

# **VR-tekniikan mahdollisuudet ja haasteet astronauttien koulutusympäristönä**

Tietotekniikka  
Tietotekniikan laitos, Teknillinen tiedekunta  
Kandidaatintutkielma

Laatija:  
Lauri Virtanen

Maaliskuu 2026

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu  
Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.



**Kandidaatintutkielma**  
**Tietotekniikan laitos, Teknillinen tiedekunta**  
**Turun yliopisto**

**Tutkinto-ohjelma:** Tietotekniikka

**Tekijä:** Lauri Virtanen

**Otsikko:** VR-tekniikan mahdollisuudet ja haasteet astronauttien koulutusympäristönä

**Sivumäärä:** 32 sivua, 1 liitesivua

**Päivämäärä:** Maaliskuu 2026

Tässä kandidaatintutkielmassa tarkastellaan virtuaalitodellisuusteknologioiden hyödyntämistä astronauttien koulutuksessa keskittyen erityisesti avaruuskävelyihin ja Artemis-kuulentoihin. Työ toteutetaan kirjallisuuskatsauksena, jossa analysoidaan virtuaalitodellisuuden historiallista kehitystä, teknisiä peruspilareita sekä sen suhdetta perinteisiin koulutusmenetelmiin, kuten NASA:n analogisiin koulutusympäristöihin.

Tutkimuskysymysten (TK1–TK3) pohjalta selviää, että virtuaalitodellisuudella on neljä keskeistä sovelluskohdetta astronauttikoulutuksessa: 1) painottomuuden simulointi robotiikka- ja liiketuntojärjestelmillä, 2) immerssiivinen ympäristömallinnus Kuun pinnan topografialla, 3) erikoisoperaatioiden ja laitteiston virtuaaliprototypointi sekä 4) monimutkaisten ja vaarallisten operaatioiden simulointi. Tulokset korostavat virtuaalitodellisuuden keskeistä merkitystä tulevien kuunmissioiden, kuten Artemis-ohjelman, koulutuksessa: sen avulla voidaan toistettavasti ja turvallisesti simuloida Kuuhun laskeutumista ja liikkumistehtäviä, näytteenottoja sekä telerobotiikka- ja etäoperaatioita. Samalla tunnistetaan merkittävät haasteet: simulointien realistisuuden ja haptisen palautteen puutteet, yksilöllinen virtuaalitodellisuussairausherakkyys, taitojen siirrettävyyden validointitarve sekä teknologian nopean kehityksen edellyttämä jatkuva päivitys- ja ylläpitotyö.

Päätelminä korostetaan hybridimallin tarvetta, jossa virtuaalitodellisuus täydentää analogisia ja perinteisiä menetelmiä, sekä järjestelmien kehityssuuntia kohti entistä todentuntuimpia virtuaalioppimisympäristöjä. Jatkotutkimuksissa suositellaan empiiristä validointia virtuaalitodellisuusharjoitusten vaikutuksista astronauttien suoriutumiseen sekä erilaisten palautejärjestelmien vertailevaa analyysiä.

**Asiasanat:** virtuaalitodellisuus, astronauttikoulutus, avaruuskävely, kuulento, Artemis-ohjelma, kirjallisuuskatsaus, VR-simulaatio.

# Sisällysluettelo

<b>1</b>	<b>Johdanto</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Virtuaalitodellisuuden määritelmä astronauttikoulutuksen kontekstissa</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Virtuaalitodellisuuden taustat astronauttikoulutuksessa</b>	<b>12</b>
3.1	Hubble STS-61	12
3.2	Perinteiset ja analogiset koulutusympäristöt	13
3.2.1	NEEMO: analoginen harjoitus vedenalaisella tutkimusasemalla	14
3.2.2	CAVES: analoginen luolaharjoitus	15
3.2.3	Desert RATS: harjoitus Arizonan autiomaalla	16
<b>4</b>	<b>VR:n mahdollisuudet ja haasteet astronauttikoulutuksessa</b>	<b>18</b>
4.1	<b>Virtuaalitodellisuuden nykysovellukset astronauttikoulutuksessa</b>	<b>18</b>
4.1.1	Virtual Reality Lab ja dynaaminen 3D-grafiikkaohjelmisto DOUG	18
4.1.2	SAFER-pelastusväline avaruuskävelyille	19
4.1.3	Painovoimankevennysjärjestelmä ARGOS	19
4.1.4	Raskaiden kuormien käsittelyharjoitus	20
4.2	<b>Astronauttikoulutuksen virtuaalitodellisuussovellukset: tulevaisuuden näkymät</b>	<b>21</b>
4.3	<b>Virtuaalitodellisuuden haasteet astronauttikoulutuksessa</b>	<b>22</b>
<b>5</b>	<b>Johtopäätökset</b>	<b>23</b>
	<b>Lähteet</b>	<b>27</b>
	<b>Kuvien lähteet</b>	<b>31</b>

## LYHENNELUETTELO

### Lyhenteet

AR	lisätty todellisuus (augmented reality)
ARGOS	painovoimankevennysjärjestelmä (Active Response Gravity Offload System)
CAVES	ESA:n analoginen luolaharjoitus (Cooperative Adventure for Valuing and Exercising human behaviour and Skills)
Desert RATS	NASA:n kenttätutkimus Arizonan autiomaalla (Research and Studies)
DOUG	dynaaminen 3D-grafiikkaohjelmisto (Dynamic Onboard Ubiquitous Graphics)
EDGE	DOUG-järjestelmän laajennus (Engineering DOUG Graphics for Exploration)
EMU	avaruuspuku (Extravehicular Mobility Unit)
ESA	Euroopan avaruusjärjestö (European Space Agency)
EVA	avaruuskävely (Extravehicular activity)
HMD	päähän asetettava näyttölaite (Head-mounted display)
MSS	avaruusaseman mobiili huoltojärjestelmä (Mobile Servicing System)
NASA	Yhdysvaltojen avaruusjärjestö (National Aeronautics and Space Administration)
NBL	NASA:n koulutusallas (Neutral Buoyancy Laboratory)
NEEMO	NASA:n analoginen harjoitus vedenalaisella tutkimusasemalla (NASA Extreme Environment Mission Operations)
SAFER	pelastusrakettireppu (Simplified Aid for EVA Rescue)
VR	virtuaalitodellisuus (virtual reality)
VRL	NASA:n virtuaalitodellisuuslaboratorio (Virtual Reality Laboratory)

# 1 Johdanto

Tässä kandidaatintutkielmassa tutkitaan virtuaalitodellisuusteknologioiden (VR) hyödyntämistä astronauttien koulutuksessa, keskittyen erityisesti avaruuskävelyihin ja tuleviin kuumissioihin. VR mahdollistaa haastavien ja avaruuden äärimmäisten, jopa hengenvaarallisten, olosuhteiden simuloinnin turvallisesti maan päällä sekä kiertoradalla avaruusasemilla. Avaruusaseman ulko- ja sisätiloja, avaruusasemalla navigointia (Liu ym., 2016), avaruuskävelyä, mekaanisten tehtävien harjoittelua sekä hätätilanteita voidaan simuloida VR-ympäristössä vähäriskisesti (Carpenter ym., 2015). Työssä selvitetään virtuaalitodellisuusteknologioiden käyttöä koulutuksen tukena, sen historiallista kehitystä sekä nykyisiä sovelluksia, haasteita ja mahdollisuuksia. Tutkielma keskittyy nimenomaan virtuaalitodellisuuteen avaruuskoulutuksen kontekstissa.

