 asteisissa videoissa (Hansen n.d.). Mikäli kameran kuvaamaa ympäristöä haluaa katsella vapaammin ja liikkua siinä, voi tähän käyttää apuna kauko-ohjattavaa robottia, johon on liitetty kamera (Neagle 2015).

Vapaampi liikkuminen ilman robotin apua edellyttää varsinaisen 3D-mallin luomista. Tämän voi tehdä laskennallisesti tilasta eri suunnista otettujen kuvien ja mittaustietojen perusteella, jolloin puhutaan tavallisesti 3D-kuvantamisesta tai luomalla täysin keino-tekoisen mallin, joka voi vastata todellisuutta tai olla täysin kuvitteellinen. Mallinnukseen on käytettävissä laaja joukko erilaisia työkaluja. (Hansen n.d.) Näitä erilaisia 3D-mallin luomisen tapoja on myös mahdollista yhdistellä (Blender n.d.). Tämä voi käytännössä tapahtua esimerkiksi siten, että sijoitetaan 3D-kuvannettuja ihmisiä suunnitellun rakennuksen arkkitehtimalliin.

3D-mallit voivat olla dynaamisia (Blender n.d.). 3D-videoissa liike syntyy automaattisesti kameran tallentaman liikkeen mukaan (Brown 2017). Tietokonemalleissa liike synnytetään animaation avulla ja tätä käytetään usein pelimaailmoissa (Blender n.d.). Pelimaailmoissa eri hahmot usein liikkuvat ja maailmaa pyritään elävöittämään luomalla taustalle pientä liikettä mm. puiden lehtien havinaa tuulessa.

Laseissa näyttöjen ja kuvanmuodostuksen erot syntyvät pääasiassa erilaisesta resoluutiosta, virkistystaajuudesta, näkökentästä ja latenssista (VR-lasien näkökentästä tarkemmin ks. esim. VR Lens Lab n.d.). Resoluutio ilmoitetaan laitteiden kesken vaihtelevin tavoin. Resoluution käsite voi olla myös joissain tapauksissa epäselvä. Tästä esimerkkinä suomalaisen Varjon kehitteillä olevat lasit, joiden näytön resoluution ilmoitetaan olevan 70 megapikseliä. Tätä on verrattu Oculus Riftin ja HTC Viven VR-lasien n. 1,2 megapikselin silmäkohtaiseen resoluutioon. Varjon laseissa ei resoluutio ole kuitenkaan ilmoitetun suuruinen koko näytön laajuudelta, vaan lasit muodostavat korkea-resoluutioisen kuvan vain käyttäjän katseen keskiöön. (Dent 2017.)

Virkistystaajuuden sijaan saatetaan joskus ilmoittaa kuvataajuus eli FPS (*frames per second*). Nämä ovat keskenään eri asioita, eivätkä ne ole yksiselitteisesti riippuvaisia toisistaan (VR Source 2016). Latenssilla tarkoitetaan VR-laseista puhuttaessa viivettä kuvassa päätä liikuteltaessa, mutta sitä harvemmin ilmoitetaan tuotekuvauksissa. Erilaisista ilmoitustavoista seuraa se, että laitteiden tekniset tiedot eivät aina ole täysin

verrattavissa keskenään. On tärkeää ottaa huomioon, että huono virkistystaajuus, kapea näkökenttä ja suuri latenssi voivat merkittävästi vaikuttaa esimerkiksi koettuun pahoinvointiin laitteita käytettäessä (VR Source 2016). Sen lisäksi ne voivat aiheuttaa kömpelyyttä peleissä ja kauko-ohjauksessa.

Mikäli sovellus tuottaa näkökenttään asioita, joita käyttäjän tulee voida käsitellä, yleisimpänä laitteen oma valikko, tähän käytetään yleensä VR-laseihin tai tietokoneeseen liitettäviä ohjaimia. Osa valmistajista on kehittänyt itse ohjaimet omaan laitteeseensa, toiset saattavat käyttää kolmansien osapuolten valmistamia ohjaimia. Joidenkin kameroiden avulla voi olla mahdollista käyttää pelkkiä käsiä ohjaimina. (Oscillada 2017.) Erilaisista ohjaimista ja niiden yleisistä toimintaperiaatteista kerrotaan lisää luvussa 5.

3.3 Katsaus VR-laitteisiin

Seuraavaksi tarkastellaan neljää teknisesti edistynyttä VR-laiteperhettä. Laitevalmistajien ja laiteperheiden keskeisten teknologiakehittäjien nimet mainitaan, mutta näiden taustoja ei kuvata laajemmin. Esimerkkilaitteita valittaessa on rajattu käsittelyn ulkopuolelle halvimmat, älypuhelimia näyttöinä käyttävät VR-lasit. Katsauksessa on siis vain integroidulla näytöllä toimivia laitteita. Tarkoituksena ei ole antaa kattavaa kuvausta kaikista markkinoilla jo olevista tai markkinoille tulevista laitteista, vaan ainoastaan edustava otos näistä. Tärkeimmät laiteyhteensopivuutta edustavat laiteperheet on kuitenkin kaikki kuvattu ja laitteita listattu runsaasti esimerkkeinä tarkemmin kuvattujen lisäksi. Esimerkkilaitteiden ominaisuudet on käsitelty siinä laajuudessa, joka saattaa osoittautua olennaiseksi konseptin edellyttämien laitteiden valinnassa.

3.3.1 Oculus -perhe



Kuvio 5. Ylhäällä Oculus Rift alapuolellaan Oculus Touch -ohjaimet (Oculus VR n.d.).

Oculus Rift on Facebookin omistaman, vuonna 2012 perustetun Oculus VR:n kehittämä VR-laite (Oculus n.d.). Oculus Rift on valmis tuote ja sitä myydään kuluttajille 499 dollarin hintaan. VR-laitteen mukana tulee Oculus Touch -ohjaimet ja kaksi sensoria. (Johnson 2017.) Kuviossa 5 on Oculus Rift ja Touch-ohjaimet kuvattuna edestäpäin.

Oculus Rift vaatii toimiakseen erillisen tietokoneen ja langallisen yhteyden siihen (Prasuethsut 2016). Laitteen sovellusten käyttöalustana toimii Windows PC, ja tietoliikenneyhteys toimii tämän kautta. Riftin näyttöjen resoluutio on 1080 x 1200 per silmä, virkistystaajuus 90 Hz ja näkökenttä 110 astetta. VR-lasit painavat 450 grammaa. (Amazon.com n.d. a.) Lasit ovat muihin luvussa 3.3 esiteltuihin VR-laitteisiin verrattuna kevyimmät.

Pään liikettä mittaa VR-lasien mukana tulevat sensorit, jotka tarkkailevat laitteen sijaintia ja asentoa. Mikäli haluaa laitteen seuraavan huoneessa liikkumista hyvällä tuloksella, tarvitaan sensoreita kolme. (Lilly 2017.) Oculus Touchin avulla käsien liike välittyy Riftiin (Oculus n.d.). Oculus Touch valmistui vasta Oculus Riftin julkaisun jälkeen. Ennen Touchin valmistumista Oculus Riftiä myytiin Xbox One -ohjaimen kanssa (Dingman 2017).

Oculus Riftille on jo saatavilla pelejä, joiden määrä on lisääntynyt Oculus Touchin valmistamisen myötä. Monet peleistä ovat yksinomaan Oculusukselle, jolloin niitä ei ole mahdollista pelata muiden valmistajien VR-laitteilla. Joidenkin pelien pelaaminen vaatii paljon fyysistä tilaa, erityisesti jos haluaa käyttää Touch-ohjaimia. Pelien lisäksi laitteelle on valmiina muitakin sovelluksia, jotka ovat pääasiassa 3D-kuvien ja -videoiden mahdollistamaa eri paikkojen tutkimista ja kokemista. Näiden lisäksi tarjolla on myös joitain lyhytelokuvia. (Prasuethsut 2016.) Oculus Riftille on mahdollista tuottaa sisältöä käyttäen Oculusin natiivia ohjelmistokehitysvälineistöä tai esimerkiksi käyttäen Unity tai Unreal Engine -pelimoottoreita (Oculus Developer n.d.).

Käyttömukavuudessa Riftin iso etu on sen keveys, jonka takia laitetta on suhteellisen helppoa käyttää pidempiä ajanjaksoja kerrallaan. Koska laite on johdolla kiinni tietokoneessa, on liikkuminen laitetta käytettäessä rajoitettua. Riftin kehittäjien mukaan näyttöjen virkistystaajuus on valittu mahdollisimman sopivaksi, jotta laitteen käytöstä aiheutuisi luultavimmin vähiten matkapahoinvointiin verrattavaa oloa. (Prasuethsut 2016.)

Huonoja käyttökokemuksia ovat esittäneet silmälasien käyttäjät. Laitetta on kehitetty ilman silmälasia mukavaksi, mutta lasit aiheuttavat pientä epämukavuutta ja laitteen henkilökohtaisten säätöjen asettaminen on silmälasien käyttäjille muita hankalampaa. Myös henkilöillä, joilla on pienemmät kasvopiirteet, on ollut ongelmana valovuoto laitteen alareunasta. Tämä saattaa heikentää käyttökokemusta. (Prasuethsut 2016.)

Erityispiirteenä Riftissä on sisäänrakennetut kuulokkeet, jotka ovat helposti säädettävissä ja vaihdettavissa. Mikäli laitteen omat kuulokkeet eivät ole käyttäjälle sopivat, on mahdollista ostaa laitteeseen tarkoitetut erilliset nappikuulokkeet, jotka saattavat helpottaa immersion syntymistä. (Prasuethsut 2016.)

Oculus-perheeseen kuuluvat myös Oculus Riftiä edullisempi, itsenäisesti ilman erillistä tietokonetta käytettävissä Oculus Go, jossa ei kuitenkaan ole paikannusominaisuutta. Gear VR on tätäkin huomattavasti edullisempi ja on Samsungin älypuhelimille tarkoitettu VR-lasiteline. Jälkimmäisten kahden etuna on siis edullinen hinta ja itsenäinen langaton käyttömahdollisuus, mutta heikompi suoritusteho ja puuttuvat ominaisuudet.

Oculus on tuomassa markkinoille itsenäisen Santa Cruz -koodinimeä kantaneen laitteen, joka paikantaa itsensä ja ohjaimet kuudella vapausasteella lasissa olevien kameroiden ja liiketunnistinten avulla. Laitetta odotetaan markkinoille vuoden 2019 ensimmäisellä neljänneksellä. Sen tuotenimeksi on ilmoitettu Oculus Quest ja hinnaksi \$399. <https://www.engadget.com/2018/09/26/oculus-quest-santa-cruz-price-release-date/>

3.3.2 HTC Vive

HTC Vive on kahden erillisen yhtiön, HTC:n ja Valven yhdessä kehittämä VR-laite. HTC Vivejä myydään kuluttajille 799 dollarin hintaan (Gepp 2017). Laitteen mukana tulevat käyttöön tarvittavat ohjaimet ja tukiasemat, jotka näkyvät kuviossa 6 (Amazon.com n.d. b).



Kuvio 6. Keskellä HTC Vive, taustalla molemmin puolin laitteen tukiasemat ja etualalla ohjaimet (HTC Corporation n.d.).

Vive vaatii toimiakseen erillisen tietokoneen. Käyttöalustana toimii Windows PC, ja tietoliikenneyhteys on tämän kautta. Viven näyttöjen resoluutio on 1080 x 1200 per silmä, virkistystaajuus 90 Hz ja näkökenttä 110 astetta. VR-laite painaa 540 grammaa ja on siis hieman painavampi kuin Oculus Rift. (Amazon.com n.d. b.)

Pään liikettä ja asentoa mittaavat laitteessa olevat anturit ja liikkumista huoneessa mittaavat laitteen mukana tulevat tukiasemat (Painter 2016, 2). Sisätilapaikannus toimii huoneissa, joiden lävistäjä on enintään 5 metriä. Laitteen liikkeiden mittaamisessa on käytössä SteamVR Tracking -teknologia. (Amazon.com n.d. b.)

Laitteen mukana toimitettavat langattomat ohjaimet käyttävät nekin SteamVR Tracking -teknologiaa ja tukiasemia. Kummassakin ohjaimessa on useita antureita liikkeen tarkkaa seuraamista varten. Ohjaimissa on käytössä tuntoaistiin perustuva palaute, jolla pyritään lisäämään todentuntuisuutta VR-kokemukseen. (Vive n.d. a.)

HTC Vive:lle on tarjolla yli tuhat peliä Valven omistaman digitaalisen jakelukanavan Steam:n kautta. Steamiin julkaistaan jatkuvasti uusia pelejä. Pelien lisäksi laitteelle on valmiina muitakin sovelluksia. (Vive n.d. b.) Yhtenä esimerkkinä on Googlen valmistama 3D-piirto-ohjelma (Painter 2016, 4). Oculus Riftin tavoin myös Vivellä on mahdollista 3D-videoiden avulla tutkia ja kokea erilaisia paikkoja. (Vive n.d. b.)

Vive:lle on mahdollista luoda sisältöä käyttäen esimerkiksi SteamVR- ja Viveport-ohjelmistokehitysvälineistöjä tai Unity- ja Unreal Engine -pelimoottoreita. Steam:n ja Viveport-alustan kautta on mahdollista saavuttaa laajakin yleisö tuotetulle sisällölle. (Vive n.d. c.)

Käyttömukavuudessa Viven suurin etu on sen miellyttäväksi kehitetty pintamateriaali, joka on tarpeen tullen vaihdettavissa. Laitteen istuvuus on helppo säätää itselle sopivaksi. Laitteeseen on tarjolla kaksi eri istuvuutta, leveämmille ja kapeammille kasvoille. (Painter 2016, 1.) Myyjän vertailu toteaa, että suurin osa silmälasista soveltuu käytettäväksi laitteen kanssa (Amazon.com n.d. b). Tästä voikin päätellä, että isoimmat tai erityisen leveät silmälasit tuskin sopivat kasvoille laitetta käytettäessä.

Huonona puolena laitteessa on moitittu sen johdollisuutta epämukavuuden ja kompastumisvaaran vuoksi. Tätä ongelmaa HTC on pyrkinyt lieventämään laitteeseen kuuluvan kameran avulla. Kamerakuva fyysisestä ympäristöstä voidaan vaihtaa virtuaali-maailman tilalle riisumatta VR-laseja kasvoilta. (Painter 2016, 1.) Johdon aiheuttamaan ongelmaan on olemassa langattoman yhteyden ratkaisu TPCastilta ja toinen tulossa Quark VR:ltä. Kuitenkin Intel on valmistanut oman langattoman yhteyden prototyyppinsä, joka on vaikuttanut lupaavalta. (Allan 2017.)

Erityispiirteensä Vivessä on sen eteenpäin osoittava kamera. Sen lisäksi, että se mahdollistaa näkymän vaihtamisen pois virtuaalimaailmasta, se myös mahdollistaa oikean maailman yhdistämisen virtuaalimaailmaan (Vive n.d. a). Laitteessa on myös bluetooth-yhteys, jonka avulla älypuhelimeen yhdistettynä, voi esimerkiksi vastaanottaa puheluita ottamatta laitetta pois kasvoilta (Painter 2016, 2). Tämän lisäksi Viveen on mahdollista hankkia Vive Tracker, erillinen laite, joka kiinnitetään esineeseen, jonka liikkeen halutaan siirtyvän virtuaalimaailmaan (Vive n.d. a).

3.3.3 Windows Mixed Reality -laitteet

Intel ja Microsoft ovat sopineet yhteistyöstä virtuaalitodellisuushankkeissa. Yhteistyö tarkoittaa käytännössä rajapintojen sovittamista ja yhteisiä käytäntöjä. Esiselvityksen aikaan Intel oli kehittämässä projekti Alloyksi kutsuttua kunnianhimoista prototyyppiä, jota se tarjosi laitevalmistajille. Projekti Alloy oli itsenäinen laite, joka mallinsi ympäristönsä ja yhdisti sen haluttuja elementtejä käyttäjän näkemään virtuaalitodellisuuteen. Hanke on lakkautettu, joskin Intel edelleen tarjoaa laitevalmistajille sen puitteissa kehitettyä piiriteknologiaa. Laitevalmistajat ovat laajasti ryhtyneet ominaisuuksiltaan kevyemmän, Microsoftin tuottaman, Windows Mixed Reality -määrittelyn taakse. Käytännön seurauksena on laitevalmistajille tarjolla Intelin ja muiden kehittäjien piiriteknologiaa ja optiikkaa sekä Microsoftin lisensioimia ohjelmistoja. Laitekategoria on saanut Steam-ympäristön käyttäjätilastojen mukaan jo yli 7% markkinaosuuden.
<https://mspoweruser.com/great-news-for-microsoft-as-windows-mixed-reality-finally-shows-good-traction-in-latest-steamvr-numbers/>

Windows Mixed Reality -laitteet (WMR-lasit) toimivat ilman laitteen ulkopuolisia sensoreita. Niihin on suunniteltu omat erilliset ohjaimensa, joiden sijaintia laitteen edessä olevat kamerat mittaavat. Mittaustapa on erilainen kuin muissa markkinoilla olevissa ohjaimissa ja poistaa ulkopuolisten sensoreiden tarpeen (Hamilton 2017). Toisaalta ohjainten sijainti tunnistetaan ainoastaan, kun ne ovat kameran näkökentässä. Kameroiden suuntaus on hartiatasoon ja niiden tunnistusalue on 180 astetta. Teknologia on sama, jonka Microsoft on kehittänyt Hololensia varten.

Windows Mixed Reality -laitteissa on kameroiden lisäksi ainakin gyroskooppi, kiihtyvyys-sensori ja magnetometri laitteen asennon ja liikkeen tunnistamiseksi.

Acerin lisäksi Windows Mixed Reality -laitteita myyvät ainakin ASUS, Dell, HP, Lenovo ja Samsung. Ensimmäisen sukupolven WMR-lasit ovat ominaisuuksiltaan keskenään melko saman kaltaisia. Tässä raportissa kuvataan näistä tarkemmin HP:n Windows Mixed Reality Headset. Samsung HDM Odyssey on tullut muita myöhemmin markkinoille ja ylittää toistaiseksi sekä hinnaltaan että joiltakin ominaisuuksiltaan, esimerkiksi katselukulman, tarkkuuden ja kuulokkeiden osalta muut WMR-lasit. Acer on myös tuomassa markkinoille uuden laitteen tuotenimeltään OJO 500. <https://www.theverge.com/2018/8/29/17795120/acer-ojo-500-windows-mixed-reality-headset-features-price-release-date>

HP Windows Mixed Reality



Kuvio 7. HP Windows Mixed Reality Headset ohjaimineen, kuva HP

Laitteen näytön resoluutio on LCD-tekniikalla toteutettu 1440*1440 kummallekin silmälle erikseen. Virkistystaajuus on 90Hz. Katselukulman on ilmoitettu olevan 105 astetta vaakasuuntaan, vaikkakin Tom's Hardwaren testissä se todettiin selvästi kapeammaksi. Katselukulma on subjektiivinen, koska se riippuu silmän ja linssin etäisyydestä. Laitteessa on sisäänrakennetut kuulokkeet. Näyttö nousee lipaksi tarvittaessa, jolloin käyttäjä näkee fyysisen ympäristönsä laitetta riisumatta laitetta päästä. Lasit yhdistetään mikrotietokoneeseen 4 metrin yhdistetyllä USB 3/HDMI 2 -kaapelilla. Ohjaimet kuuluvat toimitukseen.

Tom's Hardware on tehnyt HP:n laitteesta kattavan vertailun:
<https://www.tomshardware.com/reviews/hp-windows-mixed-reality-headset,5665.html>

Mikrotietokoneen on täytettävä Windows Mixed Reality -minimivaatimukset, joka tarkoittaa käytännössä päivitettyä Windows 10 -laitetta riittävän tehokkaalla prosessorilla ja näytönohjaimella sekä riittäväillä liitännöillä. Yhteensopivuuden varmistava testiohjelma on saatavilla Microsoftin Windows Mixed Reality -tukisivuilla.

3.3.4 Google Daydream -perhe

Google on kehittänyt oman Daydream -määrityksen Android-puhelimille VR-sisällön katseluun. Puhelin asennetaan halpaan Daydream -silmiin. Perusversiosta puuttuu mahdollisuus VR-lasien sijainnin paikantamiseen ja VR-maailmassa liikutaankin joko vain päätä kääntämällä tai ohjaimella, joka sekään ei tunnista syvyyttä. Alusta on kuitenkin merkittävä Android-ympäristön yleisyyden ja Googlen kehitysvälineiden sekä laajan VR- ja 3D-sisällön vuoksi. Google on myös kehittänyt ympäristöä. World Sense -laajennuksen avulla VR-lasit tunnistavat sijaintinsa kameroiden avulla WMR-lasien tavoin.

Esimerkkilaitte lähemmässä tarkastelussa on Lenovo Mirage Solo, joka on ensimmäinen itsenäinen Daydream laite. Se tukee World Sense -laajennusta eikä siis tarvitse toimiakseen puhelinta tai tietokonetta.



Kuvio 8. Lenovo Mirage Solo ja lisälaite Mirage Camera (180 astetta, 4K)

Mirage Solo perustuu Qualcommin Snapdragon 835 VR -alustaan. Akkukestoksi luvataan 2,5 tuntia. Katselukulmaksi ilmoitetaan 110 astetta. Näyttöteknologia on LCD, virkistystaajuus 75Hz ja tarkkuus molemmille silmille yhteensä on 2560 x 1440.

Ympäristön geometriaa tarkkailevien kameroiden lisäksi laitteessa on läheisyysanturi, gyroskooppi, magnetometri ja kiihtyvyyssanturi. Näiden avulla toteutetaan World Sense -paikannus kuudella vapausasteella eli siis laitteen asento ja sijaintitietojen mittaaminen. Ohjain mahdollistaa vain kolme vapausastetta eli sillä lähinnä vain osoitetaan suunta.

Tietoliikennettä varten Mirage Solossa on kahden kanavan WiFi-yhteys ja Bluetooth 5.

Daydream -laitteisiin on tarjolla runsaasti 360 -videoita, mutta varsin rajallisesti sovelluksia. Unity on julkaissut tuen Mirage Sololle.

4 AR-laitteet

AR on yleinen, suomen kielessäkin käytetty lyhenne, joka tulee sanoista *augmented reality*. Tästä on myös käytetty termejä laajennettu tai lisätty todellisuus. AR:n merkitys

voi hieman vaihdella eri lähteissä. Tässä työssä käytän Ronald T. Azuman määritelmää, jonka mukaan AR on variaatio VR:stä. Synteettisen ympäristön sijaan AR:n avulla nähdään todellisen maailman lisäksi siihen keinotekoisesti liitetyt ja yhdistetyt virtuaaliset objektit. Ideaalitilanteessa Azuman mukaan virtuaaliset ja todelliset objektit näyttäisivät olevan samanaikaisesti yhteisessä tilassa. (Azuma 1997, 2.) Työssä tarkastellaan AR-kokemusta nimenomaan siltä kannalta, että objektit voidaan kiinnittää ympäristöön, eivätkä ne vaikuta olevan todellisesta ympäristöstä poikkeavia.

Edellä kuvatusta AR:n merkityksestä on myös käytetty termiä *mixed reality*, lyhenteenä MR, josta suomeksi käytetään esimerkiksi termejä yhdistetty ja sekoitettu todellisuus. Terminologian käyttö on kirjoittamisaikana vielä vakiintumatonta, ja eri tahot korostavat valitsemillaan termeillä itselleen tärkeitä ominaisuuksia tai ratkaisuja. Myös Microsoft on käyttänyt termiä Mixed Reality AR-laseistaan sekä lisensioimistaan VR-laseista. Terminologiaa voi käyttää loogisesti siten, että AR -lasit ovat ne, joissa reaali maailma näkyy aitona ja siihen lisätyt elementit virtuaalisena. VR-laseissa kaikki näkyy näytön välityksellä. MR on sitten tapa ilmaista se, että todellisuus ja epätodellinen yhdistyvät näkymässä riippumatta siitä, katsotaanko sitä VR-laseilla tai AR-laseilla. Niistä laseista, joissa näytetään ympäristön geometriaan sitomatonta tietoa, kannattaa käyttää nimitystä älylasit – Smart Glasses.



Kuvio 9. Lenovon AR-lasit (Lenovo Newsroom 2017).

Tässä hankkeessa ja raportissa AR-laseilla tarkoitetaan siis kasvoille asetettavia laseja, joissa optisen näyttöpinnan läpi näkee reaailmaailman. Lasien näyttöpinnalle on mahdollista heijastaa virtuaalisia objekteja siten, että ne vaikuttavat käyttäjän näkökentässä kiinnittyvän reaailmaailmaan ja olevan mahdollisimman erehdyttävällä tavalla osa sitä. Tämä siis voisi esimerkiksi ilmetä niin, että todellisella pöydällä voi nähdä virtuaalisen shakkilaudan, joka ei siirtyisi tai katoaisi pöydältä, vaikka käyttäjä kääntäisi hetkeksi kasvonsa toiseen suuntaan. VR-lasien tapaan edullisempia AR-laseja voidaan tehdä, mikäli niissä käytetään älypuhelinta apuna. Tästä on esimerkkinä kuviossa 9 näkyvät Lenovon AR-lasit, joissa puhelin kiinnitetään laitteeseen. Puhelimen ruutu heijastetaan peilien avulla AR-laitteen näytölle osaksi käyttäjän näkymää. Lenovon laitteen on sanottu tulevan myyntiin 199 dollarin hintaan. (Lee 2017.)

Myös VR-lasien kanssa on mahdollista tarkastella todellista maailmaa ja nähdä siihen kiinnitettyjä virtuaalisia objekteja. Tällöin ominaisuus toteutetaan kameroiden avulla ja katseltu todellinen maailma on digitaalisessa muodossa. Tässä työssä jaottelu on tekninen, ja AR-lasien ryhmässä käsitellään laitteita, joissa todellinen maailma nähdään suoraan lasien läpi, kuten silmälaseja käytettäessä, ja näkymää peittävät vain siihen lisätyt virtuaaliset objektit.

4.1 Katsaus muutamiin sovellusalueisiin ja markkinakehitykseen

AR-laseja on mahdollista käyttää kaikissa luvussa 3.1 esimerkkinä listatuissa VR-lasien käyttötarkoituksissa. Azuman selvityksessä AR:stä vuodelta 1997 on mainittu sovellusalueiksi lääketieteellinen visualisointi, huolto- ja korjaustyöt, robottien kauko-ohjaus, viihde ja armeijan lentokoneiden navigaatio sekä tähtäys. Selvityksessään Azuma totesi, että lista ei ole kattava kuvaus kaikista mahdollisista sovellusalueista, mutta se kattaa kaikki siihen mennessä tutkitut alueet. (Azuma 1997, 3–9.) Tässä listassa on monia yhtäläisyyksiä aiemmin listattuihin VR-lasien mahdollisiin käyttötarkoituksiin. Kuten VR-laitteiden kohdalla luvussa 3.1, tämän luvun katsaus on laajempi kuin käsiteltävän konseptin kannalta kapeasti ajatellen olisi tarpeen.

AR-lasien tarjoamat sovellusalueet painottuvat tehtäviin, joissa käyttäjän huomion toivotaan osittain kohdistuvan fyysiseen lähiympäristöön. AR-lasit mahdollistavat luonnollisen vuorovaikutuksen todellisen maailman ja ympäröivien ihmisten kanssa. VR-lasien käyttö pyrkii olemaan kokemuksena immerssiivisempi, nimensä mukaisesti vieden

käyttäjän virtuaalimaailmaan. (Ronzio 2017.) AR-lasien pyrkimys on interaktio todellisen ympäristön kanssa ja informaation lisääminen siihen ympäristöön, jossa käyttäjä kulloinkin on. AR-lasien sovellukset ovat siis paikkaan sidottuja ja auttavat läsnä olevan fyysisen ympäristön käsittelyssä ja hahmottamisessa. VR-lasien merkittävimmät sovellukset auttavat etäällä olevan tai kuvitellun ympäristön käsittelyssä. Monissa käyttökohteissa sovellukset saattavat olla samankaltaisia ja lasien teknologiatkin saattavat tulevaisuudessa yhdistyä.

Lääketieteen alueella AR-laseja voidaan hyödyntää suonien löytämisessä suonensisäisiä pistoksia tehdessä. Jo nyt on olemassa käsikäyttöinen laite, joka projisoi näkymän potilaan suonista tämän iholle. Tämä on parantanut huomattavasti onnistumisten määrää ensimmäisellä pistokerralla. Kokeilussa on ollut myös sovellus, jonka avulla kirurgien olisi mahdollista nähdä reaaliajassa potilaan kasvain kolmiulotteisena. (The Medical Futurist 2016.) Kun teknologiasta tulee tarpeeksi tarkka, sen olettaisi helpottavan leikkausten tekemistä suunnattomasti näyttämällä selkeästi kasvainten rajat, jolloin ne eivät epäselvissä tilanteissa jäisi arvailujen varaan.



Kuvio 10. AR-lasit antavat työntekijälle tarpeellista tietoa autoteollisuuden asennustehtävässä (Microsoft News Center n.d.).

Huolto- ja korjaustöissä AR-laseja on käytössä jo monen tyyppisiin tehtäviin. Yksi käytössä olevista apukeinoista on ohjeiden lukeminen suoraan lasesta, ilman erillistä fyysistä ohjekirjaa. Tämä jättää kädet vapaiksi tekemään tarvittavaa työtä. (Abraham & Annunziata 2017.) Kuviossa 10 on esimerkki, miten ohjeet voivat visualisoida työntekijälle säilyttäen kädet samalla vapaina työntekoon. AR-lasien avulla voisi myös olla mahdollista, että sovellus tunnistaa ja nimeää laitteen eri osat sekä näyttää, miten niitä kuuluu operoida (Perdue 2017). Eräitä kunnossapitoon liittyviä AR-lasien käyttö-tarkoituksia esitellään tarkemmin luvussa 6.2.

Monet AR-lasien sovellusalueet ovat hyvin arkipäiväisiä. Lasien avulla elävöitetään kokemuksia. Tästä musiikkiala tarjoaa hyvän esimerkin. Oman suosikkiartistin konserttilavan voisi nähdä olohuoneensa jatkeena, jos konsertin katselisi AR-lasit päässään. Fyysisesti tilaisuuteen osallistuessaan voisi nähdä soivan kappaleen lyriikat edessään ja laulaa artistin ja muun konserttiyleisön mukana. Pianonsoiton opetteluun on olemassa sovellus, jossa AR-lasien välittämä hologrammi opastaa käyttäjää soittamaan. (Katz 2017.) Samaan tapaan voi olla mahdollista opettaa muitakin taitoja, jolloin oppiminen ei enää vaatisi opettajan ja oppilaan läsnäoloa samassa fyysisessä tilassa. Opettaja voisi jopa olla vain ohjelmoitu sovellus, kuten edellisessä esimerkissä. AR-lasien mahdollisuuksia voi verrata internetin mahdollisuuksiin – ei ole olemassa yhtä oikeaa tai edes parasta käyttötapaa. Tiedon ja virtuaalisuuden lisääminen reaali maailman sekaan tulee saamaan monia muotoja.

Tractican (2017) markkinaennusteessa on esitetty AR-lasien kappalemääräisen myynnin nousevan 22,8 miljoonaan kappaleeseen vuositasolla vuoteen 2022 mennessä. Vuoden 2016 aikana laseja myytiin 150 000. Näihin lukuihin on otettu mukaan myös älylasit, jotka eivät visuaalisesti kiinnitä virtuaalista näkymää todelliseen maailmaan. Tutkimusta johtanut Aditya Kaul pitää todennäköisenä, että keski- ja korkeatasoiset AR-laitteet löytävät käyttäjänsä yritysmaailmasta ja kuluttajista. Alemman tason laitteita eli älylaseja hän pitää ideaaleina teollisuuskäytössä. (Tractica 2017.) Tässä raportin kuvaamassa hankkeessa ja monissa muissakin teollisuuden asennustehtävissä korkeamman tasoiset AR-lasit ovat kuitenkin tarpeen.

4.2 Toimintaperiaatteet

Monilta toimintaperiaatteiltaan AR-lasit ovat samankaltaiset VR-lasien kanssa. Tässä luvussa kuvataan erityisesti AR-laseille ominaisia toimintaperiaatteita. Lisäksi korostetaan joitain AR- ja VR-lasien eroja.

Todelliseen ympäristöön voidaan lisätä virtuaalisia elementtejä kahdella eri pääperiaatteella päässä pidettävien AR-lasien avulla. Toisessa todellinen ympäristö digitoidaan videon avulla lasihin ja siihen lisätään virtuaaliset elementit. (Van Krevelen & Poelman 2010.) Tähän soveltuvat lasit on käsitelty Intelin Project Alloy VR-lasien yhteydessä. Käyttäjä ei siis suoraan näe ympäröivää reaalia maailmaa, vaan kokee sen videon välityksellä (Van Krevelen & Poelman 2010).

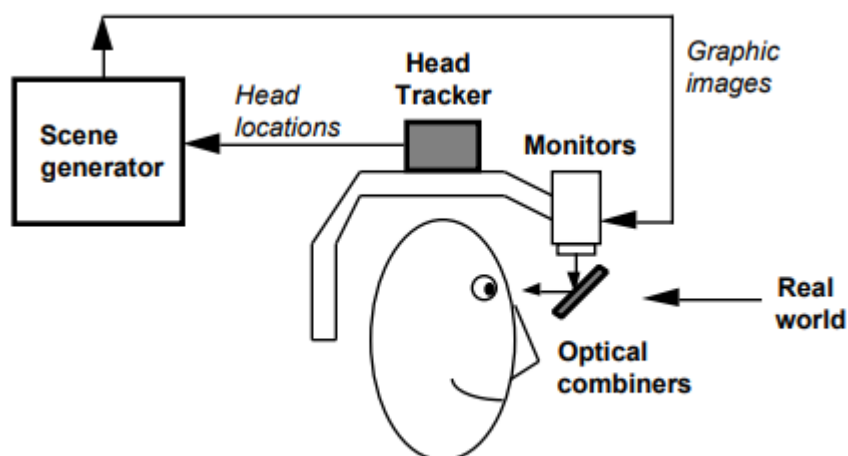


Figure 11: Optical see-through HMD conceptual diagram

Kuvio 11. Mallinnus siitä, miten AR-laseissa heijastustekniikalla käyttäjä näkee yhä ympäristönsä (Azuma 1997, 11).

Toinen pääperiaate on, että AR-lasien käyttäjä näkee ympäristönsä mahdollisimman esteettömästi. Näissä tekniikoissa virtuaaliset elementit voidaan lisätä todelliseen ympäristöön kolmella eri tavalla. Virtuaalinen kuva voidaan joko projisoida laserin avulla suoraan retinaan, tuottaa se läpinäkyvän LCD-näytön pinnalle tai heijastaa se linssiin holografisten optisten elementtien avulla. (Van Krevelen & Poelman 2010.) Luvussa 4.3 tarkastellut lasit käyttävät viimeksi mainittua tekniikkaa eli kuviossa 11 näkyvää heijastustekniikkaa ja kaksi muuta tekniikkaa ovat vielä kirjoitushetkellä kokeellisia. Heijastustekniikan huonona puolena on kontrastin heikkeneminen, koska alkuperäinen valonlähde ja heijastettu hologrammi yhdistyvät, josta seuraa erityisiä haasteita ulkoikäytössä (Van Krevelen & Poelman 2010).

Silmät tarkentavat sille etäisyydelle, mihin katse kulloinkin kohdistuu. VR-lasien kuva on vain yhdessä tasossa, jolloin kuva on silmän optiikan kannalta vain yhdellä etäisyydellä. AR-laseissa silmä näkee sekä luonnollisen ympäristön että virtuaaliset objektit. Luonnollista ympäristöä katsottaessa silmän on tarkennuttava normaalilla tavalla eri etäisyyksille. Tämä on ongelma, ellei virtuaalisen objektin katseluetäisyyttä voida säätää vastaavasti. Yksinkertaisessa toteutuksessa näin ei tehdä. Tämän kaltaisilla AR-laseilla virtuaaliobjektien katsominen hyvin läheltä saattaa olla mahdotonta, eivätkä objektit myöskään muutu epäteräviksi, vaikka ne sijaitisivat eri etäisyydellä kuin mihin katse ympäristössä on tarkentunut. Dynaamisen tarkennuksen mahdollistavaa teknologiaa on kehittänyt ainakin Avegant. Myös Magic Leap on luvannut tämän olevan laitteellaan mahdollista. (Metz 2017; Roos 2017.) Näitä laitteita ei käsitellä tässä työssä tarkemmin, koska ne ovat vielä kokeellisia ja niistä ei ole tarpeeksi luotettavaa tietoa saatavilla kirjoitushetkellä.

Kolmiulotteinen vaikutelma syntyy edellä kuvatun syväterävyyden ja stereovaikutelman lisäksi kuvan siirtymisestä lähellä olevien objektien ja taustan liikkua eri tavoin pään siirtyessä. Tämä vaikutelma syntyy ennen kaikkea ympäristöstä ja koska hahmot sidotaan ympäristöön, on sovelluksen huolehdittava siitä, että virtuaaliobjektit säilyttävät kolmiulotteisen orientaationsa suhteessa ympäristöön, jotta tämä vaikutelma ei rikkoonnu. Pään sijaintitieto suhteessa ympäristöön on tämän seikan vuoksi erittäin olennainen. Pääasiallinen tekniikka tämän tiedon selvittämiseen on laskennallinen päättely kamerakuvia yhdistämällä. (Van Krevelen & Poelman 2010.)

Näiden reaali maailman samanaikaisesta näkymisestä johtuvien erityiskysymysten lisäksi laseissa näyttöjen ja kuvanmuodostuksen erot syntyvät pääasiassa samoista elementeistä kuin VR-laseissakin eli erilaisesta resoluutiosta, virkistystaajuudesta tai kuvataajuudesta, näkökentästä ja latenssista. Merkittävää on huomata AR-lasien näyttöpintojen läpinäkyvyydestä seuraava rajoitus; AR-laseissa ei voi käyttää suurennuslasimaisia optisia elementtejä VR-laseista poiketen. Tämän vuoksi AR-laseilla suuren näkökentän luomisen haasteet ovat suuremmat. (Azuma 1997, 10; VR Lens Lab n.d.) Kuten myöhemmin luvussa 4.3 käsiteltyjen AR-lasien ja aiemmin luvussa 3.3 käsiteltyjen VR-lasien perusteella vaikuttaa ilmeiseltä, VR-laseissa onkin pääsääntöisesti suurempi näkökenttä kuin AR-laseissa.

AR-lasien käyttötarpeet liittyvät lasien luonteen vuoksi fyysiseen ympäristöön. Useimmissa käyttötapauksissa tämä vaatii käyttäjän liikkumista kyseisessä ympäristössä, jolloin laitteen mahdollinen langallisuus voi rajoittaa liikkumista merkittävästi. Jos laite vaatii langallisen yhteyden tietokoneeseen, on tämä myös mahdollista toteuttaa esimerkiksi kantamalla kyseistä konetta repussa. Langattomissa AR-laitteissa onkin tärkeää ottaa huomioon niiden akkukesto, joka voi vaihdella suuresti eri laitteiden välillä.

Virtuaalisuuden tuottaminen on laskennallisesti vaativa tehtävä eikä mobiililaitteella suorituskky useinkaan mahdollista niin monimutkaisia ja laajoja virtualisointeja kuin niillä laseilla, jotka ovat erilliseen tehokkaaseen tietokoneeseen kytkettyinä. Pienten tai yksinkertaisten virtuaalielementtien tuottaminen ei luonnollisestikaan ole niin raskasta kuin VR-laseilla koko näkökentän kattavan fotorealistisen näkymän tuottaminen.

Kuten luvussa 4.3 on nähtävissä, AR-lasien osalta on monenlaisia eri ohjaustapoja. Niihin ei ole vielä kehittynyt yhtenäistä käytäntöä tekniikan ja sovellusten kypsyttömyyden vuoksi. Oletettavaa on laitteiden yleistyessä joidenkin ratkaisujen nousevan muiden edelle ja siten yleistyvän tulevissa laitteissa.