Aihe on erityisen ajankohtainen, sillä kansalliset ja kansainväliset avaruusjärjestöt, kuten Yhdysvaltojen avaruusjärjestö NASA ja Euroopan avaruusjärjestö ESA toteuttavat kuumissioita tällä hetkellä ja lähitulevaisuudessa. ESA on mukana NASA:n Artemis-ohjelmassa, joka on kolmiosainen kuuntutkimusohjelma. Sen tavoitteena on Kuun pysyvä asuttaminen pitkäaikaista tutkimusta ja tieteellisiä kokeita varten (NASA, 2025). Kiinan avaruusjärjestö puolestaan laukaisee vuonna 2026 Chang'e-projektiin kuuluvan seitsemännen mission, Chang'e 7, (National Space Science Data Center, 2025), joka on osa järjestön laajempaa kuututkimusohjelmaa. Lisäksi Venäjä, Intia, Japani ja Yhdistyneet arabiemiraatit toteuttavat omia kuututkimusohjelmiaan (Wang ym., 2024). Vähemmän aktiivisen ajanjakson jälkeen on alkanut uusi Kuun tutkimuksen aikakausi, kun useat valtiot ovat tunnustaneet sen strategisen merkityksen (Pei ym., 2020).

Astronauttikoulutuksessa on perinteisesti hyödynnetty fyysisiä simulaatiomenetelmiä kuten vedenalaista harjoittelua, analogisia simulaatioita ja mekaanisia mock-up-malleja, mutta nämä eivät kykene täysin jäljittelemään painottomuudesta aiheutuvia tilahavainnon muutoksia. Painottoman ympäristön vaikutukset tekevät orientoitumisesta ja navigoimisesta haastavaa. Liu ym. (2016) tutkivat, kuinka virtuaalitodellisuuteen perustuva koulutus ennen avaruuslentoa voi vähentää näitä vaikeuksia. Tutkimuksessa testattiin kolmen eri harjoittelustrategian vaikutusta navigaatiotehtävissä suoriutumiseen simuloitussa avaruusasemassa. VR-pohjainen navigointikoulutusjärjestelmä osoittautui tehokkaaksi menetelmäksi, joka tukee tilallisten taitojen oppimista ja edistää astronauttien suoritusvalmiutta. Mielenkiintoinen havainto oli, että

osallistujien tulevaa suoriutumista ennusti hyvin ennakkoon tehty tilasuhteiden hahmottamisen koe. Tässä kokeessa tehtävänä oli tunnistaa oikeat asennot eri tavoin käännettyistä kuutioista.

Tutkielman päätavoitteena on selvittää, miten VR-teknologiaa sovelletaan astronauttien koulutuksessa, erityisesti avaruuskävelyihin ja tuleviin kuulentoihin keskittyen. Lisäksi tutkielmassa kartoitetaan teknologian hyötyjä, haasteita ja rajoituksia koulutuksen näkökulmasta. Tutkimuskysymykset ovat:

**TK1:** Mitkä ovat VR:n keskeiset sovelluskohteet astronauttikoulutuksessa?

**TK2:** Miten VR voi tukea erityisesti tulevien kuulentojen koulutusvaihetta?

**TK3:** Mitä haasteita ja rajoitteita avaruusjärjestöt kohtaavat soveltaessaan VR-teknologiaan pohjautuvia koulutusjärjestelmiä?

Tutkielma rajataan käsittelemään vain miehitettyjen avaruuslentojen koulutussovelluksia. Tarkastelu keskittyy erityisesti NASA:n ja ESA:n koulutusohjelmiin, mutta myös muihin toimijoihin viitataan lyhyesti. Teknologinen rajaus tehdään virtuaalitodellisuuteen, lisätty todellisuus (AR) jää työn ulkopuolelle. Tutkielma tehdään teknologisesta näkökulmasta, joten koulutusohjelmien pedagogista suunnittelua ei käsitellä laajasti.

Työ toteutetaan kirjallisuuskatsauksena. Aineisto on koottu maaliskuun 2025 ja maaliskuun 2026 välillä käyttäen seuraavia tieteellisiä hakukantoja: IEEE Xplore, ScienceDirect, SpringerLink, ACM Digital Library ja NASA Technical Reports Server. Haut kohdistettiin julkaisujen avainsanoihin, otsikoihin ja tiivistelmiin. Alustavina hakusanoina käytettiin ”virtual reality”, ”training”, ”astronaut”, ”spacewalk” sekä ”Moon”, joista saatiin seuraavat hakulausekkeet:

- ((”VR” OR ”Virtual Reality”) AND ”training” AND ”astronaut\*”),
- ((”VR” OR ”Virtual Reality”) AND (”Extravehicular Activity” OR ”spacewalk”)) ja
- ((”VR” OR ”Virtual Reality”) AND ”Moon”).

Iteroinnin kautta näistä muodostettiin yhdistetty hakulauseke:

- ("VR" OR "Virtual Reality" OR "Immersive") AND astronaut\* AND (train\* OR simulat\*).

Tietokantakohtaisten rajoitusten vuoksi ScienceDirectiin hakulausekkeen muoto muutettiin (“VR” OR “Virtual Reality” OR “Immersive”) AND (“astronaut” OR “astronauts”) AND (“train” OR “trained” OR “simulation” OR “simulated”), koska tietokanta ei tukenut katkaisumerkkejä. NASA Technical Reports Server:n haut suoritettiin osittaisina hakuina.

Järjestelmällinen haku rajattiin vuosina 2010-2026 julkaistuihin vertaisarvioituihin artikkeleihin, konferenssijulkaisuihin ja teknisiin raportteihin. Hakukielenä käytettiin englantia. ScienceDirect-tietokannassa hakulauseketta yksinkertaistettiin ja NTRS-tietokannassa haku suoritettiin osittaisina hakuina tietokantojen teknisten rajoitteiden vuoksi.

Järjestelmälliset haut tuottivat yhteensä 4 758 hakutulosta (Taulukko 1). Aineistonhallintaa varten viitteet siirrettiin Zotero-ohjelmistoon, johon saatiin teknisten rajoitusten puitteissa tuotua 4 747 viitettä. Ohjelmiston avulla tunnistettiin ja yhdistettiin 360 duplikaattia, jolloin seulottavan aineiston kokonaismääräksi jäi 4 387 uniikkia viitettä.