Laajennetun todellisuuden sovelluksille ei ole vakiintunutta ohjelmointiympäristöä. Virtuaalitodellisuudesta olennaisin poikkeava elementti on ympäristön hahmottaminen, johon ei ole vakiintuneita tapoja. Virtuaalisten elementtien luonnollinen sijoittaminen ympäristöön edellyttäisi materiaalien tuntemista. Tällaista ominaisuutta ei ole ollut esitellyissä laseissa. Virtuaalimaailmassa mallin tekijä voi määritellä eri materiaalien suhtautumisen toisiinsa. Esimerkiksi heikot jäät eivät realistisesti kannattele norsua, ja mallinnetussa virtuaalimaailmassa tämän pystyy ottamaan huomioon. Jos AR-lasit eivät tunnista, että kyseessä on vain ohut kerros jäätä, ja tulkitsevat sen vain tasaiseksi pinnaksi, heijastavat ne norsun epärealistisesti pinnalle, jossa sitä ei fysiikan lakien mukaan tulisi nähdä. Esimerkki osoittaa, että täysin realistinen todellisen ja virtuaalimaailman yhdistely edellyttää laitteistoilta ominaisuuksia ja ohjelmistoista käsitteitä, joita näissä vertailluissa laitteissa ei vielä kirjoitushetkellä ole. Monille AR-lasien käyttötarkoituksille tämä ei kuitenkaan ole este.

4.3 Katsaus AR-laitteisiin

Seuraavaksi työssä tarkastellaan neljää teknisesti edistynyttä AR-laitetta. VR-lasien kaltaisia laiteyhteensopivuuden säilyttäviä laiteperheitä ei vielä ole syntynyt. Laittevalmistajien nimet mainitaan, mutta yritysten taustoja ei käsitellä tässä työssä. Tarkoituksena ei ole antaa kattavaa kuvausta kaikista markkinoilla jo olevista tai markkinoille tulevista laitteista, vaan ainoastaan edustava otos näistä. Laitteiden ominaisuudet on käsitelty siinä laajuudessa, joka saattaa osoittautua olennaiseksi konseptin edellyttämien laitteiden valinnassa. Esimerkkilaitteiden esittelyn jälkeen luonnehditaan lyhyesti markkinoille tulossa olevia ja vähäisemmän huomion saaneita laitteita.

4.3.1 HoloLens

HoloLens on Microsoftin kehittämä AR-laite. HoloLensin kehittäjäversio on ollut toimituksessa vuoden 2016 maaliskuusta, nykyään laitetta myydään myös yritysasiakkaille (Martin 2017). HoloLensin kehittäjäversio on myynnissä hintaan 3000 dollaria ja yritysversio hintaan 5000 dollaria. Laite on molemmissa sama, mutta yritysversiossa hintaan sisältyy useampia taustatoimintoja ja tukipalveluita. (HoloLens n.d. a.)



Kuvio 12. Microsoftin kehittämä HoloLens sivusuunnasta kuvattuna (Microsoft News Center 2015).

Kuviossa 12 näkyvä HoloLens ei tarvitse toimiakseen erillistä tietokonetta, sillä laitteessa on tarvittava laskentateho itsessään. Laitteen tietoliikenneyhteys toimii wifin kautta.

(Rubino 2016.) Vaikka Microsoft sanoo laitteen resoluutiosta puhuessaan laitteessa olevan kaksi HD 16:9-valomoottoria, lähteen mukaan Microsoft on myös kirjoittanut laitteen resoluution olevan 720p tai 1268 x 720 per silmä ja kuvataajuuden maksimiksi 60 kuvaa per sekunti (Hachman 2016b). Laitteen näkökenttää ei lähteissä yleensä kerrottu suoraan, sitä on vain sanottu kapeaksi. Kuitenkin Engadgetin artikkelissa verrattaessa HoloLensiä Meta Companyn Meta 2:een kerrottiin, että HoloLensin näkökenttä olisi 30 astetta (Hardawar 2017). Tällaista näkökenttää voi verrata kahden metrin levyisen television näkymän katselemista kolmen metrin etäisyydeltä. HoloLens painaa 544 grammaa (Rubino 2016).

Pään asentoa ja tilassa liikkumista laite mittaa kiihtyvyysantureiden, gyroskoopin, magnetometrin ja kameroiden avulla. Nämä sijaitsevat laitteessa itsessään. Syvyysanturin avulla HoloLens kartoittaa tilan, jotta se voi kiinnittää 3D-sisältöä suhteessa todelliseen ympäristöön. (Martin 2017.) Laitetta on mahdollista ohjata käsien eleillä, pään asennolla ja äänillä (HoloLens n.d. b). Käsillä ohjauksessa on hieman matkittu tavallisen tietokoneen ohjaamista. Jotkin käsien eleistä vastaavat tietokoneen hiiren käyttämistä ja kirjoittamiseen voi käyttää holografista näppäimistöä. (Spence 2017, 2.)

Microsoft on ilmoittanut jo vuoden 2016 puolella joistakin HoloLensille tulevista sovelluksista. Laitteelle on tulossa sovellus, jonka tarkoitus on auttaa lääketieteen opiskelijoiden anatomian oppimista. Tämän lisäksi NASAlta on tulossa sovellus, jonka avulla pääsee tutkimaan Marsia. AR-laitteille sopivampi versio suosituista Minecraftista tulee olemaan HoloLensin ensimmäinen peli. (Martin 2017.) Laitteelle on mahdollista luoda sisältöä käyttäen Visual Studio 2015 -ympäristössä Unity-pelimootoria (Rubino 2016).

Käyttömukavuutta on eri lähteissä kommentoitu vaihtelevasti. Toisille HoloLens asettuu mukavasti päähän ja pysyy siinä hyvin pidempiäkin aikoja, vaikka laitteen painon huomaakin käytössä (Spence 2017, 2). Toisilla on vaikeuksia laitteen istuvuuden kanssa ja se ei tunnu tukevalta, ellei sitä kiristä epämukavan kireälle. Laitteen mukana tulee myös vaihtoehtoiset pään yli laitettavat hihnat, jotka saattavat auttaa tämän ongelman kanssa. (Hollister 2016.) Laite on langaton ja akkukesto on arvioitu kahdesta kolmeen tuntiin (Rubino 2016). Erityispiirteenä HoloLensissä on mahdollisuus jakaa näkymä usean eri laitteen kesken. Tämä mahdollistaa 3D-objektien työstämisen samanaikaisesti muiden kanssa. (Spence 2017, 3.)

Microsoft on avannut Holographic-kehitysympäristön muille valmistajille. Kuluttajaversioita laitteesta on odotettavissa kolmansilta tahoilta. Ennakkotiedoissa hinnaksi on mainittu 299 dollaria. Näin alhainen hinta käytännössä tarkoittaa laitetta, joka ei ole itsenäinen vaan vaatii siihen kytketyn tietokoneen toimiakseen. (Martin 2017.) Microsoft on kertonut nykyisen mallin olevan vain ensimmäinen versio, eli HoloLensistä on tulevaisuudessa luvassa uusia malleja (Gothard 2017). Hololens 2.0 tulee markkinoille vuonna 2019. Laajemman näkökentän lisäksi siihen on luvassa huomattavasti tarkempi ympäristön 3D-hahmotus. Teknologiademo uudesta hahmotuksesta on linkin takaisessa artikkelissa. <https://hololens.reality.news/news/new-video-shows-precise-hololens-2-0-depth-sensing-will-be-0186462/>

4.3.2 Meta 2

Meta 2 on Meta Company:n kehittämä AR-laite. Meta 2:n kehittäjäversiota toimitetaan hintaan 949 dollaria. Hinnan ilmoitetaan nousevan huomattavasti laitteen tullessa yleisesti saataville. (Hardawar 2017.) Kuluttajaversiosta pyritään saamaan malli tuottajakuluttajille eli sisällön tuotantoon itse osallistuville kuluttajille, vuonna 2018 ja valmis laite pyritään saamaan markkinoille vuonna 2020 (Zakarin 2017).



Kuvio 13. Johdollinen Meta 2 (Meta n.d. a).

Meta 2 vaatii toimiakseen erillisen tietokoneen, jossa on joko Windows 8 tai 10 ja tietoliikenneyhteys toimii tämän kautta. Macintosh-tukea on suunniteltu myöhemmin vuodelle 2017. (Meta n.d. b.) Kuviossa 13 näkyy laitteen takaosassa oleva johto. Laitteen näytön resoluutio on 2560 x 1440 kokonaisuudessaan, virkistystaajuus on 60Hz ja näkökenttä 90 astetta (Meta n.d. c). AR-laite painaa ilman johtoa ja kiinnityspantaa 420 grammaa. Näistä tulee painoa lisää 210 grammaa. (Meta n.d. d.)

Pään asentoa ja tilassa liikkumista laite mittaa antureiden avulla, nämä sijaitsevat laitteessa itsessään. Anturit mahdollistavat käsien tai esimerkiksi siveltimen vuorovaikutuksen laitteen luomien hologrammien kanssa. Käsien avulla voi tarttua hologrammeihin kuin ne olisivat oikeita esineitä ja käsitellä niitä luonnollisen oloisesti. (Meta n.d. b.) Jotta käsillä ohjaaminen olisi sujuvaa, on Meta Company luonut omaa käsien elekieltään tätä tarkoitusta varten (Hardawar 2017).

Toistaiseksi Meta 2:lle ei ole runsaasti sovelluksia. Oletettavasti tähän kuitenkin tulee muutos, kun sovelluskehittäjät pääsevät työskentelemään laitteen kanssa. (Hardawar 2017.) Laitteella on mahdollista käyttää Windowsille tarkoitettuja perinteisiä sovelluksia (Meta n.d. b). Meta Companyn on tarkoitus myös tuottaa itse laitteelle sovelluksia (Zakarin 2017). Sovellusten luominen laitteelle onnistuu Meta 2 -ohjelmistokehitysvälineistöllä, joka on rakennettu Unity-pelimoottorin päälle. Käytännössä sovellukset Meta 2:lle luodaan Unityllä ja C#:lla. (Meta n.d. b).

Meta 2 on langallinen, mutta yhtiöllä on pyrkimys tuottaa langaton versio vuodelle 2018 (Ulanoff 2017). Tämä mahdollistaa AR:lle luonnolliset, helppoa liikkuvuutta vaativat sovellukset ilman erillistä tietokonetta ja siten vahvistaa laitteen kilpailukykyä. Vaikka laitteen ulkonäköä on sanottu kömpelöksi, on käyttömukavuutta kehitetty. Laitteen pään muotoihin mukautuva materiaali lisää käyttömukavuutta ja vakautta, jolloin se pysyy tukevammin päässä, eikä heilu käytettäessä. (Hardawar 2017.) Meta 2:n kanssa on mahdollista käyttää silmälaseja (Meta n.d. b).

4.3.3 ODG R-9



Kuvio 14. Sivusta kuvattuna R-9 AR-lasit (ODG 2017a).

R-9 on ODG:n eli Osterhout Design Groupin kehittämä AR-laite. ODG itse kutsuu laitetta älylaseiksi, mutta tässä työssä käytän termistön selkeyden vuoksi myös näistä termiä AR-lasit tai -laite. Laitteen ominaisuuksien puolesta se kuuluu määrittelyyn, joka tässä työssä on AR-laseille annettu. Kuviossa 14 näkyvä R-9 on vielä prototyyppivaiheessa ja laitteen toimitukset eivät ole alkaneet vielä syyskuussa 2018. Hinnaksi on esitetona kerrottu noin 1800 dollaria. (ODG n.d. a.)

R-9 ei tarvitse erillistä tietokonetta, sillä laitteessa on oma mobiililaitteisiin tarkoitettu prosessorinsa (ODG n.d. a). Laitteen tietoliikenneyhteys toimii wifin kautta. Näyttöjen resoluutio on 1080p per silmä, näkökenttä 50 astetta ja kuvataajuuden maksimi on 60 kuvaa per sekunti. (ODG 2017b.) AR-laitteen painon kerrotaan alittavan 184 grammaa (Lunden 2017). Yrityksen oma datalehti:

<https://www.osterhoutgroup.com/downloads/pdf/product/R-9-TechSheet.pdf>

Pään asentoa ja tilassa liikkumista laite mittaa itse laitteessa olevien kameran ja antureiden avulla. Kamera ja anturit seuraavat laitteen liikettä ja vertaavat sitä ympäristön liikkeisiin reaaliaikaisesti. (Davies 2017.) R-9:n ennakoidaan tukevan PTC:n Vuforia-AR-teknologia-alustaa, joka mahdollistaa 3D-sisällön sijoittamisen suhteessa todelliseen ympäristöön (ODG 2017b). Laitetta voi ohjata joko puheella tai käyttämällä laitteessa olevia näppäimiä ja rullaa (Segan 2017).

R-9:n avoin Android-alusta ja Vuforia-tuki mahdollistavat sovellusten helpon yhteensovittamisen laitteelle (ODG 2017b). Tämän lisäksi ODG aikoo julkistaa useita eri AR-viihdemuotoja, jotka ovat suunniteltu laitteen ominaisuuksien mukaan (Lunden 2017). ODG esimerkiksi tekee yhteistyötä 21st Century Foxin kanssa suunnitellen laitteelle sopivaa 3D-sisältöä, kuten elokuvia (Robertson 2017). Laitteelle on mahdollista luoda sisältöä käyttäen esimerkiksi ReticleOS, Android Nougat -kehitysympäristöä, joka on optimoitu ODG:n lasille (ODG n.d. b).

Laite on langaton ja on arvioitu, että täydellä AR-kokemuksella laitteessa on noin kahden tunnin akkukesto. Elokuvia katsellessa käyttöaika pitenee 4–5 tuntiin ja internetin selailussa ja satunnaisessa käytössä päivän mittaiseen akkukestoon. Laseihin on mahdollista saada lisälinssit vahvuuksilla, mutta laitetta voi testaajan kokemuksen mukaan käyttää silmälasien päällä. R-9:n ulkonäköä on kommentoitu kuvaamalla niitä ylikokoisien aurinkolasien näköisiksi. (Davies 2017.) Erityispiirteenä AR-laitteessa on laajennusliitäntämahdollisuus. Sen avulla on mahdollista liittää laitteeseen erilaisia anturimoduuleita, jotka voivat lisätä uusia tai parantaa laitteessa olemassa olevia ominaisuuksia. (Robertson 2017.)

4.3.4 Magic Leap sekä muut AR-lasit ja odotettavissa olevat julkistukset

AR-lasien odotetuin lupaus on Magic Leap. Yhtiö on pitänyt kehiteillä olevan teknologiansa salassa julkisuudesta ja esitellyt tuotteen tai prototyypin sijaan markkinointivideoita. Yhtiöltä odotetaan paljon, koska sijoittajat ovat investoineet yhtiöön jo 2,3 miljardia dollaria. Kehittäjäversio on nyt pitkän odotuksen jälkeen esitelty medialle ja sen toimituksen kehittäjille ovat alkaneet loppukesällä 2018. Seuraavat tiedot perustuvat aihetta aktiivisesti seuranneiden toimittajien artikkeleihin.

<https://www.cnet.com/news/magic-leap-long-awaited-headset-will-ship-this-summer-and-everything-else-we-learned/>

<https://www.cnet.com/news/magic-leap-is-ready-to-talk-more-about-its-ar-headset/>



Kuvio 15. Magic Leap One siihen kuuluvine lisäosineen (ohjain ja tietokone)

USA:ssa laitteet ainakin alkuvaiheessa toimitetaan yksinomaan AT&T:n kautta. Laitteessa on Nvidian Tegra 2X -piiri, johon kuuluu tehokas keskussyksikkö ja grafiikka-prosessori. Käyttöjärjestelmänä on merkittävästi laajennettu 64-bittinen Linux. Creators edition -versio on tilattavissa valituissa Yhdysvaltojen kaupungeissa. Kehitysversion hinta on \$2.295.

<https://arstechnica-com.cdn.ampproject.org/v/s/arstechnica.com/gaming/2018/08/magic-leap-opens-orders-for-2300-creator-edition-ar-headset>
<https://www.theverge-com.cdn.ampproject.org/v/s/www.theverge.com/platform/amp/2018/8/8/17662040/magic-leap-one-creator-edition-preview-mixed-reality-glasses-launch>

Lasien asento ja sijainti suhteessa huonetilaan tunnistetaan kuudella vapausasteella ja laitteen kamerrat tunnistavat käsien sijainnin ja asennot, joita voi käyttää ohjaamiseen. Myös huoneen pintageometria tunnistetaan. Näiltä osin vastaavuus Hololensin toimintatapoihin on ilmeinen. Lasit tummentuvat tarvittaessa, mutta eivät muutu täysin läpinäky-mättömiksi. Hololensin tapaan laitteessa on myös näköalaa nauhoittava kamera tilaa hahmottavien lisäksi ja LED, joka osoittaa, milloin lasit tallentavat näkymää.

Magic Leapin hologrammien näkökenttä on alustavien tietojen mukaan vaakasuunnassa 40 astetta ja pystysuuntaan 30 astetta. Tämä on pinta-alana noin kaksinkertainen Hololensin ensimmäiseen version verrattuna, mutta edelleen olennaisesti VR-lasien näkökenttää pienempi ja tarkoittaa sitä, että AR-elementit leikkaantuvat reunoiltaan pois näkyvistä, mikäli ne ovat suuria tai näkökentän keskialueen ulkopuolella.

<https://venturebeat.com/2018/07/31/magic-leap-ones-field-of-view-leak-signals-another-ar-disappointment/>

Lasit sovitetaan päähän erillisten vaihtokelpoisten sovitussien avulla. Silmälaseja tarvitsevat joutuvat tilaamaan tarvitsemansa linssit erikseen ja ne lisätään laitteeseen. Omia silmälaseja ei siis Magic Leapin kanssa voi käyttää.

Lasit liitetään johtimella taskun päällä pidettävään, mukana kannettavaan pyöreään tietokoneeseen. Siinä on USB C, Wifi ja Bluetooth -liittimet. Akkukestoksi luvataan useita tunteja.

Magic Leapin mukana tulee ohjain, joka tunnistaa kuusi vapausastetta.

4.3.5 Muut merkittävät AR-lasit

Applen tiedetään kehittävän VR- ja AR-teknologiaa. Toistaiseksi kyse on ohjelmistollisesta panostuksesta ja mobiililaitteilla niiden näytön ”läpi” tarkasteltavasta lisäystä todellisuudesta. Apple on ilmoittanut tulevansa VR/AR-lasien markkinoille, kun teknologia mahdollistaa korkealaatuisen käyttökokemuksen ja arvioi, että se aika on 2020-luvun alussa. Toistaiseksi Applen mobiililaitteita ja ohjelmistoteknologiaa voi käyttää VR/AR-laseina kolmansien osapuolten silmikkotelineiden avulla.

AR-lasit on pääosin tarkoitettu helppoissa olosuhteissa ja sisätiloissa käytettäväksi. Joitakin älylaseja on kehitetty teollisen ympäristön vaatimuksiin, kuten ODG R7. AR-laseista Daqri on selkeimmin tavoittelemassa tätä käyttäjäryhmää, mutta ohjelmistoympäristön eksoottisuuden vuoksi sitä ei ole tarkasteltu perusteellisemmin tässä. Trimble on kehittänyt turvakypärän, joka toimii Microsoftin Hololensin telineenä. Tämä ratkaisu on ollut hankkeessa kokeiltavana ja toimii kaikissa olosuhteissa, jotka eivät ole Hololensin elektroniikalle liian vaativia.

5 Osoitustekniikat

Tässä luvussa tarkastellaan lyhyesti ratkaisuja, joissa VR- tai AR-lasien käyttäjä voi käsiensä avulla osoittaa ja käsitellä näkökentässään olevia virtuaaliobjekteja. Kaikille luvussa käsitellyille menettelytavoille yhteistä on se, että ne tunnistavat käsien sijainnin näkökentässä kolmiulotteisesti. Käsien asentojen tunnistuksen tarkkuus voi vaihdella eri ratkaisuissa. Koska osoitinlaitteita käytetään VR- ja AR-lasien kanssa, ei osoitinlaitteiden markkinoita ja sovellusalueita käsitellä erikseen. Markkina on edelleen varhaisessa kehitysvaiheessa, eikä varsinaista vakiintumista ole lukuun ottamatta lasien itsensä mukana toimitettavia kuuden vapausasteen ohjaimia.

Osoitinlaitteiden yleisperiaatteet selitetään kevyesti tyypiesimerkkien avulla. Laajaa toimintaperiaatteiden selostusta ei näiden laitteiden osalta anneta toimintaperiaatteiden moninaisuuden ja vakiintumattomuuden vuoksi. Kullakin ratkaisulla on toisistaan poikkeavia ongelmia ja rajoitteita.



Kuvio 16. Dexta Roboticsin Dexmo-hanskat (Dexta Robotics n.d. a).

Kuviossa 16 näkyvä Dexmo on Dexta Roboticsin valmistama puettava osoitinlaite, josta on kehittäjäversio. Nämä mekaaniset hanskat toimivat langattomina ulkoisina tukirankoina käsille eli eksoskeletonina. Laite mittaa käden liikettä yksittäisten sormien

tarkkuudella. Laitteen omasta ohjelmistokehitysvälineistöstä on mainittu, että se voisi toimia minkä tahansa 3D-maailman kanssa. Esimerkkinä yhteensopivista laitteista on mainittu mm. Oculus Rift, HTC Vive ja HoloLens. Erityispiirteenä laite antaa palautetta käyttäjän käsittelemistä virtuaalisista objekteista antamalla käyttäjän sormille vasteen. Tämä vaste mahdollistaa virtuaaliobjektien erilaisten muotojen ja materiaalin lujuuksien kokemisen. Vasteen lisäksi on syytä huomioda, että Dexmo saavuttaa 25-50 ms latenssin. (Dexta Robotics n.d. b.) Lyhyehkö latenssi johtuu siitä, että toiminta perustuu mittaukseen, jossa ei tarvita erillistä hahmontunnistusvaihetta. Hieman vastaava laite on myös Hapto, joka toimii kaikkien PC:hen kytkettävien VR-laitteiden kanssa (Hapto n.d.).

Manus VR -hanskojen valmistaja on tuotteensa kanssa samanniminen Manus VR. Kuviossa 17 näkyvä laite mittaa käsien ja sormien suhteellista liikettä. Käsien sijainnin tunnistamiseen voi käyttää laitteeseen kuuluvaan rannekkeeseen liitettävää erikseen hankittavaa mittalaitetta, kuten Vive Trackeria. Tällainen mittalaite mahdollistaa myös käsivarsien näkymisen virtuaalimaailmassa. Windows on mainittu Manus VR:n hanskojen yhteensopivaksi ohjelmistoalustaksi. Hanskat antavat käyttäjälle palautetta värinän avulla. Erityisenä huomiona voidaan pitää laitteen erittäin alhaista 5 ms latenssia. (Manus VR 2017)



Kuvio 17. Manus VR -puettava hanska (Manus VR n.d.).

Käsien ja sormien liikkeitä mittaavia hanskoja kehittävät muutkin valmistajat, kuten Finch, jonka laitteen kehittäjäversio toimii esimerkiksi Oculus Riftin kanssa (Finch n.d.). Myös Oculus on valmistanut prototyypin omista hanskoistaan (Constine 2017). Puettavia osoitinlaitteita on toteutettu edellä mainittujen lisäksi tavoilla, joita ei voi kutsua data-hanskoiksi. Thalmic Labsin Myo on langaton ohjausranneke, joka mittaa käyttäjän käsivarren lihaksissa liikkuvia sähköisiä signaaleja. Laite ei kirjoitushetkellä toimi VR-lasien sovellusten kanssa, mutta yhteensopivuus on kehitteillä. (Oscillada 2017.)

Puettavien osoitinlaitteiden lisäksi käsien asentoja kuvaavia kameralaitteita ja ohjelmistoja on kehitelty paljon. Leap Motionin laite Leap Motion VR voidaan kiinnittää VR-laseihin, joista se kuvaa käyttäjän käsiä (Oscillada 2017). Leap Motion lupaa, että laitteen kehittäjäversion voi liittää mihin tahansa Windows VR -laseihin (Leap Motion 2017).

Kamerakuvaan pohjautuvia menetelmiä on useita ja näiden vaikutukset tarkkuuteen ja latenssiin sekä laskennan vaativuuteen ovat erilaisia (tarkemmin näihin algoritmeihin liittyvästä tutkimuksesta ks. Taylor, Bordeaux, Cashman, Corish, Keskin, Sharp, Soto, Sweeney, Valentin, Luff, Topalian, Wood, Khamis, Kohli, Izadi, Banks, Fitzgibbon & Shotton 2016). Kameralaitteissa on syytä ottaa huomioon, että kamerat eivät voi mitata käsien asentoa, mikäli kädet ovat kameralta piilossa. Tämä voi tapahtua helpostikin, sillä kamera ei kykene näkemään esteen tai toisen käden taakse. Mikäli VR-laseissa on käyttäjän eteen kuvaava kamera, voi sen avulla käyttää käsiä ohjaimina, mikäli käytössä on tarvittava ohjelmisto tätä varten.

Tällä hetkellä tavallisin tapa käsien liikkeiden ja sijainnin mittaamiseen VR-lasien sovelluksissa ovat edellä kuvattuja tekniikoita yksinkertaisempia ohjaimia, joissa tyypillisesti on painikkeita toimintojen suorittamiseksi. Tällaisia ovat esimerkiksi Oculus Touch -ohjaimet ja HTC Viven mukana tulevat. Näissä laitteissa lasien mukana tulevat pään sijaintia mittaavat sensorit ja tukiasemat tarvitaan myös ohjainten liikkeen mittaamiseen. Nämä ohjaimet eivät kykene mittaamaan yksittäisten sormien asentoja, mutta Oculus Touch kykenee erottamaan joitakin yksityiskohtia, esimerkiksi etusormen nostamisen ohjaimelta, jolloin käyttäjä voi virtuaalisesti osoittaa jotakin virtuaalimaailmassa. Viven ohjaimet eivät kirjoitushetkellä tarjoa tällaista mahdollisuutta. (Shanklin 2016.) Joissakin sovelluksissa on mahdollista käyttää älypuhelinia ohjaimena, sillä älypuhelimissa tyypillisesti on antureita liikkeen ja asennon tunnistamiseen. Tällaisen mahdollisuuden tarjoaa esimerkiksi Univrses (Univrses n.d.). Microsoft Mixed Reality -lasien mukana tulevat ohjaimet eivät myöskään tarvitse erillisiä VR-lasien ulkopuolisia sensoreita tai tukiasemia, kuten luvussa 3.3.3 mainittiin.

6 Virtuaalinen etäneuvontaratkaisu

Tässä luvussa esitellään hankkeessa tarkasteltua etäneuvonnan palvelukonseptia sen yleisellä toiminnallisella tasolla. Lisäksi luodaan katsaus konseptin teknisiin ja toiminnallisiin ongelmakohtiin. Lopuksi kuvataan kokeiluhankkeen näkökulmasta mielekkäimmiksi valitut tekniset toteutustavat ja kokeilun vaiheistus.

6.1 Konseptin yleinen esittely

Kuten luvussa 2 todettiin, huoltokohteeseen saapuvalla huoltohenkilöllä ei aina itsellään ole tarvittavaa asiantuntemusta havaitun ongelman ratkaisemiseksi. Perinteiset keinot tähän ovat asiantuntijan lähettäminen paikalle, huoltohenkilön palaaminen asiantuntijan tai lähdeostosten luokse saamaan lisäohjeita tai etäneuvonta. Mikäli esimerkiksi lyhyellä puhelinsoitolla saadaan tarvittava lisätieto, on etäneuvonta näistä edullisin ratkaisu.

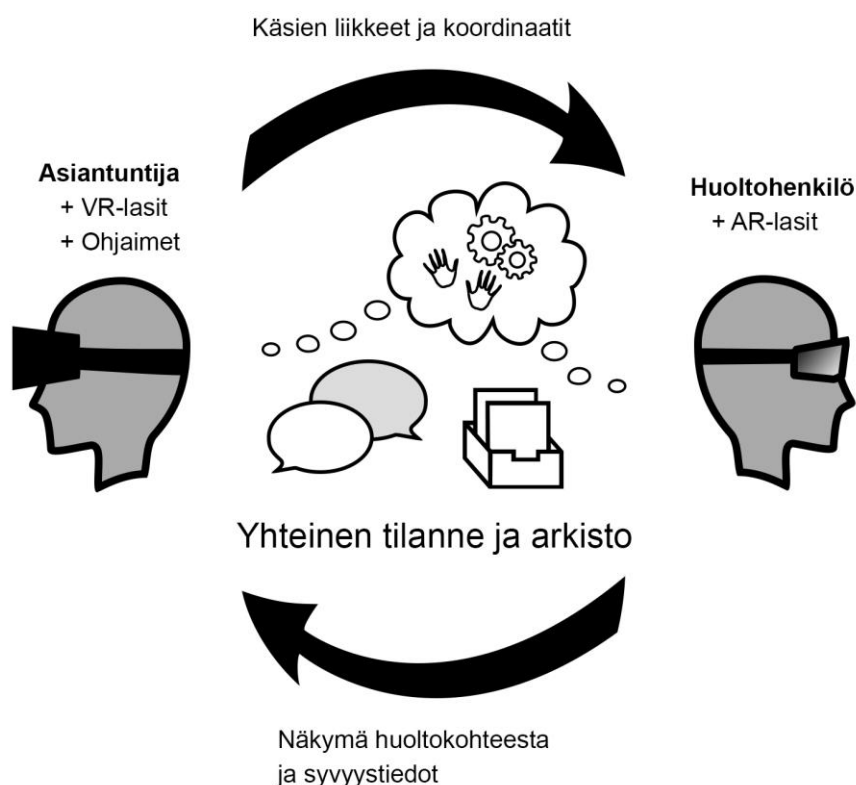
Tavallisessa puhelinyhteydessä ongelmaksi usein muodostuu se, että kokemattomalla huoltohenkilöllä ei aina ole sanoja selittää näkemäänsä, eikä ymmärrystä havaita, mikä tilanteessa on olennaista. Vaikka asiantuntija ymmärtäisikin huoltohenkilön puheesta kyseisen tilanteen ongelmat, voi hänen olla vaikea selittää sanallisesti huoltohenkilölle, miten korjaus tulisi suorittaa. Selittäminen on haastavaa, mikäli tilanne vaatii monimutkaisia käden liikkeitä tai jos vaihtoehtoja ja tulkinnanvaraisuutta on paljon.

Neuvontatilanne helpottuu huomattavasti, jos käytössä on edes valokuva kohteesta. Nykyisillä kännyköillä tämä on helppo toteuttaa. Videoyhteys parantaa tilannetta erityisesti, jos kamera on sijoitettu siten, että huoltohenkilön kädet ovat vapaat ja näkyvät kamerakuvassa. Tämä on luontevin toteuttaa siten, että kamera sijaitsee lähellä silmiä, jolloin asiantuntija näkee saman, minkä huoltohenkilö näkee. Yhteinen näkymä poistaa ison osan huoltohenkilön selitystarpeesta ja helpottaa jossain määrin asiantuntijan ohjeiden antamista, koska asiantuntija voi esimerkiksi pyytää siirtämään toista kättä hieman oikealle.

Pelkkä yhteinen näkymä ei kuitenkaan poista ongelmaa kokonaan esimerkiksi monimutkaisempien kädenliikkeiden osalta ja pelkkä oikean kohdan tai komponentin osoittaminenkin on sanojen avulla yleensä suoraa osoittamista hankalampaa. Useissa tehtävissä opettaminen tapahtuu näyttämällä ensin, ja ihminen oppii esimerkeistä pelkän selostuksen sijan. Eräs ratkaisu on se, että asiantuntija piirtää ohjeita saamaansa kuvaan (tämä lisää luvussa 6.4). Tämä edellyttää vähintään sitä, että kuva voidaan

lähettää huoltohenkilölle takaisin ja hänellä on riittävä välineistö sen katsomiseen tarpeellisella tarkkuudella.

Mikäli asiantuntija olisi itse paikan päällä, hän luultavimmin näyttäisi hankalimmat asiat omin käsin. Tässä hankkeessa tutkittu konsepti tähtää samaan lopputulokseen siten, että asiantuntijan ei tarvitse itse matkustaa huoltokohteeseen ja huoltohenkilö tästä huolimatta näkee asiantuntijan kädet huoltokohteessa. Saman konseptin avulla saavutetaan myös nämä muut kuvatut hyödyt.



Kuvio 18. Huoltohenkilön ja asiantuntijan yhteys ja jaettu kokemus

Ihanteellisessa muodossaan konsepti on kuviossa 18 havainnollistetun mukaisesti seuraava:

- Kenttähuollon henkilöllä on mukanaan AR-lasit ja riittävä tietoliikenneyhteys.
- Asiantuntijalla on VR-lasit ja datahanskat.
- Asiantuntijalle välitetään huoltohenkilön AR-laseista 3D-kuva ja huoltohenkilön ääni.

- Asiantuntijan omat kädet lisätään VR-tekniikalla tähän vastaanottamaansa kuvaan ikään kuin hän olisi samassa tilassa ja asennossa kuin huoltohenkilö.
- Huoltohenkilön näkökenttään välitetään asiantuntijan kädet samassa sijainnissa suhteessa huoltohenkilön ympäristöön kuin asiantuntija ne VR-laseillaan näkee.

Edellä mainittujen hyötyjen lisäksi tämän ratkaisun muihin hyötyihin kuuluu esimerkiksi se, että näin on mahdollista saada toteutuneet etäneuvonnan tapahtumat sekä ongelmittakin onnistuneet huoltotoimet arkistoon. Arkistoidut ohjeet ja onnistuneet huoltotoimet on mahdollista näin toimien katsoa samankaltaista tehtävää valmisteltaessa, vaikka tietoliikenneyhteyttä ei huoltokohteessa olisi tai asiantuntija ei olisi käytettävissä. Huoltohenkilön on myös mahdollista katsoa laitekäsikirjoja ja ohjevideoita samalla laitteistolla, vaikka etäneuvontaa ei tapahtuisi.

Tärkeänä hyötynä voidaan pitää oppimateriaalin syntymistä. Epäonnistuneita huoltokäyntejä voidaan tarkastella asiantuntijan avulla. Asiantuntija voi osoittaa, mitkä työn vaiheet olisi kannattanut tehdä toisin. Alan oppilaitoksissa voidaan myös käyttää näin syntyneitä aineistoja opettajan johdolla ikään kuin oltaisiin huoltokohteessa.

AR-lasien käyttö tarjoaa edellä kuvattujen lisäksi useita muita hyödyntämismahdollisuuksia. Mikäli kohde on mallinnettu, voidaan mallia tarkastella etukäteen. Jos laitteen mittaristo tai laitteen vaikutusalueen mittatiedot ovat digitaalisesti saatavilla, voivat tiedot näyttää AR-lasien näkymässä. Samaten huoltohenkilön käytössä olevien muiden mittalaitteiden tiedot voivat näkyä kohteessa tai ne voidaan yhdistää kohteesta syntyvään arkistokuvaan ja asiantuntijan näkymään. Tällaisia tietoja ovat esimerkiksi lämpökamerakuva ja ääniaaltojen visualisointi, joiden avulla voidaan paikantaa lämpövuotoja sekä äänieristyksen puutteita.

Ideaalitoteutuksessa on useita teknisiä haasteita. Yksinkertainen toteutus olisi, jos sekä asiantuntijalla että huoltohenkilöllä olisi molemmilla kameralliset VR-lasit. Silloin saman kuvan näkeminen samoilla etäisyyksillä onnistuu helposti, kun henkilöt näkevät täysin saman kuvan. Tässä ainoaksi ratkaistavaksi ongelmaksi, joka ei sisälly luvuissa 3 ja 4 aiemmin mainittuihin laitteiden ominaisuuksiin, jäisi asiantuntijan käsien sijoittaminen kuvaan ja kuvansiirto tietoliikenneteitse. Tämä VR-lasien käyttö ei kuitenkaan huoltohenkilön tapauksessa ole kirjoitushetkellä tyydyttävää, koska VR-lasien kautta katsottua kamerakuvaa todellisuudesta ei voida pitää tarkkuudeltaan huolelliseen työhön

riittävänä. Tässä luvussa käsitellyssä ideaalikonseptissa huoltohenkilön käytössä on siksi AR-lasit, joissa todellinen ympäristö näkyy luonnollisen tarkkana. Asiantuntijalla sen sijaan AR-lasien käyttö olisi häiriötekijä, sillä AR-laseista näkyvä todellinen ympäristö on etäneuvontakäytössä tarpeetonta ja AR-lasien suppeampi näkökenttä voisi haitata etäneuvontaa. Ihanteellisen ratkaisun sijaan, on mahdollista käyttää osittaisratkaisuja, joista kerrotaan tarkemmin luvussa 6.4. ihanteellisen konseptin toteutuksen ongelmakohtia käsitellään luvussa 6.3.

Esitetyn ihanteellisen konseptin tekninen ratkaisu yleisellä tasolla vaatii sen, että AR-lasien ääni, kamerakuva tai kamerakuvasta muodostettu 3D-malli välitetään syvyystietoineen toiselle osapuolelle. Mikäli tietoliikenneyhteyden kapasiteetti on rajallinen, on kamerakuvaa pakattava ja mikäli välitetyn kamerakuvan rakenne syvyystietoineen ei ole yhteensopiva laitteiden kesken on kuvamuotoa tarvittaessa muutettava vastaanottavalle laitteelle sopivaksi. Tämä ongelma saattaa ilmetä erityisesti syvyystietojen osalta, sillä niihin ei ole vakiintuneita standardeja.

Asiantuntijalla on oltava sellaiset VR-lasit, joilla tätä huoltohenkilön lähettämää kamera-näkymää voidaan katsoa ja kuulla huoltohenkilön ääni. Lisäksi asiantuntijan käsien tai käsissä olevien datahanskojen sijainti ja asento tulee voida mitata ja yhdistää asiantuntijan näkymään riittävän tarkasti. Tämä tehdään VR-lasien sallimilla ohjelmointitekniikoilla tai valmiilla sovelluksilla. Teknisenä haasteena tässä on kalibroida videokuvan antama koordinaatisto samaksi kuin käsien sijainnista saatu mittatieto.

Nämä mittatiedot ja asiantuntijan ääni tulee välittää huoltohenkilön AR-laitteeseen näkyväksi ja kuuluvaksi. Huoltohenkilön näkökentässä tekniikka- ja kalibrintihaaste on samankaltainen kuin asiantuntijan käsien mittatietojen liittäminen VR-kuvaan. Ongelmaa vähentää se, että tässä ihanteellisessa konseptissa huoltohenkilön ja asiantuntijan näkökulma on sama, jolloin syvyystiedossa tapahtuva virhe ei ole niin usein merkityksellinen. Kummissakin laseissa asiantuntijan käsien sijoittaminen kamerakuvaan on samankaltainen ongelma, jonka ohjelmallinen ratkaisu on helpoin, mikäli lasit käyttävät yhteistä ohjelmistoalustaa.

Suoran laitteiden yhteyden lisäksi tulee tarkastella mahdollisuutta, jossa huoltohenkilön AR-lasien tiedot ohjataan pilvipalveluun esimerkiksi Khronos Groupin avoimen WEB GL-rajapinnan avulla, joka on suunniteltu 3D-sisältöä silmällä pitäen. Unity-ympäristö on

hyödyiltään vastaava ja siihen on tuki kaikissa tärkeimmissä VR/AR-laiteympäristöissä. Hankkeen tärkein kokeilu ympäristö perustuukin Unityyn. Pilvipalvelu muodostaa saamiensa tietojen perusteella virtuaalisen tilan, johon asiantuntija voi liittyä. Tähän näkymään asiantuntijan kädet välitetään tavalla, joka näkyy asiantuntijan omien VR-lasien näkökentässä että huoltohenkilön AR-laseissa. Palvelimen käyttö virtuaalitalan luonnissa suoran yhteyden sijaan yksinkertaistaa erilaisten laitteiden yhteensopivuutta ideaalimallissa, vaikka saattaa aiheuttaa ylimääräisiä viiveitä. Itsenäisten lasien rajallisen laskentakapasiteetin vuoksi viive saattaa kuitenkin suorassa yhteydessä olla suurempi.

6.2 Mahdollisia käyttökohteita

Tässä esitellään lyhyesti mahdollisia sovellusalueita etäneuvonnan kohteista. Esimerkit ovat pääsääntöisesti ideatasolla, koska käytäntöön näistä ovat ehtineet vain harvat ja nekin lähinnä kokeilutasolla. Esimerkkien pääpaino on huoltotoiminnassa. Niitä kuvataan kuitenkin laajemmin, koska samaa ratkaisua voi käyttää muillakin aloilla ja tämän vuoksi kehityskustannukset eivät keskity yksinomaan huoltotoimintaan. Geneeristen ratkaisujen voidaan odottaa kehittyvän toimialakohtaisia ratkaisuja nopeammin (Pralad & Hamel 1990). Sarjavalmistuksella samoja geneerisyyteen pyrkiviä laitteita voi myös myydä monelle eri alalle ja saavuttaa massatuotannon hyödyt. Tämän vuoksi yleiskäyttöisyys on merkittävä etu.