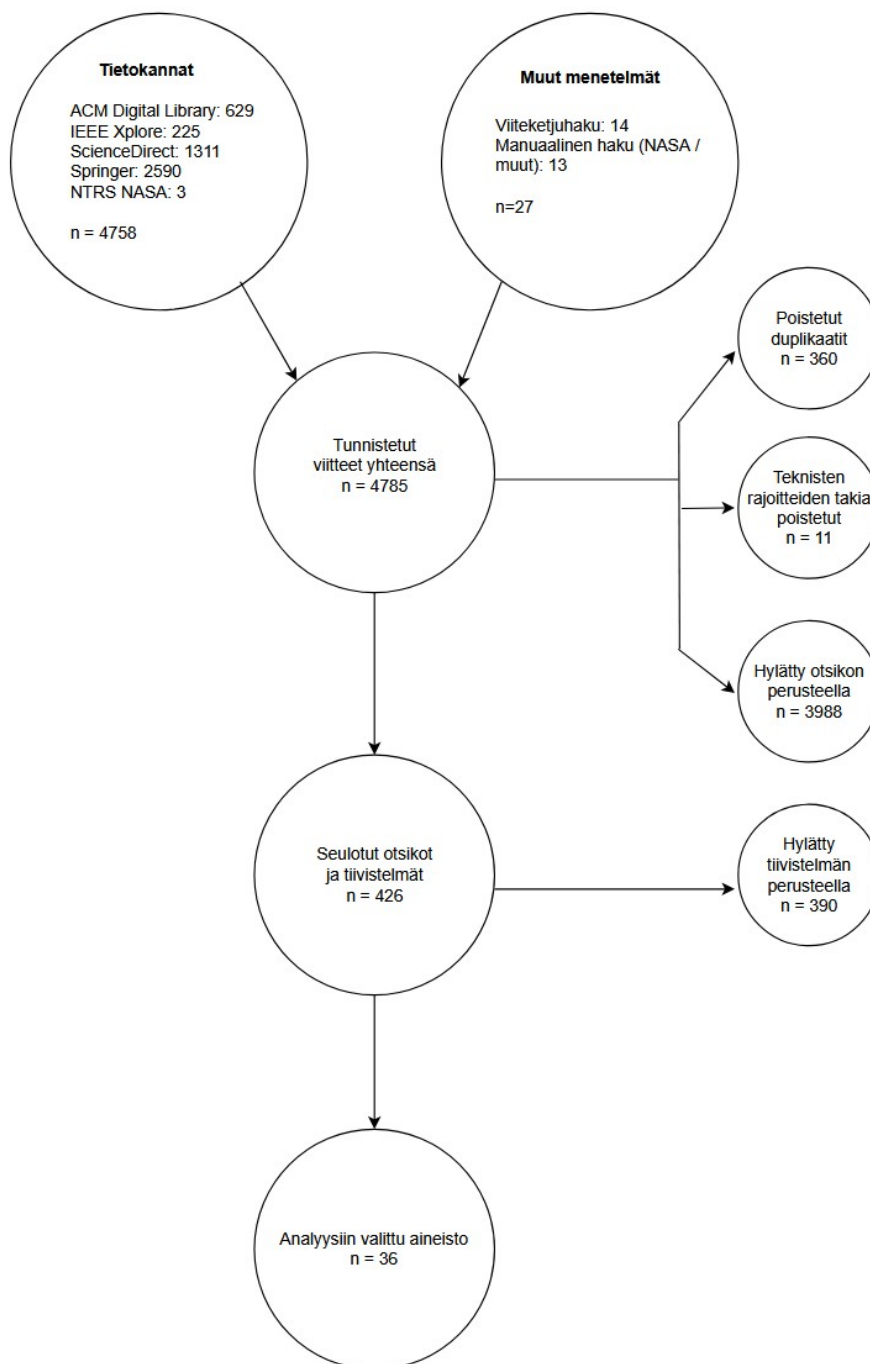
#### **Taulukko 1. Tiedonhaun tulokset tietokannoittain.**

<b>Tietokannat</b>	<b>Julkaisujen kappalemäärä</b>
IEEE Xplore	225
ScienceDirect	1311
SpringerLink	2590
ACM Digital Library	629
NTRS (NASA)	3
<b>Yhteensä</b>	<b>4758</b>

Suuren tulosmäärän vuoksi aineisto seulottiin ensin otsikkotasolla, minkä perusteella tarkempaan tiivistelmä- ja sisältöanalyysiin valittiin 426 julkaisua. Lopulliseen lähdeaineistoon valikoitui järjestelmällisen haun perusteella yhdeksän relevanttia julkaisua. Aineistoa täydennettiin viiteketjuhauella, jolla tunnistettiin 14 julkaisua. Näiden joukossa oli historiallisesti merkittäviä perusteoksia sekä Hubble-avaruusteleskoopin huoltotöiden VR-koulutusta käsitteleviä tutkimuksia 1990-luvulta. Nämä lähteet katsottiin välttämättömiksi teknologian kehityskaaren ja historiallisen kontekstin ymmärtämiseksi, vaikka ne sijoittuvat varsinaisen aikarajauksen ulkopuolelle.

Lisäksi 13 lähdetä valittiin manuaalisella haululla NASA:n verkkosivustoilta sekä teknisistä dokumentaatioista ajantasaisen tiedon varmistamiseksi. Manuaalinen haku kohdistettiin

erityisesti uudempiin laitteistostandardeihin ja simulaatioalustoihin, kuten Valve Index- ja Varjo-sarjan VR-järjestelmiin. Aineiston poissulkukriteereinä käytettiin epärelevanttia kontekstia sekä puutteellista teknistä syvyyttä. Kokonaisuudessaan lähdeaineisto koostuu 36 julkaisusta, jotka käsittelevät VR-koulutuksen teknistä toteutusta, neuropsykologisia vaikutuksia sekä operatiivisia rajoitteita astronauttien harjoittelussa. Aineiston valintaprosessi on kuvattu kuviossa 1 (PRISMA-kaavio).



**Kuvio 1.** Aineiston valintaprosessin eteneminen (PRISMA).

Tekniseen aineistoon perustuva tutkielma koostuu viidestä pääluvusta, jotka etenevät loogisesti historiallisesta kontekstista kohti virtuaalitodellisuuden nykyisiä ja tulevaisuuden sovelluksia astronauttikoulutuksen näkökulmasta. Luku 2 tarkastelee virtuaalitodellisuuden määritelmää ja sen teknisiä perusteita. Luvussa käsitellään VR:n historiallista kehitystä, alkaen varhaisista innovaatioista, kuten stereoskopiasta ja Link Trainer -simulaattorista, aina modernien korkean resoluution VR-järjestelmien kehitykseen. Lisäksi esitellään VR:n teknologisia ulottuvuuksia, kuten interaktiivisuutta ja eloisuutta, sekä niiden merkitystä immersiiivisten koulutusympäristöjen luomisessa. Luku 3 keskittyy VR-sovellusten ja analogisten ympäristöjen rooliin astronauttikoulutuksessa, erityisesti NASA:n ja ESA:n menetelmissä. Luvussa esitellään varhaisia sovelluksia, kuten Hubble-teleskoopin korjausoperaation Preview-järjestelmä, sekä perinteisiä fyysisiä harjoitusympäristöjä, kuten Neutral Buoyancy Laboratory (NBL). Lisäksi käsitellään analogisia simulaatioita, joilla kehitetään teknisiä ja tiimityötaitoja painottaen fyysistä ja psyykkistä realistisuutta. Luku 4 muodostaa tutkielman teknisen ytimen tarkastelemalla VR-tekniikan nykysovelluksia, tulevaisuudennäkymiä ja haasteita. Se esittelee NASA:n Virtual Reality Labin nykyiset järjestelmät, jotka mahdollistavat avaruuskävelyiden ja robotiikkaoperaatioiden harjoittelun hyödyntäen moderneja pelimootoreita ja laitteisto-ohjelmisto-silmukoita. Lisäksi luvussa käsitellään SAFER-pelastusvarusteen ja ARGOS-painovoimankevennysjärjestelmän käyttöä sekä analysoidaan tulevaisuuden teknologioita, kuten NVERSE-alustaa ja korkearesoluutioista pintamallinnusta. Luku 5 kokoaa yhteen tutkielman keskeiset havainnot ja vastaa asetettuihin tutkimuskysymyksiin. Luvussa arvioidaan kriittisesti VR-tekniikan merkitystä sekä sen nykyistä ja tulevaa roolia suhteessa perinteisiin koulutusmenetelmiin. Lisäksi pohditaan VR:n vaikutuksia tulevissa avaruusmissioissa, kuten Artemis-ohjelmassa, ja hahmotellaan tekniikan kehityssuuntia sekä jatkotutkimustarpeita.