Lentokonehuollossa erityisesti pienillä ja syrjäisemmillä kentillä on vaikea järjestää osaamista kaikkiin erilaisiin lentokonetyyppeihin. Boeingin arvion mukaan lentokoneen tunnin mittaisen seisokin hinnaksi voi muodostua jopa kymmeniä tuhansia dollareita. Mitä useampi ongelma saadaan ratkaistua paikalla olevan henkilöstön toimesta, sitä vähemmän seisonatunteja tarvitaan. Lentokävykkyyden määrittämiseen on hyvin tärkeää nähdä huoltokohde. Rakenteiden monimutkaisuuden vuoksi neuvominen pelkästään puhelimitse on hyvin vaativaa, sillä visuaalinen vuorovaikutus huoltokohteen kanssa on erityisen merkittävässä asemassa. (IFS 2017.)

IFS yhdessä XMRealityn kanssa on kehittämässä tässä työssä luvussa 6.1 esitetyn ihanteellisen konseptin kaltaista ratkaisua lentokonehuoltoon. Tavoitteena heillä on se, että ratkaisu on ilmailuviranomaisten hyväksymä ja korvaisi pakollisen fyysisen läsnäolon. Tähän asti on kehitetty ratkaisu, jossa huoltohenkilöllä on AR-lasit ja käytössään tabletti

ja neuvonta välittyy kaksikulotteisena kuvana. (IFS 2017.) Tämän tyyppisistä osittaisratkaisuista kerrotaan enemmän luvussa 6.4.

Armeijoiden käytössä olevat monimutkaiset koneet ovat usein pitkien etäisyyksien päässä, eikä jokaisen joukko-osaston matkassa voi olla niille kaikille asiantuntevia huoltohenkilöitä. Näissä tapauksissa etäneuvonnan tarve on ilmeinen laitteiden vikaantuessa. Joissakin tilanteissa, kuten kuvion 19 astronauteilla, etäisyys on niin suuri, että hyvin harvassa tilanteessa asiantuntijan lähettämistä paikalle edes harkitaan. Tämän lisäksi avaruusaluksien koneistot ovat erittäin monimutkaisia ja osa niistä erittäin herkkiä.



Kuvio 19. NASAn astronauteilla on ollut AR-lasit käytössä etäyhteydellä Maahan (NASA 2015).

Esimerkiksi autoliitto ja useat muut palveluorganisaatiot auttavat tielle jääneiden ajoneuvojen korjauksessa. Näissä tapauksissa paikalle saapuu lähinnä oleva henkilö. Ajoneuvovalikoiman runsauden vuoksi etäneuvonta voi merkittävästi parantaa onnistumistodennäköisyyttä. Onnettomuustilanteissa myös hinausauton kuljettajien

neuvonta voi olla tarpeen, jotta ajoneuvot saadaan siirrettyä takaisin tielle hinauksen vaurioittamatta ajoneuvoa tarpeettomasti.

Onnettomuuksissa pelastushenkilöstön saapuessa onnettomuuspaikalle ei heillä ole välttämättä riittävää osaamista kaikkien kiireellistenkään vammojen hoitoon ja potilaan olon vakauttamiseen. AR-lasien avulla saisi tietoliikenneyhteyden päässä oleva hoitava lääkäri tilannekuvan ja voisi täten paremmin ohjeistaan asianmukaiset toimenpiteet. (Kurillo, Yang, Shia, Bair & Bajcsy 2016)

Suuressa tehtaassa koneisto on tyypillisesti hyvin moninaista. Paikalla oleva huoltohenkilö kykenee laadukkaan etäneuvonnan avulla ratkaisemaan useampia ongelmia. Näin hänen ei tarvitse turvautua itsenäiseen hitaaseen ongelmanratkontaan, eikä monessa tilanteessa ole tarvetta kutsua ulkopuolista asiantuntijaa paikalle.

Mikäli huoltokohteessa tarvitaan varaosia, jotka on huonosti luokiteltu tai merkitty, AR-laitteella voisi ottaa yhteyden varaosia toimittavaan tahoon, jonka asiantuntija voi selvittää tarvittavat oikeat varaosat ja laittaa ne heti tilaukseen. Mikäli varaosista on kuvia, on huoltohenkilön helppo verrata kuvia edessään oleviin viallisiin osiin.

Kuljetusliikkeet suorittavat huomattavassa määrin myös asennustehtäviä. Asennettavat laitteet ovat moninaisia, eikä kuljettajalla aina ole riittävää asiantuntemusta asennuksen virheettömään suoritukseen. Vastaava ongelma on myös rakennusosalalla monissa rakentamiseen liittyvissä tehtävissä esimerkiksi silloin, kun rakennettavan talon asukkaat ovat itse valinneet omat asennettavat keittiö- ja kylpyhuonekalusteensa.

Kiinteistökannassa on laajasti huoltokäyntejä aiheuttavaa tekniikkaa, jota on asennettu useiden eri vuosikymmenten aikana. Useiden huoltokäytäntöjen ja tarvittavien varaosien tunnistaminen on siksi usein haastavaa. Monissa kiinteistöhuollon tehtävissä joutuu lisäksi osittain puuttumaan toisten alojen tehtäviin, kuten esimerkiksi putkitöissä tai ilmanvaihtotöissä voi joutua kytkemään irti sähköjä itselle vieraasta sähkötaulusta.

Suunnittelussa, jossa on olemassa oleva tila, kuten esimerkiksi sisustussuunnittelussa, voidaan myös hyödyntää etäneuvontaa. Aiemmin esitetyn ihanteellisen konseptin lisäksi etäneuvoja voisi lisätä asukkaan tai toteuttajan näkökenttään uusia sisustuselementtejä. Tässä tapauksessa sisustussuunnittelijan käsien näkyminen ei ole merkityksellistä.

Sisustussuunnittelijan tulisi sen sijaan voida lisätä käyttäjän näkyville virtuaalisia sisustuselementtejä, kuten huonekaluja ja tekstiilejä. Useissa muissakin edellä kuvatuissa tilanteissa voi olla mielekästä etäneuvojan käsien sijaan näyttää esimerkiksi käsissä olevat työkalut. Tätä näkökulmaa ei tarkastella tässä työssä tämän pidemmälle.

Konseptin variaationa voidaan pitää toimintaa, jossa lopputarkastuksen suorittaja tai kuntotarkastuksen suorittaja käyttää AR-laseja ja merkitsee tarkastuksessa lasien synnyttämään VR-malliin tarvittavat toimenpiteet. Huoltohenkilö näkee kohteessa työtä suorittaessaan omissa AR-laseissaan nämä merkinnät ja toimii niiden mukaan. Tässä tapauksessa molempien ei tarvitse olla paikalla samanaikaisesti ja merkintöjen virheelisen tulkinnan mahdollisuus laskee.

6.3 Ongelmakohtat

Seuraavaksi esitellään mahdollisia yleisiä ongelmakohtia, joita voi liittyä laitteiden käyttöön. Sen jälkeen esitellään aiemmin luvussa 6.1 kuvatun konseptin mahdollisia erityisongelmia, joita ei välttämättä muissa käyttötarkoituksissa esiinny. Näitä ja muitakin tässä mainitsemattomia potentiaalisia ongelmakohtia tulisikin tutkia kokeilujen avulla tarkemmin ennen merkittäviä investointeja.

6.3.1 Yleiseen käyttömukavuuteen liittyviä ongelmakohtia

Käyttömukavuuteen liittyviä näkökohtia käsiteltiin AR- ja VR-lasien esittelyissä luvuissa 3 ja 4. Havaintojen perusteella voi olettaa, etteivät yksittäiset laitteet sovi kaikille yhtä hyvin. Jokaisen pään muoto on erilainen, ja vaikka laseissa on pyritty ottamaan tätä huomioon lisäämällä esimerkiksi kiristyshihnoja, voi olla, ettei laitetta saa säädettyä itselleen mukavaksi (Hollister 2016). Kuten esittelyistä voimme päätellä, silmälasien mahtuminen laitteen ja kasvojen väliin ei myöskään ole itsestäänselvyys. Joissakin laitteissa, kuten Magic Leapissa on jopa tarkoitus, että silmän näkökykyä korjaava optiikka teetetään näitä AR-laseja varten erikseen ja integroidaan itse laseihin.

Työssä esitettyjen laitteiden painot vaihtelivat jonkin verran keskenään, ja tämä voi olla joissain tapauksissa este erityisesti pidempiaikaiselle käytölle. Jos paino ei jakaudu mukavasti pään ympärille, voi laitteen käyttö aiheuttaa tarpeetonta rasitusta niskalle.

Vaikka laitteen paino olisi sopivasti tasapainotettu, on mahdollista, että työskentely-asennon vaatiessa kumarassa oloa, laite joka tapauksessa rasittaa esimerkiksi niskaa. Tällöin erityisesti pitkäaikaisessa käytössä voi tämä ylimääräinen rasitus olla hetkellistä epämukavuutta suurempi ongelma. Mikäli laite kiristetään pään ympärille hölskymisen estämiseksi, on mahdollista, että hihnojen tai muiden kiinnitystapojen täytyy olla hyvinkin kireästi pään ympärillä. Tästä voi seurata muun epämukavuuden lisäksi pääkipua. Pääkipua on koettu VR-lasien pitkäaikaisessa käytössä myös silmiin kohdistuvan jatkuvan valon vuoksi (Hern 2017).

Lasien painon tunnetta tasaavaa ja ulkopuolista valoa estävää tiivyttyä erityisesti VR-laseissa on lisätty pehmusteilla. Näiden likaantuminen on mahdollinen haitta ja kaikissa laitteissa näitä pehmusteita ei saa vaihdettua.

Joidenkin laitteiden vaatima langallinen yhteys erilliseen tietokoneeseen voi rajoittaa liikkuvuutta, ellei tietokonetta kanneta mukana. Mikäli käytetään paikallaan olevaa tietokonetta ja johdot sallivat runsaasti liikkumatilaa, voivat ne silti aiheuttaa vaaratilanteita, kuten kompastumisia (Painter 2016, 1). Mikäli laite ei vaadi erillistä tietokonetta tai johtoja, voi laitteen akkukesto rajoittaa käyttöä. Mikäli akkukesto ei ole koko päivän käyttöön riittävä, täytyy laitteen akku ladata riittävän usein. Tämä ei aina ole käyttötilanteissa mahdollista. Sen vuoksi on erittäin tärkeää miettiä mahdolliset laitteen käytön keskeytykset ja niiden vaikutukset etukäteen ja suunnitella käyttöä sen mukaisesti.

6.3.2 Havaintokykyyn liittyviä ongelmakohtia

Mikäli laitteen oma tai katsottavan videokuvan resoluutio on liian pieni, eivät yksityiskohdat erotu. Epätarkan kuvan katsominen ei ole miellyttävää, ja yksityiskohtien puuttuminen voi aiheuttaa virhetulkintoja siitä, mitä kuvassa näkyy. Resoluution lisäksi suuri latenssi ja ristiriita nähdyn oman liikkeen ja lihastunnon välittämän liikkeen välillä voi vaikeuttaa kuvan seuraamista. Latenssi voi kasvaa esimerkiksi pienestä virkistystaajuudesta tai videon pakkaamisen aiheuttamasta viiveestä. (Caddy 2016.)

Aistien keskinäiset ristiriidat, erityisesti visuaalisen, kinesteettisen ja tasapainoelimen tuntemusten erot voivat aiheuttaa matkapahoinvoinnin kaltaista huonovointisuutta. Latenssi on keskeinen syy tämän tyyppisille ristiriidoille ja siksi laitevalmistajat ovat pyrkineet keskittymään esimerkiksi laitteiden näyttöjen nopeaan virkistystaajuuteen.

(Caddy 2016.) Myös VR-laitteiden pieni etäisyys silmistä aiheuttaa ongelmia. Vergence accomodation conflict syntyy, kun silmien tulee tarkentaa lähellä olevaan näyttöön, mutta katsottava kuva antaa ymmärtää, että etäisyys olisi suurempi, jolloin tilanne on fysiologisesti epäluonnollinen, kuten luvussa 3.2 selitettiin. Tämä rasittaa silmiä tavanomaista enemmän ja voi myös lisätä koettua huonovointisuutta (Hoffman ym. 2008). Näytön pieni etäisyys silmistä altistaa käyttäjän mahdolliselle videokuvan tärinälle. Tästä syystä videoiden stabilointiin on syytä kiinnittää erityistä huomiota. Joillakin pahoinvoinnista kärsivillä henkilöillä ongelma voi ratketa tottumisen myötä. Huonovointisuutta voi siis koettaa vähentää asteittaisella totuttelulla laitteen käyttöön, jolloin koetut oireet saattavat helpottaa. (Caddy 2016.)

Tarkennusetäisyyksien erot AR-lasien hologrammeissa ja todellisessa maailmassa voivat muodostua ongelmaksi, sillä eri hologrammien tarkoitetut etäisyydet reaali-maailmassa voivat vaihdella, vaikka heijastetut kuvat tarkentuisivat aina samalle etäisyydelle silmästä. Tämän vuoksi voi olla, etteivät virtuaaliset objektit näy aina tarkkoina näkökentässä. (Azuma 1997, 15.) Kuten luvussa 4.2 todettiin, ongelma voi syntyä erityisesti, kun virtuaaliobjektia yrittää katsoa erittäin läheltä ja, että uudet teknologiat voivat ratkaista tämän ongelman. Mainittakoon selkeyden vuoksi, että tämä ongelma ei ole sama eikä samasta syystä johtuva kuin edellä ja VR-lasien yhteydessä luvussa 3.2 esitetty vergence accommodation conflict.

Erityisesti ulkokäytössä AR-lasien isoksi ongelmaksi voi muodostua reaali-maailman valon kontrastin suuri dynaaminen alue. Silmän dynaamisen alueen havaitsemiskyky on paljon suurempi kuin monien näyttölaitteiden suurin mahdollinen kontrasti. VR-laseilla tämä ei muodostu erityiseksi ongelmaksi, koska reaali-maailma ei näy lasien läpi suoraan. AR-laseilla näytettyjen virtuaaliobjektien pitää toisaalta sopia havaittuun taustaan kirkkautensa puolesta, jotta reaali-maailma ja virtuaaliobjekti voidaan luontevasti nähdä samanaikaisesti. (Azuma 1997, 15.) Tämä siis tarkoittaa käytännössä, että kirkkaalle taustalle sijoitettu tumma virtuaaliobjekti näkyy tummana ainoastaan, mikäli koko näkymää tummennetaan.

Monien AR-laitteiden pieni näkökenttä voi luoda omia haasteitaan. Pieni näkökenttä on seuraus siitä, että halutaan välttää optiikan aiheuttamat vääristymät, joita muodostuu näkökenttää kasvatettaessa näkökentän reunoilla. VR-laseilla näitä reaali-maailman videokuvan vääristymiä on mahdollista korjata digitaalisesti. AR-laseilla haasteena on

reaalimaailman luonnollinen samanaikaisesti näkyminen, jolloin virtuaaliset objektit ovat vääristyneitä vääristymättömän taustan päällä. (Azuma 1997, 18–19.)

6.3.3 Konseptiin liittyviä erityisongelmia

Puhuttaessa kenttähuollosta olosuhteet saattavat olla vaativuudeltaan ja vaihtelevuudeltaan epätyypillisiä kuluttajakäyttöön verrattuna. Tämä asettaa laitteille monia haasteita. Daqri Smart Helmet on pilotointivaiheessa oleva teolliseen ympäristöön tarkoitettu AR-turvakypärä. Siinä on pyritty ottamaan huomioon teollisen käytön tarpeet laitteen kestävyudessa ja turvallisuudessa. Kestävyyden lisäksi muista tyypillisistä kuluttajakäyttöön tarkoitetuista AR-laseista poiketen siinä on lämpökamera, joka varoittaa huoltohenkilöitä vaarallisen kuumista komponenteista. Lisävarusteena AR-kypärään voi hankkia otsanauhan, joka mittaa huoltohenkilön terveydentilaa. (Datloff 2017.) Daqrin AR-kypärässä on käytössä oma Daqri Visual Operating System -käyttöjärjestelmänsä (Daqri n.d.). Myös ODG:n vanhemmasta R-7-AR-lasimallista on valmisteilla uusi versio R-7HL, joka on tarkoitettu kestävänsä ja toimimaan vaativissakin olosuhteissa (Odom 2017).

Kuluttajakäyttöön tarkoitettuja laitteita voi testata erilaisten standardien mukaan selvittääkseen, miten hyvin ne soveltuvat erilaisiin ympäristöihin. MIL-STD-810 on Yhdysvaltojen puolustusministeriön julkaisema standardoitu testimetodi, jolla voi testata materiaalien ja esineiden kestävyyttä erilaisissa olosuhteissa, joille se todennäköisesti altistuu. Testattavia olosuhteita ovat mm. pöly, ilmankosteus ja värinänkesto. Vaikka tämän standardin tarkoituksena on testata armeijakäyttöön tulevia tarvikkeita, on sitä käytetty usein kuluttajatuotteiden testauksen pohjana. (NTS n.d.) Työssä esiteltyjen laitteiden kestävyydestä ei ole tietoa.

Laitteiden toiminta ulkotiloissa voi olla ongelmallista. Jos AR-laitteella on vaikeuksia saada kiintopisteitä ympäristöstä, jota laite ei eri syistä kykene hahmottamaan, eivät hologrammit todennäköisesti kiinnity ympäristöön. Ongelmaa voi lievittää käyttämällä ympäristöön kiinnitettäviä merkkejä, joita laite voi tällöin seurata. Laite kuitenkin voi tarvita sovellusmuutoksia, jotta se seuraisi kiinnitettyjä merkkejä luonnollisen ympäristön sijaan. (Forsman 2016, 15–18.)

Vaihteleviin olosuhteisiin voidaan myös laskea riittävän tietoliikenneyhteyden saatavuus. Reaaliaikaisen videon ongelmaton lähettäminen ja vastaanottaminen on yksi isoimmista vaatimuksista luvussa 6.1 esitellyn ihanteellisen konseptin toteuttamiseen. Kenttäolosuhteissa riittävä tietoliikenneyhteys ei ole itsestäänselvyys, jolloin konseptissa kuvaillun kaltainen etäneuvonta ei ole mahdollista. VR-mallien viiveettömältä tuntuva käyttökokemus vaatii huomattavan tehokkaita laitteita, ja tämä on otettava huomioon käytettäessä tietokoneeseen kytkettäviä VR-laseja.

Laitteiden nopeasta kehitystahdista johtuen, merkittävät investoinnit sisältävät ennen-aikaisen vanhentumisen riskin. Laitteiden moniin puutteisiin ja ongelmakohtiin odotetaan edelleen ratkaisua ja nykyisten keskeisten toimijoiden ratkaisut ovat epäyhteensopivia erityisesti ohjelmistotasolla. Konseptin osalta merkittävimmät yhteensopivuushaasteet liittyvät yhteisen videokuvan jakamiseen AR- ja VR-laitteiden kesken. Tämän lisäksi kirjoitushetkellä käytettävissä olevien datahanskoista saatavan koordinaattitiedon soveltamisessa kumpienkin lasien näkymään on ohjelmistollisia epäyhteensopivuuksia. Tämä ongelma korostuu, koska asiantuntijan ja huoltohenkilön lasille on asetettu erilaiset vaatimukset, eikä yhteensopivuusongelmaa voi ratkaista siten, että molemmat käyttäisivät samaa laitteistoa.

Mikäli datahanskojen sijaan käytetään kevyempiä ratkaisuja, joissa käsien asento esitetään vain yhdestä suunnasta, eivät kaikki mahdolliset huoltotehtävän vaatimat käsien asennot näy käyttäjille. Ongelman ratkaisu vaatii käytännössä datahanskat, jotka tallentavat käsien asennon kamerakuvasta riippumatta. Tämän lisäksi vaaditaan ohjelmistolta mahdollisuus vaihtaa katselukulmaa siten, että käsien asentoa voi tarkkailla useasta eri suunnasta. Mikäli halutaan mahdollisuus kääntää koko näkökulma huollettavasta kohteesta kameran sijainnista riippumatta, tämä edellyttää, että AR-lasit tuottavat huoltokohteesta sellaisen 3D-mallin, jota voidaan tarkastella useasta eri suunnasta. Tähän liittyy useita hankaluuksia, jonka vuoksi järkevänä tavoitetasona voidaan pitää sitä, että asiantuntijan näkökulma on aina sama kuin huoltohenkilöllä.

AR- ja VR-lasien käyttöön liittyy tietomurtojen ja muiden tietovuotojen riski, mikäli lasit välittävät tietoja kolmansille tahoille. Tietoturvakysymykset ovat vielä astetta merkittävämpiä kuin tavanomaisissa tietokoneissa tai älypuhelimissa, koska AR- ja VR-laitteet välittävät tyypillisesti enemmän tietoa käyttäjästä ja hänen ympäristöstään kuin perinteiset laitteet. Tietovuotojen lisäksi asiakkaan tietoturvasäädökset tai yleiset

yksityisyydensuojaan liittyvät säädökset voivat rajoittaa kameran tai mikrofoniin käyttöä huoltokohteessa. Tietojen tallentaminen saattaa myös velvoittaa henkilökisterilain mukaisiin toimiin, mikäli tallenteista syntyy lain tarkoittama henkilökisteri. Lakien ja sopimusteknisten ongelmien selvittely on rajattu tämän työn ulkopuolelle, eikä niitä käsitellä tässä sen enempää.

Mikäli todellinen työtehtävä vaatii esimerkiksi suojakäsineiden tai vastaavien käyttöä, ohjeistuksen täydellisyys edellyttäisi, että ne näkyisivät myös hologrammikäsissä. Joidenkin tehtävien kannalta tämä on äärimmäisen oleellista ja mikäli ei asiantuntija muistaisi tätä erikseen mainita, saattaa huoltohenkilö tietämättömyytään toteuttaa työtehtävän ilman käsineitä, mikäli ei sellaisia hologrammikäsissä näe. Käsineiden tai muiden näkyminen hologrammikäsissä vaatii ohjelmointia, mikäli käytössä ei ole kameravälitteinen hologrammi, jolloin asiantuntijan käsissä itsessään kuuluu olla tarvittavat suojavarusteet.

6.3.4 Virtuaalimaailman luonnin teho-ongelmat

VR- ja AR -lasit toimivat virtuaalimaailman näyttö- tai katselulaitteina. Ne myös joko itse tai erillisen tietokoneen avulla joutuvat luomaan mallista virtuaalisen kuvan. Kuvan luontiin saattaa liittyä hyvin runsaasti laskentaa. Virtuaalitodellisuus on tyypillisissä tilanteissa, esimerkiksi peleissä, pelkistetty siten, että laskennan määrä pysyy kohtuullisena. Lisättäessä laskennan tarkkuutta, fyysisen maailman ominaisuuksia, kuten heijastuksia ja läpikuultavuutta sekä näistä syntyviä värejä realistisella tavalla, kasvaa laskentatehon vaatimus nopeasti. Mikäli sovellukset eivät osaa laskea laatuvaatimusta, aiheuttaa tämä hitaammissa laitteissa viiveitä. Vaikka tietokone kykenisikin tarvittavaan laskentaan, on täysin mahdollista, ettei se ole tarkoitettu jatkuvaan suureen kuormitukseen. Tällöin laite voi kuumentua ja sammua tai jopa vaurioitua. Hankkeen puitteissa on tutustuttu HP:n laitesarjaan, joka on tarkoitettu VR-maailmojen generointiin ja jatkuvaan raskaaseen kuormitukseen.

6.4 Osittaisratkaisut

Edellisessä luvussa esitettyjen ongelmien vuoksi voi olla, ettei ihanteellisen konseptin toteutus ole vaativuutensa ja kustannustensa vuoksi aina ole käytännöllinen ratkaisu.

Tämä ei kuitenkaan tarkoita, etteikö esiteltyjä tekniikoita voisi käyttää vaatimattomammalla tavalla hyväksi samoissa tehtävissä. Tässä esitellään muutama osittainen ratkaisu, jonka avulla monet etäneuvonnan edut saavutetaan, vaikka aiemmin kuvattua ihanteellista konseptia ei kokonaan voisi toteuttaa.

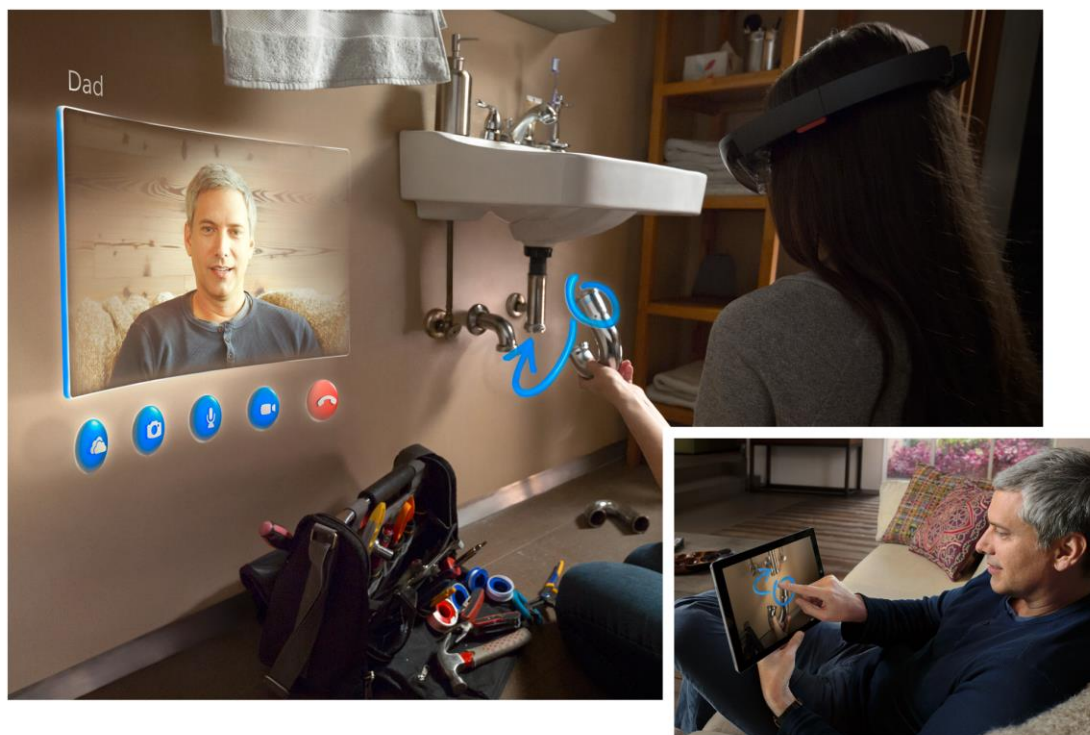
Koska datahanskojen käyttö ei ole vielä kirjoitushetkellä yleistynyt, eikä niitä ole sovellusrajapinnoissa otettu huomioon, on mahdollista, etteivät ne toimi konseptin vaatimusten mukaisesti, ilman kohtuuttomia ohjelmointiponnistuksia. Mikäli hanskat jätetään konseptista pois, voidaan ohjainten avulla simuloida tavallisimpia käsien liikkeitä. Jos ohjaimiakaan ei haluta käyttää, korvautuu huoltohenkilön opastus puhumalla annetuilla ohjeilla tai piirtämällä kuvaan, jolloin huoltomiehen muuttuva katselukulma ei välttämättä ole luonnollinen. Kuvion 20 kaltaisesti HoloLensin ja Skypeen videochatin avulla on demonstroitu neuvomista, jolloin huoltohenkilön roolissa ollut on nähnyt näkökentässään videoruudulla asiantuntijan omassa ympäristössään. Asiantuntija on nähnyt huoltohenkilön näkymän HoloLensin kameran kautta. Tämän lisäksi asiantuntija on voinut kiinnittää HoloLensin näkymään nuolia tai muita avustavia kuvia tai piirustuksia käyttämällä tablettia. (Spence 2017, 2.)

Microsoft on varhaisten demojen jälkeen kesällä 2018 julkaissut kaksi sovellusta, joilla on olennainen merkitys tämän hankkeen konseptin osittaisratkaisuna. Microsoft Remote Assist ja Microsoft Layout ovat molemmat olleet kokeiluversioina vapaasti ladattavissa omaan koekäyttöön ja ne on nyt julkaistu osaksi virallista tuoteperhettä.

Microsoft Remote Assist perustuu Microsoft Teams -ympäristön käyttöön. Kenttätöntyöntekijä voi jakaa oman näkymänsä muiden katsottavaksi ja nämä voivat tehdä näkymään merkintöjä. Näkymään tehdyt merkinnät säilyvät kenttätöntyöntekijän näkökentässä siinä näkymän paikassa, johon ne kuvassa piirrettiin. Eli, jos piirtää nuolen, joka osoittaa vaikkapa sähkötaulussa pääkytkintä, nuoli säilyy pääkytkimen kohdalla, vaikka huoltohenkilö välillä kääntäisi päätään.

Microsoft Remote Assist luo yhteydet tietoturvallisesti Active Directoryn avulla. Tämä osatoteutus vaatii huoltohenkilölle AR-lasit, mutta avustavalle asiantuntijalle riittää kosketusnäyttöinen tabletti. Parhaan kuvan toiminnallisuudesta saa tämän videon avulla tai kokeilemalla ympäristöä itse.

<https://www.youtube.com/watch?v=UpmolMrf5HQ&feature=youtu.be>



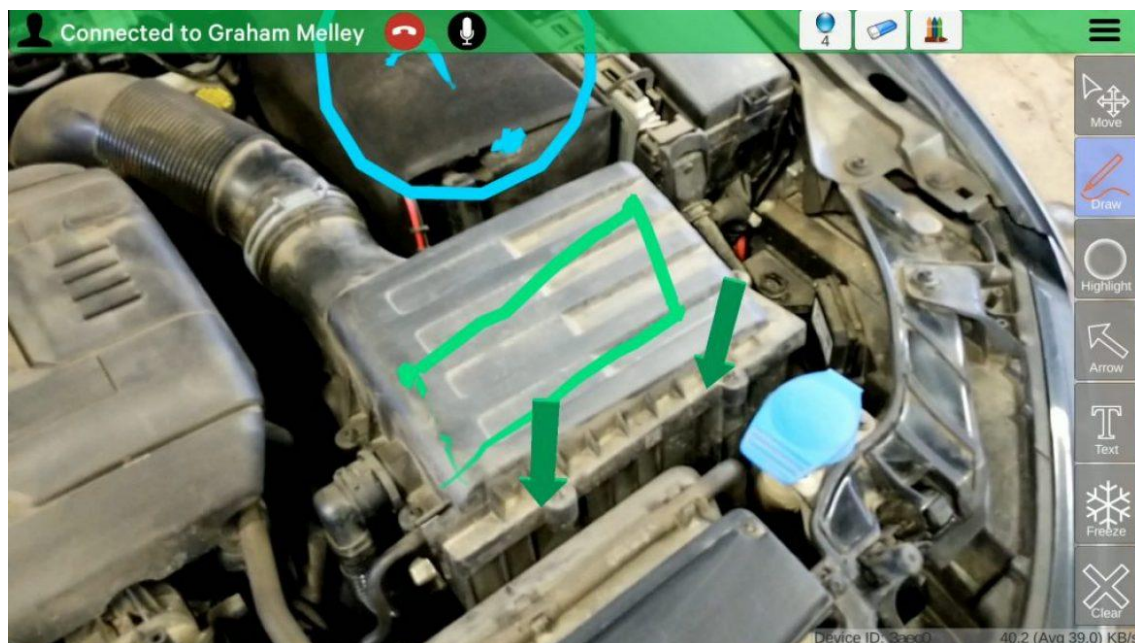
Kuvio 20. HoloLens ja Skype yhteiskäytössä neuvontatilanteessa (Microsoft News Center 2015).
Tässä esitetty visio toteutuu täysin Microsoft Remote Assist -sovelluksen avulla.

Microsoft Layout on yksinkertainen suunnitteluohjelmisto, jonka avulla 3D-elementtejä voidaan sijoittaa virtuaalimalleihin tai todelliseen ympäristöön ja tarkastella niitä osana omaa fyysistä ympäristöä. Näkymän, jossa on virtuaalisia elementtejä sijoitettuna Hololensin käyttäjän fyysiseen ympäristöön voi myös reaaliaikaisesti jakaa niiden kanssa, jotka eivät ole samassa tilassa.



Kuvio 21. Microsoft Layout, Kuva Microsoft

Scope AR -yhtiön Remote AR on Microsoft Remote Assistia vastaava tuote. Se toimii toistaiseksi Hololens-ympäristössä, Windows -työasemilla sekä Arkit- ja ArCore-tuen omaavilla tableteilla. Kenttätyöntekijän näkymä välittyy asiantuntijan laitteeseen ja asiantuntijan piirtämät merkinnät kiinnittyvät tähän näkymään ja näkyvät kenttätyöntekijän näkökentässä oikeilla kohdillaan. Scope AR -yhtiön toinen tuote, Worklink on alusta, jonka avulla voidaan laajennettuun todellisuuteen tuottaa älykkäitä opastuksia esimerkiksi huolto- tai kokoonpanotehtäviin.



Kuvio 22. Scope AR -yhtiön Remote AR -tuote.

Vaikka asiantuntijalla ei ole datahanskoja, voi käsillä näyttäminen silti olla mahdollista. Esimerkiksi luvussa 3.3.3 esitelty Windows Mixed Reality mahdollistaa ohjainten sijainnin ja asennon tunnistamisen laitteen kameroiden avulla. Kameran kuvaavat ohjaimet ja tuovat ne VR-näkymään. Oikeanlaisen ohjelmiston avulla voidaan simuloida VR-lasien käyttäjän käsiä AR-laseista lähetetyn videokuvan päällä ja lähettää nämä käsien liikkeet sijaintitietoineen myös huoltohenkilön AR-lasien näkymään.

Mikäli huoltomiehen käytössä ei ole AR-laseja, voi ohjeet antaa videopuhelun avulla käyttäen esimerkiksi tablettia. Tällöin huoltohenkilön ei ole mahdollista nähdä ohjeita samanaikaisesti katseen kohdistuessa huoltokohteeseen. Huoltomiehen kädet eivät myöskään ole vapaat, mikäli tabletin kamera on kohdistettava huoltokohteeseen, jotta asiantuntijalle sen näkisi. Etuna tässä osittaisessa ratkaisussa on tablettien mahdollisesti halvempi hinta suhteessa AR- ja VR-laitteisiin sekä mahdollinen käyttö muissa tehtävissä. Tablettien suojaaminen pölyltä ja kosteudelta teollisuusympäristössä ja ulkotiloissa on myös mahdollista.

Scope AR tarjoaa opastustarkoitukseen Microsoft Remote Assistin kanssa samankaltaista ohjelmistoa, jonka avulla asiantuntijan on mahdollista esimerkiksi piirtää tai korostaa tärkeitä kohtia huoltohenkilön videonäkymään. Ohjelmisto toimii ODG:n

vanhemmalla R-7-AR-lasimallilla ja sen on luvattu tulevan myös joillekin muille AR- tai VR-laseille. (Scope AR n.d.)

Jos huoltohenkilöllä ei ole AR-laseja, mutta huoltokohteessa on robottikopteri tai muu vastaava kauko-ohjattava robotti ja asiantuntijalla on käytössään VR-lasit, tai tarkemmin FPV-lasit sekä yhteys kauko-ohjaukseen, on neuvontaa mahdollista toteuttaa näiden avulla. Tällaisessa tilanteessa asiantuntijalle välittyisi robottikopterin kamerakuva ja kommunikointi huoltohenkilön kanssa tapahtuisi esimerkiksi puhelimen välityksellä. Tässä tapauksessa ei huoltohenkilö näkisi ollenkaan asiantuntijan käsiä, eikä aiemmissa esimerkeissä mainittuja piirroksia tai merkkejä. Asiantuntija kuitenkin voisi robottikopteria ohjaamalla osoittaa paikkoja, joihin huoltomiehen huomion tulisi kiinnittyä. Robottikopteri tarjoaa merkittävän edun erityisesti laajoilla tai hankalakulkuisilla alueilla. Joissain tilanteissa robottikopterin lintuperspektiivi voi myös olla iso etu. Hyvänä esimerkkinä robottikopterin käytöstä on erilaisia kuvauspalveluita tarjoava suomalaislähtöinen Sharper Shape, joka voi laitteensa avulla esimerkiksi tarkistaa sähkö- ja voimalinjojen kunnon (Tanskanen 2016). Kenttähuollossa robottikopteria ohjaava asiantuntija voi näyttää huoltohenkilölle viallisen kohdan ja kertoa, mitä varusteita huoltohenkilö mahdollisesti tarvitsee mukaansa.

Jos huoltokohde on paikassa, mihin ei saada riittävää tietoliikenneyhteyttä, kuten monien kiinteistöjen kellaritiloissa, ei ihanteellinen konsepti sellaisenaan toimi. Huoltohenkilö voi tässäkin tapauksessa katsoa vastaavan huoltotilanteen nauhoitteen arkistosta tai, jos sellaista ei ole, nauhoittaa huoltokohteen ja siirtyä tilaan, jossa tietoliikenneyhteys toimii. Huoltokohteen nauhoitteen avulla huoltohenkilö ja asiantuntija voivat keskustella toiminnasta ja asiantuntija voi näyttää käsillään nauhoitteen avulla huoltohenkilölle, miten toimenpide tulisi suorittaa. Mikäli tämäkin nauhoitetaan, voi huoltohenkilö katsoa nauhoitteen tarvittaessa uudelleen huoltokohteessa, johon tietoliikenne ei yllä.

Ulkokäytössä AR-lasien käyttö ei toistaiseksi ole käytännöllistä aiemmin kuvatuista syistä. Tällöin osittaiset ratkaisut voivat kuitenkin tuoda huomattavan avun. Trimble SiteVision on hyvä esimerkki laajennetun todellisuuden käytöstä ulkotiloissa. Laite paikantaa itsensä kuudella vapausasteella GPS-signaalin ja magnetometrin avulla ja näyttää kuvaruudulla sen takana olevan kohteen lisättynä mallissa olevilla virtuaalisilla elementeillä. <http://mixedreality.trimble.com/>



Kuvio 23. Trimblen SiteVision esimerkkinä lisätyn todellisuuden käytöstä ulkona.

6.5 Pilotointilaitteiston valinta ja keskeiset kysymykset

Tässä luvussa kuvataan konseptin pilotointia varten valittu laitteisto ja ohjelmisto, osoitetaan valinnan tärkein kriteeri ja todetaan joitakin lisähuomiota valinnasta. Kriteereissä painotetaan valinnan käytännöllisyyttä konseptin toimivuuden testaamiseksi sekä kustannusten maltillisuutta. Pilotoinnin vaiheistuksen lisäksi käsitellään pilotoinnin onnistumiselle keskeisiä kysymyksiä, jotka vaativat jatkotutkimusta.

Kaikki tässä työssä esitellyt AR- ja VR-lasit täyttävät lähteiden antamien tietojen puitteissa konseptin toteuttamiseen tarvittavat toiminnalliset ominaisuudet. Eli kaikki esiteltäväksi valitut AR-lasit ovat huoltohenkilölle mahdollisia ja kaikki esitellyt VR-lasit ovat asiantuntijalle mahdollisia. Kuitenkin näiden keskinäinen, konseptin mukainen yhteentoimivuus vaatii integrointityötä. Konseptia on päädytty kokeilemaan kolmella eri tavalla.

1. Tallenteiden teko

Kokeilussa on tehty tallenteita Hololensin kameralla, jonka kameran katselukulma on osoittautunut liian kapeaksi käsillä tehtävän työn ja välittömästi tekijän edessä olevan työkohteen kuvaamiseksi. Hankkeessa on kokeiltu myös erillisiä kameroita. Parhaaseen lopputulokseen on päästy erillisellä otsaan kiinnitetyllä 180 asteen HD-stereokuvaa tallentavalla Lenovo Mirage kameralla. Tallenteet voidaan ladata esimerkiksi Youtube-palveluun. Mikäli halutaan varmistaa se, etteivät ulkopuoliset pääse luvatta katsomaan näitä tallenteita, tulee kanava määritellä yksityiseksi.