## 2 Virtuaalitodellisuuden määritelmä astronauttikoulutuksen kontekstissa

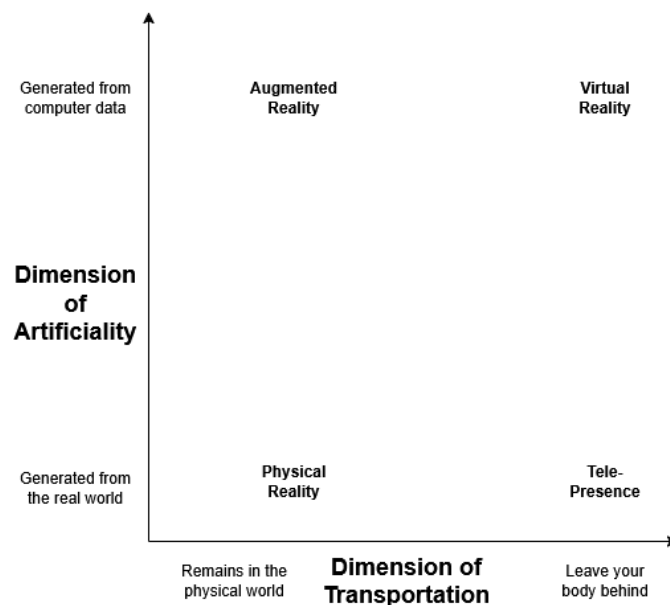
Virtuaalitodellisuus on digitaalisesti luotu keinotekoinen ympäristö, jota käytetään yleensä VR-laseilla. Steuerin (1992) mukaan tämä laitteistokeskeinen perspektiivi ei kuitenkaan kuvaa VR:n täyttä potentiaalia riittävän tarkasti, etenkin koulutusympäristöjen kannalta. Steuer esittää, että VR määritellään kokemusperusteisena ilmiönä, jossa keskeiset käsitteet ovat läsnäolo ja telepresenssi. Astronauttikoulutuksen kontekstissa tämä näkökulma on erityisen tärkeä, koska tavoitteena on realistisesti ja immersiiivisesti simuloida avaruuden olosuhteita.

Steuerin (1992) määritelmän mukaan läsnäolon käsite viittaa yksilön subjektiiviseen kokemukseen fyysisestä ympäristöstä, joko luonnollisesti tai syntetisoidusti teknologian kautta. Telepresenssi tarkoittaa sitä, että käyttäjä kokee olevansa enemmän teknologian välittämässä ympäristössä, kuin fyysisessä sijainnissaan. VR-simulaatio voi tukea koulutusta tuottamalla koulutettaville mahdollisimman realistisen kokemuksen todellisista olosuhteista. Tämä tarkoittaa esimerkiksi kuun pinnan realistisia simulaatioita, jossa astronautit voivat harjoitella liikkumista ja tehtäviin liittyvien laitteiden käyttöä.

Steuerin (1992) mukaan VR:n telepresenssin kokemus perustuu kahteen teknologiseen päädimensioon: interaktiivisuuteen ja eloisuuteen. Interaktiivisuus tarkoittaa sitä, kuinka paljon käyttäjä voi vaikuttaa simuloituun ympäristöön. VR-koulutuksen kontekstissa interaktiivisuuden aste määrittää miten hyvin koulutettava voi vuorovaikuttaa simulaation kanssa; esimerkiksi interaktiivisessa Kuun pinnan simulaatiossa astronautit voivat dynaamisesti harjoitella kuumoduulin ohjaamista tai työskentelyä matalassa painovoimassa. Eloisuus puolestaan viittaa siihen, kuinka rikas ja moniaistinen VR-simulaatio on. Tähän sisältyy visuaaliset, auditiiviset, taktiiliset ja kinesteettiset elementit. Mitä suurempi simulaation eloisuus on, sen voimakkaampi on immersiiivisyys, mikä on kriittistä koulutussimulaatioissa. Immersiiivisyys erottaa VR:n perinteisestä kuvallisesta esittämisestä ja tekee siitä erityisen soveltuvan tilanteisiin, joissa fyysinen harjoittelu on vaikeaa. Avaruuslentoihin valmistautuminen on tästä hyvä esimerkki.

VR eroaa lisätystä todellisuudesta siinä, että se korvaa koko näkökentän keinotekoisella ympäristöllä, kun taas AR tuo digitaalisia elementtejä todelliseen näkymään, mikä on havainnollistettu kuvassa 1. Nämä teknologiat voivat tukea toisiaan, mutta VR:n kyky jäljitellä kokonaisia avaruusympäristöjä tekee siitä keskeisen teknologian tulevissa kuutehtävissä. VR:n

avulla voidaan luoda esimerkiksi tarkkoja mallinnuksia Kuun pinnasta, joiden avulla astronautit voivat harjoitella laskeutumisia, ajoneuvojen käyttöä ja pinnan tutkimista turvallisessa sekä toistettavassa ympäristössä.



**Kuva 1.** Virtuaalitodellisuus irrottaa käyttäjän kehostaan keinotekoiseen ympäristöön, kun taas lisätty todellisuus rikastaa todellista maailmaa digitaalisella sisällöllä. Pohjautuu Benford ym., (1998) kuvaan.

Vaikka nykyinen VR-teknologia on varsin uutta, sen taustalla on useita historiallisia kehitysaskelaita. Yksi varhaisimmista VR-teknologian esiasteista on Charles Wheatstonen vuonna 1838 kehittämä stereoskopia. Tämä havainto, jossa kaksi hieman toisistaan poikkeavaa kuvaa yhdistetään aivoissa kolmiulotteiseksi näkymäksi, on edelleen keskeinen periaate VR-laseissa. Stereoskooppinen näkö mahdollistaa realistisen syvyyden arvioinnin simulaatioissa. (Virtual Reality Society, 2017)

Vuonna 1929 Edward Link kehitti Link Trainer -simulaattorin, jota käytettiin lentäjien koulutukseen. Link Trainerin koulutussimulaatioasetelma on nähtävissä kuvassa 2. Tämä mekaaninen simulaattori tarjosi realistisen kokemuksen lentämisestä ja oli ensimmäinen laajasti käytetty koulutusteknologia, joka pohjautui immersiiiviseen simulaatioon. Sen toimintaperiaatteet pohjautuivat reagointiin ohjausliikkeisiin sekä sensorien hyödyntämiseen, jotka ovat edelleen näkyvissä nykyisissä VR-järjestelmissä. (Virtual Reality Society, 2017)



**Kuva 2.** Link Trainer käytössä Yhdistyneiden kuningaskuntien Fleet Air Arm-aseamalla 1943. (Zimmerman, E. A. (Lt), Royal Navy official photographer, 1943)

1950- ja 1960-luvuilla kehitettiin useita laitteita, jotka ennakoivat modernia VR-tekniologiaa. Morton Heiligin Sensorama yhdisti visuaaliset, äänelliset ja hajuaistiin vaikuttavat elementit luoden moniaistisen elämyksen. Kuvassa 3 on Heiligin kehittämä Telesphere-päähine (Heilig, 1960). Samaan aikaan kehitetyt varhaiset VR-päähineet, kuten Headsight ja Sword of Damocles, mahdollistivat näkökentän ja pään liikkeen seuraamisen – ominaisuudet, jotka ovat nyky-VR:n perusta. Vuonna 1987 Jaron Lanierin käyttöön ottama termi "virtuaalitodellisuus" toi käsitteelle laajemman tunnettuuden ja loi pohjan nykyiselle kehitykselle. (Virtual Reality Society, 2017)



**Kuva 3.** Morton Heiligin kehittämä Telesphere Mask. (Heilig, 1957)

Virtuaaliympäristön realismi ja käyttäjän toimintamahdollisuudet riippuvat keskeisesti järjestelmän tukemista vapausasteista. LaVallen (2023, ss. 75–78) mukaan täysi kuuden vapausasteen seuranta on välttämätön korkean immersion saavuttamiseksi. Se koostuu kolmesta liikkeestä x-, y-, ja z-akselilla eli translationaalisesta liikkeestä ja kolmesta rotationaalisesta liikkeestä. Rotaatioliikkeet määritellään termein *yaw* eli kääntyminen pysty akselin ympäri, *pitch* eli kääntyminen poikittaisakselin ympäri ja *roll* eli pään kallistus sivulle. Astronauttikoulutuksessa kuuden vapausasteen seuranta on tärkeää, jotta astronautti voi esimerkiksi kurottautua fyysisesti kohti ohjaimia tai liikkua vapaasti simuloidussa tilassa.