2. Hankkeessa on kokeiltu runsaasti erilaisia VR- ja AR- lasille saatavilla olevia sovelluksia, joissa valmiiksi mallinnetussa tilassa voidaan tarkastella yksin tai yhdessä muiden kanssa tilaa, siinä liikkuvia virtuaalihahmoja sekä mallinnettuja kappaleita. Valmiista suoraan hankkeen konseptiin soveltuvista sovelluksista on hankkeessa kokeiltu Microsoft Remote Assist -ympäristöä, joka toimii Hololensin kanssa siten, että kenttätyöntekijällä on Hololens ja hänen näkökenttäänsä kuva on jaettu tabletti-tietokoneen tai muun päätelaitteen käyttäjälle, jonka kuvaan tekemät merkinnät välittyvät kenttätyöntekijän näkökenttään. Valmiina ja suurelta osin hankkeen tavoitteet ratkaisevana, tuotetason sovelluksena tämä oli ilmeinen kokeiltava sovellus, vaikkakin neuvojan kädet on korvattu kuvaan tehtävin piirroksin. Kokeilun tuloksena voidaan todeta sovellus käytännölliseksi.

3. Jaetun virtuaalitodellisuuden käyttöä Fake Productionin kehittämässä Glue -ympäristössä on kokeiltu useilla eri VR-laseilla. Glue perustuu Unity-ympäristöön ja sovittaa pilvipalvelun avulla erityyppiset VR- ja AR- lasit yhteiskäyttöisiksi. Hankkeen tavoitteena ollut konsepti osoittautui helpoimmaksi ja varmimmaksi kehittää Glue -ympäristöön. Hankkeen osallistujilla on käyttöoikeus Glue-ympäristöön tehtyyn laajennukseen ja hankkeen aikainen kokeiluoikeus koko Glue-ympäristöön.

Käyttäjät ja heidän kätensä näkyvät Glue -ympäristössä nukkemaisina. Huoltohenkilö voi videoida huoltokohteen, jolloin siitä syntyy karkea 3D-malli. Huoltohenkilön näkymä välitetään virtuaalisen tilan seinälle kuvana tai videona tietoliikennekapasiteetista riippuen ja työtä seuraavien ja avustavien etäläsnäolijoiden hahmot ja kädet näkyvät tilassa. He voivat osoittaa käsillään huoltohenkilön näkymästä välitettyä kuvaa siten, että heidän hahmonsä välittyy huoltohenkilön näkökenttään. Huoltohenkilö voi käyttää tablettia, kännykkää tai AR-laseja.

Glue-ympäristössä on monia hyödyllisiä ominaisuuksia. Toimenpiteet voidaan nauhoittaa ja katsoa myöhemmin. Tilaan voidaan lisätä kuvasarjoja, ohjekirjoja ja tilan malli voidaan edeltä käsin luoda myös täysin huoltokohteen näköiseksi.

Rajoitteena on, että käsien sijaan Glue jäljittää ohjaimia eikä käden osalta sormien asento välity. Toisena rajoitteena on, että tarkasteltu yhteinen kohde on ainakin kokeiluvaiheessa kaksiulotteinen kuva.

VimAI on kehittänyt järjestelmän, jossa kohteet voidaan kuvata nopeasti ja saada niistä karkea sisätilamalli. Tähän malliin voidaan liittää virtuaalisia opasteita ja käyttäjä voi älypuhelimeen tai tablettiin ladatun sovelluksen avulla paikantaa itsensä rakennuksessa. Näytölle lisätään laitteen kamerassa näkyvään kuvaan virtuaaliset opasteet. Huoltohenkilö voidaan tämän järjestelmän avulla opastaa automaattisesti huoltokohteeseen ja näyttää ongelmat ja ohjeet virtuaalisesti kohteessa.

Trimble Connect on ympäristö, jossa Hololens-käyttäjät ja VR/MR-lasien käyttäjät voivat liikkua lisätyssä todellisuudessa siten, että he näkevät ja voivat keskustella keskenään ja he näkevät myös suunnittelumallit niiden aiotuissa kohteissa. Asentaja voi esimerkiksi nähdä kohteessa suunnittelumallin ja verrata sitä keskeneräiseen toteutukseen. AR-lasien käyttäjät voivat myös katsella yhteisiä suunnitelmia kohteessa.

Laite ja sovelluskehitys dynaamisessa vaiheessa

Useimpien sovelluskehittäjien voidaan olettaa keskittyvän odotettuun dominoivaan laitteeseen sen perusteella, miten kiinnostava laite on kuluttajille ja tämän kautta myös muille kehittäjille, mukaillen aiheesta tehtyä Network Externalities, Competition, and Compatibility -tutkimusjulkaisua (Katz & Shapiro 1985, 424–440).

Laitekehitys on kuitenkin epävarmassa tilassa laitteiden ilmeisen kypsymättömyyden vuoksi. Laitteiden tarkkuus ja näkökenttä tulevat edelleen kehittymään. Käyttötilanteiden mukavuus edellyttää langattomuutta, jonka vasta harva laite saavuttaa. Näiden osalta akkukesto ja tehokkuus vaativat edelleen kehitystä, kuten myös kyky hahmottaa ympäristöä ja toimia haastavissa valaistusolosuhteissa.

Puutteiden vuoksi on mahdoton sanoa, mikä laiteympäristöistä lopulta yleistyy. Windows Mixed Reality ja Hololens, Googlen Daydream, Magic Leapin Lumin, Oculus, Applen tuleva ympäristö, Meta tai HTC Vive. Tätä riskiä voi vähentää nojautumalla pilvipalveluihin ja ohjelmistorajapintoihin, jotka tukevat useita laiteympäristöjä.

Osoitinlaitteiden osalta nojautuminen VR/AR-lasien omiin osoitinlaitteisiin vaikutti ainoalta käytännölliseltä vaihtoehdolta. Varsinaiset datahanskat vaikuttivat tarkastelussa kypsymättömiltä ja niiden integrointi sovelluksiin olisi ollut epäkäytännöllistä. Osoitinlaitteet lisäksi osoittautuivat kokeilussa hyvin varmatoimisiksi ja tarkoiksi.

Pilotoinnissa kamerakuvan siirto AR-laseilta VR-lasien näkymään osoittautui keskeneräiseksi. Hololensin toiminta hidastui olennaisesti ja kamerakuva siirtyy viiveellä. Hololensin kamerakuva oli myös epäkäytännöllisen kapea. Erillinen otsaan kiinnitetty kamera tai pysäytetty ja tilan malliin liitetty kuva on käytännöllisempi, kunnes AR-lasien tekniikka kehittyy. Puheyhteydessä ei kokeilu osoittanut ongelmia.

Opastuksessa joudutaan tekemään kompromisseja. Jos asiantuntijan kädet ovat sidottuina AR-lasien näkökentän koordinaatistoon, näkymän koordinaatiston sijaan, asiantuntijan kädet liikkuvat huoltohenkilön kääntäessä päätä ja siten voivat osoittaa eri asiaa kuin mitä ne osoittivat ennen katselusuunnan vaihtumista. Mikäli kohteesta muodostetaan 3D-malli, voivat kädet kiinnittyä johonkin pisteeseen ympäristössä ja pysyä kiinnitettyinä oikeaan kohtaan, vaikka huoltohenkilön pää ja katselusuunta kääntyisikin. Tällöin ei kuitenkaan nähdä todellista videokuvaa vaan malli. Tietoliikenteellisesti malliin perustuva toiminta on olennaisesti kevyempi kuin video.

3D-mallin avulla asiantuntija voi nauhoittaa esimerkkisuoritteita, jotka näkyvät AR-laseilla oikeanlaisena katsottaessa huoltokohdetta mistä tahansa kulmasta. Pään kääntämisen vaikutusta voi eliminoida ilman varsinaista 3D-mallia kiinnittämällä asiantuntijan kädet näkymän koordinaatistoon, mutta tämä ei toistaiseksi liene käytännöllistä AR-lasien hologrammien kapean katselukulman vuoksi. Myös asiantuntijan näkymän korjaaminen olisi tässä tilanteessa hankalaa pelkästä kamerakuvasta. Tällöin jouduttaisiin asiantuntijan näkökulma säilyttämään käsien kanssa samana, eikä tuoretta kamerakuvaa voisi tässä tapauksessa käyttää. Ilman 3D-mallia tämä toimintaperiaate vaikuttaa siis käytännölliseltä ainoastaan tilanteissa, joissa huoltohenkilön näkökulma säilyy kussakin neuvonnan vaiheessa riittävän vakaana.

Yhdeksi keskeiseksi kysymykseksi toteutuksen onnistumisen kannalta nousee riittävien tietoliikenneyhteyksien saatavuus. Yhteyden pitää olla tarpeeksi nopea, jotta kuva välittyy tietoineen. Mikäli heikko yhteys aiheuttaa latenssia kuvan oikea-aikaiselle välittymiselle, aiheuttaa se haasteita etäneuvontaan. On mahdollista, että käsien tai osoitinlaitteen merkin sijainti ei täsmää, mikäli videokuva tulee asiantuntijan VR-laseihin viiveellä. Ongelman suuruus kasvaa, jos asiantuntijan käsien sijaintitieto tulee myös viiveellä huoltohenkilön AR-laseihin. Mikäli kohteesta tuotetaan 3D-malli asiantuntijalle,

saattaa jatkuva tietoliikennetarve olla pienempi. Välitetyn kuvan laadun vaikutus tietoliikennetarpeeseen ja latenssin merkitys käyttömukavuuteen vaihtelee eri tehtävissä.

7 Yhteenveto

Esiselvityksen tavoitteena oli kartoittaa mahdollisuus kunnossapidon etäneuvonnan parempaan suorittamiseen valikoidun konseptin ja virtuaaliteknologian avulla. Esitellyn konseptin perustana ovat uusien virtuaaliteknologioiden avaamat mahdollisuudet. Esiselvityksen jälkeisessä hankkeessa painopisteenä oli hankkia kokemuksia ja kartoittaa sekä tarvittaessa kehittää ratkaisuja etäneuvonnan käytännön tarpeisiin virtuaalitekniikkaa hyödyntäen.

Tätä varten kokeiltiin lupaavimpia laitteita ja ohjelmistoja sekä jatkettiin keskeisten reunaehtojen ja valintakriteerien hahmotusta. Valinnan suorittamiseksi ja ymmärtämiseksi työssä taustoitettiin sekä laitteistojen että toimintaympäristön keskeisiä piirteitä. Sen lisäksi tunnistettiin joukko mahdollisia ongelmakohtia, pilotoinnin edellytyksiä, rajoitteita sekä keskeisiä kysymyksiä, tulevaisuuden mahdollisuuksia ja muita hyötyjä kunnossapidon lisäksi muillekin alueille varsinaisen päätavoitteen ohella.

Työssä todettiin kunnossapidon olevan merkittävä ala ja sen haasteiden vain kasvavan. Tämä tarkoittaa sitä, että metodeja tulee uusia, jotta ongelmat eivät kasva liian suuriksi. Osaamistarpeiden kasvaessa asiantuntijoita on yhä harvemmassa. Tästä seuranneen matkustamistarpeen lisääntyessä etäneuvonnan rooli on kasvanut, jolloin työssä käsitellyn konseptin kaltaisia uusia ratkaisuja vaaditaan. Suurimmat konseptin potentiaaliset hyödyt keskittyvät matkustamistarpeen vähenemiseen, neuvojan ja neuvottavan yhteiseen näkökenttään ja neuvontatilanteista rakentuvan arkiston muodostumiseen.

Selvityksen perusteella VR/AR-lasien valinta ei osoittautunut alun perin kuvitellulla tavalla kriittiseksi. Tämä johtuu siitä, että ohjelmistolliset ratkaisut perustuvat kaikki palvelinarkkitehtuureihin ja useimmat yleiset päätelaitteet ovat niiden tukemia. Hankkeessa päädyttiin kokeilemaan lukuisia VR- ja AR -laseja. AR-lasit ovat selkeimmin jatkokehityksen tarpeessa, mutta jo nykyiset versiot ovat käyttökelpoisia helpoissa ympäristöissä. VR-lasit ovat lähes kaikki käyttökelpoisia vaatimustasosta ja olosuhteista riippuen.

Esiselvityksessä ongelmien hahmottaminen ja niiden löytäminen kirjallisuuslähteiden perusteella oli haastavaa, mutta auttoi kohdistamaan käytännön selvitystyötä oikeaan suuntaan. Käytännön kokeilut osoittivat puutteita ja tarpeita sekä ratkaisuja, joista myyntimateriaaleissa ja lehtien testeissä ei mainittu.

Tämäkään katsaus ei ole täysin kattava alan nopean kehityksen vuoksi. Saatavilla oleva tieto muuttuu jatkuvasti. Työssä on kuitenkin käsitelty kirjoitushetkellä merkittävistä laitteista edustava otos.

Tehdyn selvityksen perusteella voidaan suositella varsinaisten kunnossapidon etä-neuvontahankkeiden aloittamista. Kokeilut osoittavat, että toimintamallit ovat käytännöllisiä ja monissa tehtävissä säästävät sekä matkakustannuksia, työaikaa että vähentävät virheitä ja viiveitä. Tämänkaltaisille ratkaisuille on selkeä kasvava tarve kunnossapidon alalla, eikä näiden käyttöönotossa tulisi liiaksi viivytellä. Ongelmakohtia kuitenkin on, ja siksi käyttöönotossa kannattaa edetä tapauskohtaisten kokeilujen kautta.

Lähteet siltä osin, kun linkit eivät ole suoraan tekstin seassa

Aberdeen Group 2013. Analyst Insight. Aberdeen Group
<http://www.ptc.com/File%20Library/Solutions/All%20Solutions/Aberdeen_Fixing_First_Time_Fix_2013.pdf> (luettu 19.4.2017).

Abraham, Magid & Annunziata, Marco 2017. Augmented Reality Is Already Improving Worker Performance. Harvard Business Review <<https://hbr.org/2017/03/augmented-reality-is-already-improving-worker-performance>> (luettu 31.3.2017).

Ackerman, Evan 2017. CES 2017: Intel's Project Alloy Is the VR System I Want in My Living Room. IEEE Spectrum <<http://spectrum.ieee.org/tech-talk/consumer-electronics/gaming/intels-project-alloy-is-the-vr-system-i-want-in-my-living-room>> (luettu 16.2.2017).

Allan, Darren 2017. HTC Vive goes wireless with some help from Intel. TechRadar <<http://www.techradar.com/news/htc-vive-goes-wireless-with-intels-displaylink-xr>> (luettu 8.8.2017).

Amazon.com n.d. a. Oculus Rift - Virtual Reality Headset. Amazon.com
<<https://www.amazon.com/Oculus-Rift-Virtual-Reality-Headset/dp/B00VF0IXEY/>> (luettu 6.2.2017).

Amazon.com n.d. b. HTC VIVE - Virtual Reality System. Amazon.com
<<https://www.amazon.com/HTC-VIVE-Virtual-Reality-System-Pc/dp/B00VF5NT4I/>> (luettu 10.2.2017).

Asp, Risto, Tuominen, Timo & Hyppönen, Heikki n.d. Kunnossapito - menestystekijä. Opetushallitus <<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/index.html>> (luettu 18.4.2017).

Azuma, Ronald T. 1997. A Survey of Augmented Reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments 6 (4), 355–385. Luettavissa osoitteessa
<<http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>> (luettu 24.3.2017).

Blender n.d. Features. Blender Foundation <<https://www.blender.org/features>> (luettu 3.7.2017).

Brax, Saara A. 2007. Palvelut ja tuottavuus. Teknologiakatsaus 204/2007. Helsinki: Tekes. Luettavissa osoitteessa
<https://www.tekes.fi/globalassets/julkaisut/palvelut_ja_tuottavuus.pdf> (luettu 30.5.2017).

Brennesholtz, Matthew 2017. VR/AR Standards – Are We Confused Yet? DisplayDaily <<https://www.displaydaily.com/article/152-display-daily/51527-vr-ar-standards-are-we-confused-yet>> (luettu 28.6.2017).

Brown, Emily & Cairns, Paul 2004. A Grounded Investigation of Game Immersion. Dykstra-Erickson, Elizabeth & Tscheligi, Manfred (toim.): CHI EA '04 CHI '04 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. New York, NY, USA: ACM. 1297–1300. Luettavissa osoitteessa <<http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=985921.986048>> (luettu 27.6.2017).

Brown, Liza 2017. 360 Degree Cameras Vs 3D Cameras: What are the Differences. Filmora <<https://filmora.wondershare.com/virtual-reality/360-degree-cameras-vs-3d-cameras.html>> (luettu 3.7.2017).

Burgess, Matt 2017a. Intel's 'merged reality' headset arrives this year. Wired <<http://www.wired.co.uk/article/intel-virtual-reality>> (luettu 16.2.2017).

Burgess, Matt 2017b. Hands-on with Intel's 'merged reality' Project Alloy headset. Wired <<http://www.wired.co.uk/article/test-hands-on-intel-project-alloy>> (luettu 16.2.2017).

Caddy, Becca 2016. Vomit Reality: Why VR makes some of us feel sick and how to make it stop. Wareable <<https://www.wareable.com/vr/vr-headset-motion-sickness-solution-777>> (luettu 3.5.2017).

Charara, Sophie 2017. Explained: How does VR actually work? Wareable <<https://www.wareable.com/vr/how-does-vr-work-explained>> (luettu 28.6.2017).

Computer Desktop Encyclopedia 1981-2016. The Computer Language Company Inc. <http://lookup.computerlanguage.com/host_app/search?cid=C999999&term=field+service> (luettu 18.4.2017).

Constine, Josh 2017. Zuckerberg shows off Oculus gloves for typing in VR. TechCrunch <<https://techcrunch.com/2017/02/09/oculus-gloves>> (luettu 18.5.2017).

Daqri n.d. Daqri AR Platform. Daqri <<https://daqri.com/technology/ar-platform>> (luettu 24.8.2017).

Dashwood, Tim 2011. A Beginner's Guide to Shooting Stereoscopic 3D. Dashwood Cinema Solutions <<http://www.dashwood3d.com/blog/beginners-guide-to-shooting-stereoscopic-3d>> (luettu 3.7.2017).

Datloff, Dylan 2017. DAQRI Smart Helmet - Review. iReviews <<https://www.ireviews.com/review/daqri-smart-helmet>> (luettu 24.8.2017).

Davies, Chris 2017. ODG AR smart glasses hands-on: Snapdragon 835 gets real. SlashGear <<https://www.slashgear.com/odg-ar-smart-glasses-hands-on-snapdragon-835-gets-real-04470339>> (luettu 14.3.2017).

Dent, Steve 2017. Varjo promises a VR headset with 'human eye-resolution'. Engadget <<https://www.engadget.com/2017/06/19/varjo-promises-a-vr-headset-with-human-eye-resolution>> (luettu 4.7.2017).

DePew, Thomas 2014. 4 Steps to a Field Service Process That Will Save You Money. Salesforce blog <<https://www.salesforce.com/blog/2014/09/4-steps-field-service-process-save-money.html>> (luettu 20.4.2017).

Dexta Robotics n.d. a. Press Kit. Ladattavissa osoitteessa <<http://www.dextarobotics.com>> (katsottu 31.8.2017).

Dexta Robotics n.d. b. Dexta Robotics <<http://www.dextarobotics.com>> (luettu 16.5.2017).

Dhillon, B. S. 2014. Human error in maintenance: An investigative study for the factories of the future. IOP Conference Series Materials Science and Engineering 65 (1). Luettavissa osoitteessa <<https://doi.org/10.1088/1757-899X/65/1/012031>> (luettu 20.6.2017).

Digi-Capital 2017. After mixed year, mobile AR to drive \$108 billion VR/AR market by 2021. Digi-Capital <<http://www.digi-capital.com/news/2017/01/after-mixed-year-mobile-ar-to-drive-108-billion-vrar-market-by-2021>> (luettu 22.2.2017).

Dingman, Hayden 2017. Oculus Rift and Touch controller bundle gets a permanent price cut to \$499. PCWorld <<http://www.pcworld.com/article/3208091/gaming/oculus-rift-and-touch-controller-bundle-price-cut-499.html>> (luettu 8.8.2017).

Evan-Amos 2015. Wikimedia Commons. Ladattavissa osoitteessa <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Google-Cardboard.jpg>> (katsottu 21.6.2017).

Feltham, Jamie 2017. Watch Acer's Mixed Reality Headset Working With HoloLens at WinHEC. UploadVR <<https://uploadvr.com/watch-acers-mixed-reality-headset-working-hololens-winhec>> (luettu 23.8.2017).