Puutteellinen seuranta tai viive fyysisen liikkeen ja visuaalisen palautteen välillä johtaa usein VR-pahoinvointiin. LaVallen (2023, s. 71) mukaan ongelma on havainnollinen: aivot joutuvat tulkitsemaan, liikkuko käyttäjä itse vai siirtyykö virtuaalimaailma hänen ympärillään. Vaikka matemaattinen transformaatio on molemmissa tapauksissa sama, fysiologinen epämukavuus syntyy aivojen virheellisestä arviosta. Esimerkiksi, kun näköaisti havaitsee virtuaalitodellisuudella tuotetun liikkeen, syntyy aistiharha omasta liikkeestä eli vektio. Koska tasapainoaisti ei rekisteröi tätä kiihtyvyyttä, voi seurauksena syntyä pahoinvoinnin laukaiseva aistiristiriita. Esimerkiksi ohjaimella liikkuva astronautti saattaa kokea maailman siirtyvän

ympärillään, mikä on kriittinen hallittava tekijä simulaatiopahoinvoinnin ehkäisyssä ja koulutuksen onnistumisessa.

VR-laitteistojen parantunut saatavuus on mahdollistanut niiden hyödyntämisen myös tieteellisissä ja koulutuksellisissa tarkoituksissa. Oculus Riftin julkaisu vuonna 2010 oli merkittävä edistysaskel, sillä se toi VR-lasit kuluttajamarkkinoille. Sen laaja näkökenttä ja suhteellisen edullinen hinta loivat perustan laajemmalle käytölle (Virtual Reality Society, 2017). Vaikka varhaiset kuluttajalaitteet, kuten vuonna 2016 julkaistu HTC Vive, toivat VR-laitemarkkinoille huonetason seurannan, on tekniikka kehittynyt huomattavasti niiden resoluution ja seuranta-arkkitehtuurin osalta. Vive:n korkea resoluutio ( $1080 \times 1200$  pikseliä per silmä) ja 90 Hz:n virkistystaajuus tukevat realistista havainnointia (HTC, 2021).



**Kuva 4.** HTC Vive HTC:n markkinointijohtajan Jeff Gattis:n käytössä. (Pesce, 2015).

Edistyneemmät järjestelmät, kuten Valve Index ja Varjo VR-2 Pro, ovat vieneet VR-tekniikan uudelle tasolle. Valve Index tarjoaa tarkan käsien ja sormien liikkeiden seurannan, ilman erillisiä VR-hanskoja (Valve Corporation, 2019). Varjo VR-2 Pro puolestaan tarjoaa ihmissilmän tarkkuutta vastaavan näytön (Varjo, 2019). Lisäksi matalan viiveen näytöt ja langattomat ratkaisut, kuten TPCAST, tekevät simulaatioista sulavampia. (TPCAST, 2017)

Tulevaisuudessa entistä kehittyneemmät laitteet voivat simuloida esimerkiksi Kuun alhaista painovoimaa tai tukea robottien kauko-ohjausta telepresenssin keinoin. Tämä voisi mahdollistaa simuloitua työtilanteita, joissa astronautti ohjaa robottikättä tai ajoneuvoa Kuun pinnalla, vaikka itse olisi paikalla. Samalla järjestelmien tarkkuus, laatu ja skaalautuvuus voivat tuoda VR:n entistä laajemmin osaksi avaruusteknologioiden suunnittelua, testausta ja koulutusta. NASA hyödyntää jo nyt kehittyneitä VR-teknologioita kouluttaessaan astronautteja ja hioessaan tulevia avaruustehtäviä, kuten Gateway-aseman rakentamista Kuun kiertoradalle. Astronautit, kuten Raja Chari ja Nicole Mann, käyttävät virtuaalitodellisuutta tutkiakseen Gatewayn virtuaalista mallia ja suorittaakseen simuloituja tehtäviä, kuten kokeiden tekemistä, tarvikkeiden noutamista ja aterioiden valmistelua. Näin he voivat antaa kriittistä palautetta aseman suunnittelijoille, varmistaen sen turvallisuuden ja mukavuuden. Nämä simulaatiot ovat olennainen osa Artemis-ohjelmaa, jonka tavoitteena on palauttaa ihminen Kuuhun ja valmistella matkoja Marsiin. (NASA, 2024)

### 3 Virtuaalitodellisuuden taustat astronauttikoulutuksessa

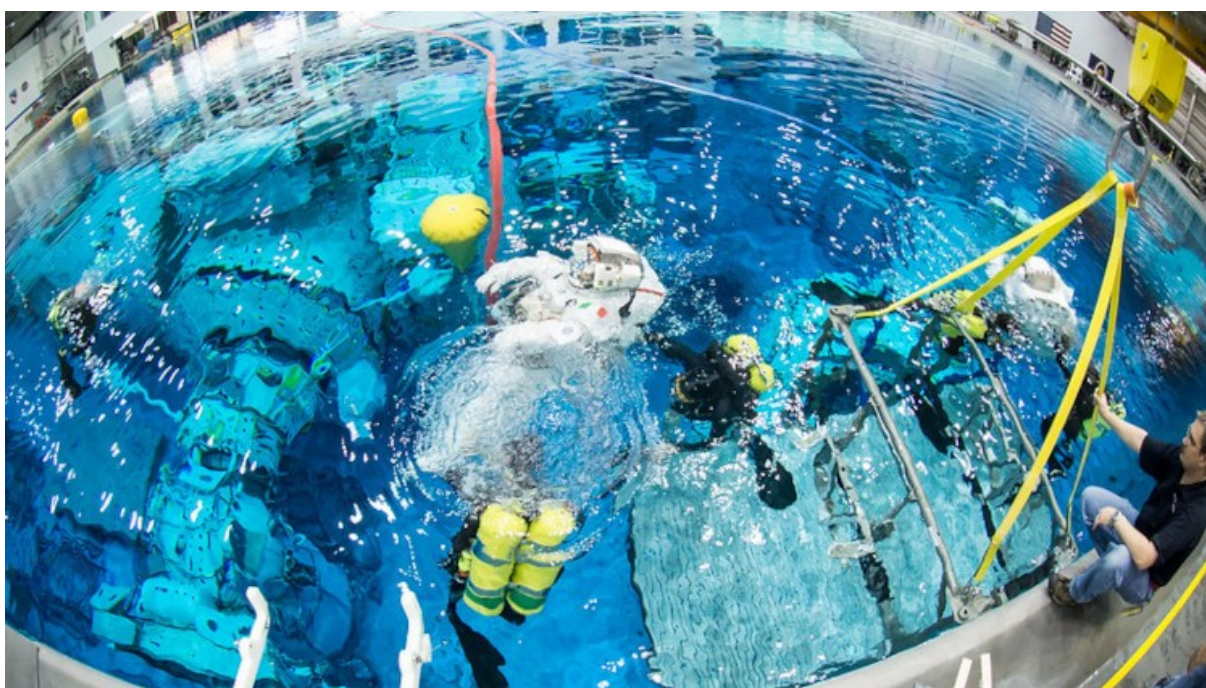
Astronauttikoulutus on perinteisesti nojannut fyysisiin simulaatioihin, jotka tarjoavat korkean psyykkisen ja fyysisen realismin. NASA:n Johnson Space Center:ssä sijaitseva The Virtual Reality Lab on käyttänyt virtuaalitodellisuutta astronauttien koulutukseen jo vuosikymmenten ajan (Garcia ym., 2020). Monimutkaisten tilanteiden turvallinen harjoittelu sekä virtuaaliympäristön soveltaminen yksilöllisiin tarpeisiin ovat avanneet uusia mahdollisuuksia astronauttien koulutuksessa. Perinteiset koulutusympäristöt, kuten NASA:n Sonny Carter Training Facility:ssä sijaitseva Neutral Buoyancy Laboratory, sekä analogiset simulaatiot ovat yhä tärkeä osa astronauttien koulutusta (Bingham ym., 2024). VR tarjoaa kuitenkin uudenlaisen lähestymistavan avaruuslentoihin kouluttautumisessa. Hwang et. al (2024) osoittavat, miten virtuaalinen koulutusympäristö laskee kustannuksia ja koulutukseen kuluvaan aikaan sekä tarjoaa turvallisen koulutusympäristön.