Finch n.d. Finch VR. ivSystems LLC <<https://finch-hands.com/>> (luettu 17.5.2017).

Forsman, Mikko 2016. Applying Augmented Reality to Outdoors Industrial Use. Diplomityö. Turku: Turun Yliopisto. Luettavissa osoitteessa <<http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2016053013052>> (luettu 10.5.2017).

Gaudiosi, John 2016. Over 200 Million VR Headsets to be Sold by 2020. FORTUNE <<http://fortune.com/2016/01/21/200-million-vr-headsets-2020>> (luettu 22.2.2017).

Gepp, Matthew 2017. New Vive Price Makes The Best VR System More Accessible to the Mass Market. Vive Blog <<https://blog.vive.com/us/2017/08/21/htc-vive-announces-price-drop>> (luettu 22.8.2017).

Goode, Lauren 2016. Intel bets on 'merged reality' for its Project Alloy VR headset. The Verge <<http://www.theverge.com/2016/11/18/13673084/intel-microsoft-project-alloy-vr-headset-first-look-mixed-merged-reality>> (luettu 16.2.2017).

Google VR n.d. Google Earth VR. Google <<https://vr.google.com/earth>> (luettu 22.2.2017).

Gothard, Peter 2017. Microsoft HoloLens: Firm admits sales figures are in the 'thousands'. The Inquirer <<http://www.theinquirer.net/inquirer/news/3003380/microsoft-hololens-firm-admits-sales-figures-are-in-the-thousands>> (luettu 21.3.2017).

Hachman, Mark 2016a. Intel, Microsoft renew 'Wintel' partnership with Project Evo and VR specs for PCs. PCWorld <<http://www.pcworld.com/article/3148244/computers/intel-microsoft-renew-wintel-partnership-with-project-evo-and-vr-specs-for-pcs.html>> (luettu 1.6.2017).

Hachman, Mark 2016b. We found 7 critical HoloLens details that Microsoft hid inside its developer docs. PCWorld <<http://www.pcworld.com/article/3039822/consumer->

electronics/we-found-7-critical-hololens-details-that-microsoft-hid-inside-its-developer-docs.html> (luettu 20.3.2017).

Hamilton, Ian 2016. Windows Will Support Headsets With Varying Input, FOV, Resolution and Frame Rate. UploadVR <<https://uploadvr.com/windows-vr-different-specs/>> (luettu 30.8.2017).

Hamilton, Ian 2017. Microsoft Reveals Motion Controllers For Windows VR Headsets. UploadVR <<https://uploadvr.com/microsoft-motion-controllers-vr-headsets-6dof/>> (luettu 15.8.2017).

Hansen, Emilia n.d. How to Create Content for Virtual Reality Apps. Yalantis <<https://yalantis.com/blog/how-to-create-content-for-virtual-reality-apps/>> (luettu 3.7.2017).

Hapto n.d. Hapto <<http://hapto.me>> (luettu 19.5.2017).

Hardawar, Devindra 2017. A closer look at the Meta 2 AR headset. Engadget <<https://www.engadget.com/2017/03/12/meta-2-ar-headset>> (luettu 15.3.2017).

Hern, Alex 2017. I tried to work all day in a VR headset and it was horrible. The Guardian <<https://www.theguardian.com/technology/2017/jan/05/i-tried-to-work-all-day-in-a-vr-headset-so-you-never-have-to>> (luettu 2.5.2017).

Hoffman, David M., Girshick, Ahna R., Akeley, Kurt & Banks, Martin S. 2008. Vergence–accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue. Journal of Vision 8 (3), 1–30. Luettavissa osoitteessa <<http://jov.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2122611>> (luettu 5.7.2017).

Hollister, Sean 2016. Microsoft's HoloLens is super limited -- and hella magical. CNET <<https://www.cnet.com/products/microsoft-hololens-hands-on/>> (luettu 17.3.2017).

HoloLens n.d. a. Microsoft HoloLens. Microsoft <<https://www.microsoft.com/microsoft-hololens/en-us/buy>> (luettu 20.3.2017).

HoloLens n.d. b. Why HoloLens. Microsoft <<https://www.microsoft.com/microsoft-hololens/en-us/why-hololens>> (luettu 20.3.2017).

HTC Corporation n.d. VIVE Image Gallery. Ladattavissa osoitteessa <<https://www.vive.com/eu/pr/newsroom-gallery>> (katsottu 24.2.2017).

IFS 2017. Bridging the skills shortage gap with augmented reality. Skies Magazine <<https://www.skiesmag.com/press-releases/bridging-skills-shortage-gap-augmented-reality>> (luettu 21.4.2017).

Intel Corporation 2016. Project Alloy Press Kit. Ladattavissa osoitteessa <<https://newsroom.intel.com/press-kits/project-alloy>> (katsottu 24.2.2017).

Intel Newsroom 2016. Intel Unveils Project Alloy. Intel Corporation <<https://newsroom.intel.com/chip-shots/intel-unveils-project-alloy>> (luettu 16.2.2017).

Johnson, Leif 2017. Oculus Rift and Touch price slashed for good ahead of shopping season. TechRadar <<http://www.techradar.com/news/oculus-rift-price-slashed-to-399-for-good-ahead-of-shopping-season>> (luettu 17.10.2017).

Katz, Anthony 2017. Four Ways Augmented Reality Could Change The Music Industry. Forbes <<https://www.forbes.com/sites/forbesagencycouncil/2017/03/30/four-ways-augmented-reality-could-change-the-music-industry>> (luettu 4.4.2017).

Katz, Michael L. & Shapiro, Carl 1985. Network Externalities, Competition, and Compatibility. The American Economic Review 75 (3), 424–440. Luettavissa osoitteessa <<http://www.jstor.org/stable/1814809>> (luettu 1.6.2017).

Khronos Group n.d. Khronos Virtual Reality Standard Initiative. Khronos Group <<https://www.khronos.org/vr>> (luettu 21.2.2017).

Kunnossapitoyhdistys ry n.d. Kunnossapito Suomen kansantaloudessa. Luettavissa osoitteessa <<http://docplayer.fi/3514680-Kunnossapito-suomen-kansantaloudessa-kunnossapitoyhdistys-ry.html>> (luettu 21.4.2017).

Kurillo, Gregorij, Yang, Allen Y., Shia, Victor, Bair, Aaron & Bajcsy, Ruzena 2016. New Emergency Medicine Paradigm via Augmented Telemedicine. Virtual, Augmented and Mixed Reality - 8th International Conference, VAMR 2016 and Held as Part of HCI International 2016, Proceedings 9740, 502–511. DOI: 10.1007/978-3-319-39907-2_48 (luettu 28.4.2017).

Lamkin, Paul 2017. Best VR headsets 2017: HTC Vive, Oculus, PlayStation VR compared. Wareable <<https://www.wareable.com/vr/best-vr-headsets-2017>> (luettu 24.8.2017).

Lang, Ben 2017. Intel's Next Project Alloy Prototype to Get Enhanced CV Capabilities, Wider FoV, More Powerful Processor. Road to VR <<http://www.roadtovr.com/intels-next-project-alloy-prototype-get-enhanced-cv-capabilities-wider-fov-powerful-processor>> (luettu 16.2.2017).

Leap Motion n.d. Leap Motion Inc <<https://www.leapmotion.com/#112>> (luettu 18.5.2017).

Lee, Nicole 2017. Lenovo's first augmented-reality glasses are a 'Star Wars' exclusive. Engadget <<https://www.engadget.com/2017/08/31/lenovo-star-wars-jedi-challenges>> (luettu 1.9.2018).

Lenovo Newsroom 2017. Press Kit IFA 2017. Ladattavissa osoitteessa <<http://news.lenovo.com/presskits/ifa-2017.htm>> (katsottu 1.9.2018).

Lunden, Ingrid 2017. ODG unveils its first consumer AR/VR glasses, built on Qualcomm's Snapdragon 835 chip. TechCrunch <<https://techcrunch.com/2017/01/03/odg-unveils-its-first-consumer-ar-glasses-built-on-qualcomms-snapdragon-835-chip>> (luettu 9.3.2017).

Martin, Chris 2017. Microsoft HoloLens UK release date, price, specifications and games rumours: The HoloLens 2 is coming. PC Advisor <<http://www.pcadvisor.co.uk/new-product/wearable-tech/hololens-uk-release-date-price-specs-cheaper-hololens-headsets-coming-2-3616014>> (luettu 17.3.2017).

Manus VR 2017. Product Information Datasheet. Manus VR <<https://manus-vr.com/pdf/datasheet-manusvr.pdf>> (luettu 16.5.2017).

Manus VR n.d. Press. Katsottavissa osoitteessa <<https://manus-vr.com/press>> (katsottu 31.8.2017).

Meta n.d. a. Meta 2. Katsottavissa osoitteessa <<https://buy.metavision.com>> (katsottu 31.8.2017).

Meta n.d. b. Meta Company <<https://www.metavision.com>> (luettu 15.3.2017).

Meta n.d. c. Meta Company <<https://buy.metavision.com/products/meta2>> (luettu 16.3.2017).

Meta n.d. d. Frequently Asked Questions. Meta Company <<https://www.metavision.com/faq>> (luettu 16.3.2017).

Metz, Rachel 2017. A More Realistic Augmented Reality. MIT Technology Review <<https://www.technologyreview.com/s/604072/a-more-realistic-augmented-reality>> (luettu 11.4.2017).

Microsoft News Center 2015. Microsoft HoloLens: Image Gallery. Ladattavissa osoitteessa <<http://news.microsoft.com:80/presskits/hololens/imageGallery>> (katsottu 1.6.2017).

Microsoft News Center n.d. Microsoft HoloLens and Volvo Cars. Ladattavissa osoitteessa <https://news.microsoft.com/volvo-cars-microsoft-hololens-experience_03> (katsottu 31.8.2017).

NASA 2015. NASA, Microsoft Collaborate to Bring Science Fiction to Science Fact. Katsottavissa osoitteessa <<https://www.nasa.gov/press-release/nasa-microsoft-collaborate-to-bring-science-fiction-to-science-fact>> (katsottu 1.9.2017).

Neagle, Colin 2015. Video: Oculus Rift-controlled robot could be your 'personal avatar'. Network World <<http://www.networkworld.com/article/2917260/opensource-subnet/video-oculus-rift-controlled-robot-could-be-your-personal-avatar.html>> (luettu 3.7.2017).

NTS n.d. MIL-STD-810 Testing. National Technical Systems <https://www.nts.com/services/industry_specific/defense/mil-std-810> (luettu 10.5.2017).

Oculus n.d. Oculus Rift. Oculus VR <<https://www3.oculus.com/en-us/rift/>> (luettu 8.2.2017)

Oculus Developer n.d. Developers. Oculus VR <<https://developer.oculus.com/pc>> (luettu 8.2.2017).

Oculus VR n.d. Oculus VR Press-Kit. Ladattavissa osoitteessa <<https://www.oculus.com/press-kit/hardware>> (katsottu 24.2.2017).

ODG 2017a. Press. Ladattavissa osoitteessa <<http://www.osterhoutgroup.com/press>> (katsottu 31.8.2017).

ODG 2017b. Industry Leader ODG Introduces R-8 and R-9 Smartglasses at CES 2017. Lehdistötiedote. Osterhout Group Inc. Luettavissa osoitteessa <http://osterhoutgroup.com/presskit/pressreleases/Industry_Leader_ODG_Introduces_R-8_and_R-9_Smartglasses.pdf> (luettu 9.3.2017).

ODG n.d. a. R-9 Smartglasses. Osterhout Group Inc <<http://www.osterhoutgroup.com/products-r9>> (luettu 16.8.2017).

ODG n.d. b. R-9 Smartglasses Tech Sheet. Tekninen kuvaus. Osterhout Design Group. Luettavissa osoitteessa <<http://www.osterhoutgroup.com/presskit/R-9-TechSheet.pdf>> (luettu 14.3.2017).

Odom, Jason 2017. ODG's New R-7HL Are the First Rugged Smartglasses Made Specifically for the Industrial Workforce. Next Reality <<https://augmented.reality.news/news/odgs-new-r-7hl-are-first-rugged-smartglasses-made-specifically-for-industrial-workforce-0176925>> (luettu 24.8.2017).

Oksala, Sari 2016. Ensimmäiset mikrokopterien SM-kisat järjestetään Hämeenlinnassa. Hämeen Sanomat <<http://www.hameensanomat.fi/uutiset/kanta-hame/315654-ensimmaiset-mikrokopterien-sm-kisat-jarjestetaan-hameenlinnassa>> (luettu 23.2.2017).

Oscillada, John Marco 2017. List of Hand Tracking Tech for VR. Virtual Reality Times <<https://virtualrealitytimes.com/2017/02/15/list-of-hand-tracking-tech-vr>> (luettu 19.5.2017).

Painter, Lewis 2016. HTC Vive review: The most immersive VR headset of 2016. PC Advisor <<http://www.pcadvisor.co.uk/review/wearable-tech/htc-vive-review-virtual-reality-headset-uk-2016-room-scale-tracking-bespoke-controllers-wireless-accessory-3635648/>> (luettu 8.2.2017).

Perdue, Tim 2017. Applications of Augmented Reality. Lifewire <<https://www.lifewire.com/applications-of-augmented-reality-2495561>> (luettu 31.3.2017).

Prahalad & Hamel 1990. The Core Competence of the Corporation. Harvard Business Review 68 (3), 79–91. Luettavissa osoitteessa <<https://hbr.org/1990/05/the-core-competence-of-the-corporation>> (luettu 28.4.2017).

Prasuethsut, Lily 2016. Oculus Rift review. Wareable <<https://www.wareable.com/oculus-rift/oculus-rift-review>> (luettu 3.2.2017).

Robertson, Adi 2016. The New York Times is sending out a second round of Google Cardboards. The Verge <<http://www.theverge.com/2016/4/28/11504932/new-york-times-vr-google-cardboard-seeking-plutos-frigid-heart>> (luettu 23.2.2017).

Robertson, Adi 2017. ODG's new augmented reality glasses are for normal people (with a lot of money). The Verge <<http://www.theverge.com/ces/2017/1/3/14128200/odg-r8-r9-consumer-industrial-ar-glasses>> (luettu 13.3.2017).

Ronzio, Jonathan 2017. What Is the Difference Between AR and VR? A Lesson in Altered Realities. Cramer <<http://cramer.com/story/the-difference-between-ar-and-vr>> (luettu 29.3.2017).

Roos, Dave 2017. Avegant Light Field Puts Augmented Reality in the Palm of Your Hand. Seeker <<https://www.seeker.com/avegant-light-field-puts-augmented-reality-in-the-palm-of-your-hand-2316599059.html>> (luettu 7.4.2017).

Rousseau, Rémi 2014. Virtual surgery gets real. Medium <<https://medium.com/@Goetz/virtual-surgery-gets-real-221beeac65ea>> (luettu 21.2.2017).

Rubino, Daniel 2016. These are the full hardware specifications of the Microsoft HoloLens. Windows Central <<http://www.windowscentral.com/hololens-hardware-specs>> (luettu 20.3.2017).

Scope AR n.d. Remote AR. Scope AR <<http://www.scopear.com/products/remote-ar>> (luettu 12.5.2017).

Segan, Sascha 2017. These AR Glasses Are the First Qualcomm Snapdragon 835 Products. PCMag <<http://www.pcmag.com/news/350762/these-ar-glasses-are-the-first-qualcomm-snapdragon-835-produ>> (luettu 13.3.2017).

Shanklin, Will 2016. Oculus Rift review: Touch puts the Rift back in control. New Atlas <<http://newatlas.com/oculus-rift-review-touch-2017/46711>> (luettu 19.5.2017).

SpecOut 2017. Intel Project Alloy VR. Graphiq Inc <<http://virtual-reality-headsets.specout.com/l/304/Intel-Project-Alloy-VR>> (luettu 16.2.2017).

Spence, Ewan 2017. Microsoft HoloLens Review: Winning The Reality Wars. Forbes <<https://www.forbes.com/sites/ewanspence/2017/01/14/microsoft-hololens-review-experience-review>> (luettu 17.3.2017).

Tanskanen, Jari 2016. Robottikopterit valvovat pian ihmisiä ilmasta – suomalaistekniikkaa myydään Eurooppaan. Yle <<http://yle.fi/uutiset/3-8738025>> (luettu 12.5.2017).

Taylor, Jonathan, Bordeaux, Lucas, Cashman, Thomas, Corish, Bob, Keskin, Cem, Sharp, Toby, Soto, Eduardo, Sweeney, David, Valentin, Julien, Luff, Benjamin, Topalian, Arran, Wood, Erroll, Khamis, Sameh, Kohli, Pushmeet, Izadi, Shahram, Banks, Richard, Fitzgibbon, Andrew & Shotton, Jamie 2016. (luettu 19.5.2017). Efficient and Precise Interactive Hand Tracking Through Joint, Continuous Optimization of Pose and Correspondences. ACM Transactions on Graphics (TOG) 35 (4). Luettavissa osoitteessa <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2925965>> (luettu 19.5.2017).

Tennilä, Jaakko & Hakonen, Martti 2016. Kunnossapito liiketoiminnan osana. Promaint 30 (2), 11. Luettavissa osoitteessa <https://issuu.com/promaintlehti/docs/02_promaint2016> (luettu 20.4.2017).

The Medical Futurist 2016. Augmented Reality In Healthcare Will Be Revolutionary. The Medical Futurist <<http://medicalfuturist.com/augmented-reality-in-healthcare-will-be-revolutionary>> (luettu 31.3.2017).

Tractica 2017. Smart Augmented Reality Glasses Shipments to Reach 22.8 Million Units Annually by 2022. Tractica LLC <<https://www.tractica.com/newsroom/press-releases/smart-augmented-reality-glasses-shipments-to-reach-22-8-million-units-annually-by-2022>> (luettu 6.4.2017).

Ulanoff, Lance 2017. The augmented reality headset wars have begun. Mashable <<http://mashable.com/2017/03/11/meta-2-augmented-reality-headset/#YsGaFXbu9EqA>> (luettu 16.3.2017).

Univrse n.d. Univrse AB <<http://univrse.com>> (luettu 19.5.2017).

Uusiteknologia.fi 2016. Video: Virtuaalilasit vievät suomalaiset lomamatkalle. Uusiteknologia.fi <<http://www.uusiteknologia.fi/2016/03/25/virtuaalilasit-vievat-suomalaiset-lomamatkalle>> (luettu 22.2.2017).

Van Krevelen, D.W.F. & Poelman, R. 2010. A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations. The International Journal of Virtual Reality 9 (2), 1–20. Luettavissa osoitteessa <https://www.researchgate.net/publication/279867852_A_Survey_of_Augmented_Reality_Technologies_Applications_and_Limitations> (luettu 15.8.2017).

Virtual Reality Society n.d. Advantages of virtual reality in medicine. Virtual Reality <<http://www.vrs.org.uk/virtual-reality-healthcare/advantages.html>> (luettu 21.2.2017).

Vive n.d. a. VIVE™ | Buy Vive Hardware. HTC Corporation <<https://www.vive.com/us/product>> (luettu 10.2.2017).

Vive n.d. b. VIVE™ | Discover Virtual Reality Beyond Imagination. HTC Corporation <<https://www.vive.com/us>> (luettu 10.2.2017).

Vive n.d. c. VIVE™ | Develop for Vive and Steam VR. HTC Corporation <https://developer.viveport.com/us/develop_portal> (luettu 10.2.2017).

VR Lens Lab n.d. Field of View for Virtual Reality Headsets Explained. VR Lens Lab <<https://vr-lens-lab.com/field-of-view-for-virtual-reality-headsets>> (luettu 12.4.2017).

VR Source 2016. How does Virtual Reality work? VR Source <<http://vrsource.com/virtual-reality-work-3788>> (luettu 4.7.2017).

Windows Dev Center n.d. Install the tools. Microsoft <https://developer.microsoft.com/en-us/windows/holographic/install_the_tools> (luettu 16.2.2017).

Zakarin, Jordan 2017. I Saw Inside the Human Brain in Augmented Reality. Inverse <<https://www.inverse.com/article/26726-augmented-reality-headset-glasses-meta-2-sundance>> (luettu 16.3.2017).

Zhang, Sarah 2015. The Obscure Neuroscience Problem That's Plaguing VR. Wired
<<https://www.wired.com/2015/08/obscure-neuroscience-problem-thats-plaguing-vr>>
(luettu 5.7.2017).