#### 3.1 Hubble STS-61

Kun vuonna 1990 Hubble-teleskoopin ensimmäinen kuvasarja osoitti odottamattoman optisen virheen, joutui NASA suunnittelemaan monimutkaisen korjausoperaation avaruudessa. Suunnittelun tuloksena syntyi viisi peiliparia sisältävä optinen penkki, Costar (Corrective Optics Space Telescope Axial Replacement). Operaation suunnittelu ja siihen valmistautuminen vaativat ennennäkemätöntä tarkkuutta. Ratkaisuksi kehitettiin VR-pohjainen prototyypijärjestelmä, jossa astronautit kykenivät toistuvasti harjoittelemaan korjaustoimenpiteitä Lockheed Corp.'s Optical Design Groupin suunnittelemassa digitaalisesti mallinnetussa ympäristössä, Previewissä (Prevent Real Errors by Virtual Investigation of Engineering Worlds). Preview yhdisti useita 3D-tietolähteitä, luoden realistisen koulutusympäristön, jonka avulla insinöörit ja astronautit pystyivät harjoittelemaan korjausoperaatiota etukäteen. Preview simuloi optisia reittejä ja auttoi ymmärtämään teleskoopin rakenteelliset haasteet. Tämä oli yksi ensimmäisistä kerroista, kun VR:ää sovellettiin käytännössä astronauttien koulutukseen. Tutkimalla virtuaalista prototyyppiä Preview-järjestelmällä, Lockheed Group löysi kaksi kriittistä vikaa Costar:n designissa. Ilman virtuaalista prototyyppiä viat olisivat löytyneet myöhemmin, todennäköisesti vasta siinä vaiheessa, kun Costar olisi ollut jo rakennettu. (Hancock, 1993)

### 3.2 Perinteiset ja analogiset koulutusympäristöt

The Neutral Buoyancy Laboratory (NBL), maailman suurin vedenalainen simulaatiotila, on yksi NASA:n tunnetuimmista astronauttien koulutusympäristöistä (NASA, 2024). NBL sisältää täysikokoisen mallin kansainvälisestä avaruusasemasta (Kuva 2) ja se on suunniteltu simuloimaan mikropainovoiman olosuhteita veden fyysisen vastuksen ja kelluvuuden avulla. Tämä toteutetaan painojen ja kelluntalaitteiden yhdistelmällä. NBL:ää käytetään avaruuskävelyjen ja muiden avaruuslentoihin liittyvien toimenpiteiden harjoitteluun, sillä se tarjoaa astronauttien koulutukseen realistisen ympäristön, jossa harjoitellaan useita erilaisia skenaarioita.



**Kuva 5.** Johnson Space Centerin vedenalainen harjoitteluympäristö The Neutral Buoyancy Lab (NASA, 2023)

Vaikka NBL tarjoaa ainutlaatuiset puitteet avaruuslentoihin kouluttautuville astronautteille, on siinä merkittäviä rajoituksia. Ylläpitokustannuksista ei ole saatavina suoria lukuja, mutta vuonna 2024 myönnetyn sopimuksen kokonaisarvo oli \$265,2 miljoonaa ja sopimus kattaa kaksi vuotta perusjaksoa, jota seuraa viisi optiokautta (NASA, 2024). Tulee huomioida, että luku ei välttämättä ole suoraan verrannollinen NBL:n kokonaisvuosikustannuksiin. Kuitenkin on selvää, että NBL:n käytöstä aiheutuu suuria taloudellisia kustannuksia ja vain rajallinen määrä astronautteja voi harjoitella siellä kerrallaan. Lisäksi vedenalaisten harjoitusten valmistelu on aikaa vievä prosessi. Astronauttien vedenalaisissa koulutusharjoituksissa on

lisäksi haasteita toistettavuuden ja skaalautuvuuden kanssa. Tämä tarkoittaa, ettei avaruuslentojen kaikkia olosuhteita voida jäljitellä vedenalaisessa harjoittelussa, sillä esimerkiksi visuaalisen ympäristön realismi ja valaistusolosuhteet jäävät vaillinnaisiksi.

Kosmo ym. (2007) ja Bessone ym. (2015) kuvaavat, kuinka analogiset koulutusympäristöt, kuten NEEMO (NASA Extreme Environment Mission Operations), CAVES (Cooperative Adventure for Valuing and Exercising human behaviour and performance Skills) ja Desert RATS (Desert Research and Technology Studies) tarjoavat realistisia harjoitusympäristöjä astronauttien kuulentoihin vaadittavien taitojen kehittämiseen. Nämä taidot koostuvat teknisistä, psykologisista sekä tiimityöhön liittyvistä taidoista. Koulutusympäristöt ovat valittu vastaamaan sekä avaruuden olosuhteita pimeyden, painottomuuden ja eristyneisyyden osalta, että tehtävien toiminnallisen rakenteen, kuten aikapaineiden ja tiimityön kautta. Molemmissa koulutusympäristössä opitaan päätöksentekoa, ryhmädynamiikkaa ja kommunikaatiota tilanteissa, jossa resurssit on rajalliset ja virheiden seuraukset voivat olla hengenvaarallisia.

### 3.2.1 NEEMO: analoginen harjoitus vedenalaisella tutkimusasemalla

NEEMO on analoginen koulutusympäristö, jossa astronautit lähetetään 3-4 hengen ryhmissä vedenlaiseen Aquarius-laboratorioon kolmeksi viikoksi kerrallaan (NASA, 2025).

Laboratorio sijaitsee 20 metrin syvyydessä merenpohjassa. Astronautit oleskelevat veden alla 2,5 barin paineessa monen päivän ajan. Astronauttien veren typpisaturaatiot nousevat tasolle, joka estää nopean paluun pinnalle. Simulaatio jäljittelee avaruuskävelyä sekä astronauttien eristyneisyyden että aikarajoitteiden tuottaman operatiivisen paineen kautta. Simulaation realismia tukee altistus laboratorion ja meren välisestä paine-erosta johtuvalle todelliselle vaaralle (Bessone ym., 2015). Kuvassa 3 esitetään NEEMO 23-harjoitukseen kuulunut Lunar Evacuation System Assembly-pelastuslaitteen testaus.



**Kuva 6.** LESA-pelastuslaitetta testataan vedenalaisessa avaruuskävelysimulaatiossa NEEMO 23-harjoituksessa (ESA/NASA-H.Stevenin, 2019).

### 3.2.2 CAVES: analoginen luolaharjoitus

ESA:n CAVES-ohjelmassa astronautit harjoittelevat vaativaa luolatutkimusta Sardiiniassa maksimissaan kuuden hengen ryhmissä. Luolat ovat vaarallinen ympäristö, joka edellyttää erityiskoulusta ja selkeitä operatiivisia turvallisuuskäytänteitä. Harjoitus simuloi avaruuskävelyä pimeällä alueella, pienentyneellä näkökentällä sekä kolmessa ulottuvuudessa etenemisellä, sisältäen epäintuitiivisia perspektiivejä esteisiin sekä kiellettyjä alueita, joihin ei turvallisuussyistä tule edetä. Astronauttien tulee suorittaa tieteellisiä tehtäviä, kuten mikrobiologisia ja geologisia mittauksia sekä ilmastollisten olosuhteiden seuranta. CAVES tarjoaa astronauttien koulutukseen analogisen koulutusympäristön, jossa yhdistyvät tiimityön haasteet, tekniset vaatimukset ja psykologiset stressitekijät (Bessone ym., 2015), mitä havainnollistetaan Kuvassa 4. Analogisten simulaatioiden keskeinen etu on tarjota fyysistä ja psyykkistä realismia, jota VR-järjestelmät eivät kykene jäljittämään.



**Kuva 7.** Astronutteja CAVES-harjoituksessa (Vittorio Crobu/ESA 2016).

### 3.2.3 Desert RATS: harjoitus Arizonan autiomaalla

Desert RATS (Desert Research and Technology Studies) on NASA:n vuodesta 1997 lähtien toteuttama ohjelma Arizonan aavikolla, jonka tavoitteena on kehittää ja testata toimintamenetelmiä sekä laitteistoja tulevia kuulentoja varten. Ohjelma suoritetaan analogisten koulutussimulaatioiden ja kenttätutkimusten avulla. Testialue tarjoaa Kuun ja Marsin pintaolosuhteita muistuttavan ympäristön. Ohjelman toiminta on kehittynyt merkittävästi vuosien varrella. Alkuvaiheessa keskityttiin geologisiin tutkimusmenetelmiin ja avaruuspukujen toimivuuteen. 2000-luvulla fokus siirtyi ihmisten ja robottien väliseen

yhteistyöhön, energiajärjestelmien asentamiseen sekä miehistönkuljetusajoneuvojen testaamiseen. Viimeisimpänä painopisteenä on ollut paineistettujen kuuajoneuvojen kehittäminen, mikä mahdollistaisi astronauttien pidempikestoisen työskentelyn Kuun pinnalla (Kosmo ym., 2007).

Lokakuussa 2022 toteutetussa D-RATS-ohjelmassa NASA työskenteli yhteistyössä Japanin avaruusjärjestön kanssa paineistettujen ajoneuvojen testaamisessa. Kyseisissä ajoneuvoissa on suojattu ja ilmatiivis miehistötila, josta käsin voidaan suorittaa näytteenotto- ja tutkimustehtäviä Kuun pinnalla (Kuva 5). Desert RATS -ohjelman keräämä data on kriittisen tärkeää Artemis-ohjelman myöhempien vaiheiden suunnittelussa, erityisesti vuodelle 2030 kaavaillun Artemis VII -mission valmistelussa (NASA, 2022).



**Kuva 8.** NASA:n Lunar Electric Rover Desert RATS-harjoituksessa (NASA, 2023).

## 4 VR:n mahdollisuudet ja haasteet astronauttikoulutuksessa

Virtuaalitodellisuus on vakiinnuttanut asemansa astronauttikoulutuksessa, koska se mahdollistaa sellaisten skenaarioiden toistamisen, jotka ovat analogisissa simulaatioissa liian kalliita tai vaarallisia. Teknologinen kehitys on siirtymässä NASA:n sisäisistä ohjelmistoista kohti kaupallisia pelimoottoreita, mikä mahdollistaa entistä suuremman immersion. Kuten Cecil ym. (2019) toteavat, simulaatiopohjaiset suunnittelumenetelmät yleistyvät nopeasti eri toimialoilla. VR-koulutusympäristöt perustuvat 3D-malleihin, jotka ovat suunniteltu simuloimaan todellisia tai kuviteltuja kohdeympäristöjä. Käyttäjien on mahdollista vuorovaikuttaa kohdeympäristön kanssa. Nämä ympäristöt tukevat "mitä jos"-analyysyjä ja auttavat ymmärtämään monimutkaisia tehtäviä sekä vertailemaan erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja.

### 4.1 Virtuaalitodellisuuden nykysovellukset astronauttikoulutuksessa

Astronauttikoulutuksessa VR-järjestelmät mahdollistavat eritasoisen immersion: osittaisen tai täydellisen. Immersio viittaa käyttäjän kykyyn "astua sisään virtuaaliympäristöön" ja koskettaa, navigoida, olla vuorovaikutuksessa ja tutkia ympäristöä interaktiivisesti. Nykyaikaiset järjestelmät, kuten HTC Vive, joita Cecil ym. (2019) käyttivät tutkimuksessaan, tarjoavat korkean tason immersion kokemuksia Unity 3D -pelimoottorilla ja C#- sekä JavaScript-ohjelmoinnilla toteutettujen simulaatioympäristöjen kautta.

#### 4.1.1 Virtual Reality Lab ja dynaaminen 3D-grafiikkaohjelmisto DOUG

NASA:n Johnson Space Centerissä (JSC) sijaitseva Virtual Reality Lab (VRL) on edistyksellinen koulutusympäristö, joka on erikoistunut avaruuskävelyiden (EVA) ja robotiikkaoperaatioiden simulointiin. VRL hyödyntää NASA:n omaa Trick-simulointiympäristöä ja dynaamista 3D-grafiikkaohjelmistoa nimeltä DOUG (Dynamic Onboard Ubiquitous Graphics). DOUG on ollut NASA:n pitkäaikainen standardi avaruusaseman ja sen operatiivisten toimintojen visualisoinnissa (NASA, 2023). VRL:n erikoisuus on painottomuuden simulointi. Korkealaatuinen kuuden vapausasteen simulaatio yhdistettynä voima- ja momenttisensoreihin sekä ihmiskäyttöön suunniteltuun robottiin tuottaa tarkan aistivasteen erikokoisten ja -massaisten esineiden käsittelystä avaruuden painottomassa tilassa. Kun tämä yhdistetään virtuaalitodellisuusjärjestelmän immersiiiviseen grafiikkaan ja kypäränäyttöihin, astronautit saavat sekä visuaalisen että tuntoaistimuksiin perustuvan kokemuksen esineiden käsittelystä avaruudessa. Myös DOUG-renderointiohjelmistoa käytetään VRL:ssä, jonka lisäksi VRL:ssä tuotetaan EVA-animaatioita kaikkien

avaruuskävelyiden valmistelua ja arviointia varten (NASA, 2023). DOUG-ohjelmistosta on kehitetty myös EDGE (Engineering DOUG Graphics for Exploration) -konfiguraatio, joka suoraviivaistaa järjestelmän integraation vastaamaan Artemis-ohjelman vaatimuksia. Ennen moderneja pelimoottoreita EDGE oli keskeinen sovellus Kuun visualisoinnissa, sillä se tuki planetaarista renderöintiä ja erittäin tarkkoja koordinaatistoja (Bingham ym., 2024).

Nykyisin NASA on kuitenkin siirtymässä käyttämään Unreal Engine 5 (UE5) -pelimoottoria. Tämä siirtymä johtuu UE5:n kyvystä käsitellä reaaliaikaista epäsuoraa valaistusta ja tarkkoja dynaamisia varjoja, mitkä ovat kriittisiä simuloitaessa Kuun pinnan äärimmäisiä valo-olosuhteita. Vaikka Unity-pelimoottoria on käytetty aiemmissä simulaatioissa, se on väistymässä UE5:n tieltä, koska siitä puuttuvat suuren mittakaavan simulaatioissa vaadittavat ominaisuudet, kuten riittävä suorituskyky monimutkaisessa varjostuksessa ja tarkemmat 64-bittiset liukuluvut (Bingham ym., 2024).

#### 4.1.2 SAFER-pelastusväline avaruuskävelyille

Simplified Aid for EVA Rescue (SAFER) on kriittinen turvavaruste astronauteille, jotka suorittavat avaruuskävelyitä Kansainvälisellä avaruusasemalla. Pienikokoiseksi selkärepuksi kuvailtu SAFER muistuttaa rakettireppua tai "pelastusliiviä" avaruuskävelyille, ja se on yhdistetty EMU-avaruuspukuun (Extravehicular Mobility Unit). Sen ensisijainen tehtävä on tarjota vakautta, työntövoimaa ja ohjattavuutta, mahdollistaen miehistön jäsenen pelastautumisen ja turvallisen paluun avaruusasemalle hätätilanteessa, jossa astronautti irtoaa turvavaijerista. Järjestelmä sisältää pienikokoisia propulsioyksiköitä, jotka hyödyntävät komposiittipaineastioita sekä elektroniikkaa ja ohjelmistoja ohjausta varten inertiaalisen mittausyksikön kautta. Virtuaalitodellisuus on keskeinen osa SAFER-koulutusta, sillä järjestelmän käyttöä on mahdotonta harjoitella realistisesti Maan painovoimassa ilman VR-simulaatiota. VR-sovellusten avulla astronautit harjoittelevat järjestelmän käyttöliittymää ja ohjausdynamiikkaa. Astronautit opettelevat hallitsemaan joystick-syötteillä sekä kulma- että lineaarikiihdytystä typpisuihkujen avulla (Sinnot ym., 2019). Tämä simulaatio varmistaa, että kriittiset pelastautumistoimenpiteet tulevat selkäyttimeen ennen varsinaista tehtävää.

#### 4.1.3 Painovoimankevennysjärjestelmä ARGOS

NASA on kehittänyt Active Response Gravity Offload System (ARGOS) -järjestelmän simuloimaan erilaisia painovoimaolosuhteita Maan painovoimasta aina mikropainovoimaan asti. Järjestelmä perustuu robottiohjattuun siltanosturiin, joka seuraa koehenkilön liikkeitä ja

keventää tämän painoa dynaamisesti. Tietokoneohjattu vinssi ja anturit havaitsevat kuorman siirtymät ja voiman muutokset reaaliajassa, jolloin järjestelmä kykenee kohdistamaan jatkuvan ylöspäin suuntautuvan voiman kohteen painopisteeseen. Tämä mahdollistaa niin astronauttien, tutkimusajoneuvojen kuin robottienkin testaamisen simuloitussa avaruusympäristössä (NASA, 2025).

E erityisen merkittäväksi ARGOS muodostuu, kun se yhdistetään virtuaalitodellisuuteen NASA:n Hybrid Reality Labissa. Tällöin astronautti voi harjoitella esimerkiksi käsijohteilla liikkumista, joka on yleisin liikkumismuoto avaruuskävelyillä (Sinnot ym., 2019). Kun visuaalinen näkymä tarjotaan VR-lasien kautta ja ARGOS poistaa fyysisen painon tunteen, simulaatio saavuttaa korkean tason kinesteettisen realismin. JSC:n VR-laboratorio hyödyntää tätä yhdistelmää myös suurten esineiden käsittelyyn, tarjoten astronauteille realistisen tuntemuksen massan hitaudesta ilman painovoiman tuottamaa vastusta (Space Center Houston, 2025).

#### 4.1.4 Raskaiden kuormien käsittelyharjoitus

VRL hyödyntää massankäsittelyn harjoittelussa erityistä laitteisto-ohjelmisto-silmukassa toimivaa simulaatiota, jonka keskiössä on Charlotte-robotti. Järjestelmä on suunniteltu tarjoamaan astronauteille mahdollisimman todenmukainen kokemus suurten massojen liikuttelusta mikropainovoimassa. Charlotte-robotti koostuu kahdeksasta moottorista, jotka on yhdistetty kaapeleilla kuution muotoiseen käyttöliittymään. Tähän käyttöliittymään kiinnitetyt voima- ja momenttianturit mittaavat astronautin kohdistamia fyysisiä voimia, ja tieto välitetään reaaliajassa Trick-simulaatio-ohjelmistolle.

Simulaatio laskee dynaamisesti, miten määritellyillä massaominaisuuksilla varustettu virtuaalinen kuorma liikkuisi avaruudessa, ja ohjaa tämän laskelman perusteella robotin moottoreita tuottamaan vastaavan vastuksen. Samanaikaisesti simulaatio päivittää visuaalisen näkymän astronauttien VR-laseissa DOUG-grafiikkaohjelmiston kautta. Järjestelmä sisältää myös kontaktimallinnuksen, joka antaa realistisen haptisen tuntuman tilanteissa, joissa virtuaalinen kuorma esimerkiksi osuu tai kiinnittyy rakenteisiin.

Tyypillisesti astronautit käsittelevät harjoituksessa useita yli 500 paunan eli noin 227 kg:n painoisia virtuaalisia kuormia. VRL:n kaksi Charlotte-robottia mahdollistavat myös moninpeliskenaariot, joissa kaksi astronauttia voi harjoitella yhden suuren kuorman käsittelyä yhteisessä virtuaaliympäristössä (Garcia ym., 2020). Tämä on kriittistä tiimityöskentelyn

harjoittelua varten, jotta miehistö yhteistyössä oppii hallitsemaan suurten esineiden hitautta ja liikeratoja.

## **4.2 Astronauttikoulutuksen virtuaalitodellisuussovellukset: tulevaisuuden näkymät**

Avaruustehtävien monimutkaistuuessa VR-sovellukset tarjoavat poikkeuksellisen tehokkaan keinon simuloida vaarallisia laitteisto-operaatioita turvallisesti. Teknologinen kehitys on edennyt varhaisista, rajoitetuista simulaatioista kohti korkean resoluution langattomia päähän asetettavia näyttölaite-järjestelmiä, jotka mahdollistavat lähes täydellisen kuuden vapausasteen hyödyntämisen (DeVito & Ngalamou, 2021).

Keskeisessä roolissa tässä kehityksessä on NASA:n NVERSE (Virtual Exploration Rendered Simulation Environment). Se on Unreal Engine 5 -moottoriin pohjautuva keskitetty projekti, joka yhdistää aiemmat erilliset simulaatioympäristöt yhdeksi joustavaksi alustaksi. NVERSE hyödyntää UE5-moottorin edistyneitä tekniikoita: Nanite mahdollistaa äärimmäisen monimutkaisten ja tarkkojen 3D-mallien renderöinnin ilman suorituskyvyn laskua, kun taas Lumen tarjoaa fotorealistisen, reaaliaikaisesti muuttuvan valaistuksen. Nämä ovat kriittisiä tekijöitä simuloimassa esimerkiksi Kuun pinnan jyrkkiä varjoja. Alustan tavoitteena on tukea verkostoitunutta vuorovaikutusta, jolloin samassa simulaatiossa voidaan harjoitella yhtäaikaisesti esimerkiksi avaruuskävelyä ja kuuajoneuvon (Lunar Terrain Vehicle) ajoa. (Bingham ym., 2024).

Tulevaisuuden simulaatioiden tarkkuus perustuu yhä enemmän todelliseen kaukokartoitusdataan. Esimerkiksi Lunar Reconnaissance Orbiter -luotaimen keräämä aineisto muunnetaan digitaalisiksi korkeusmalleiksi, jotka muodostavat virtuaaliympäristön pohjan. Ali ym. (2024) esittävät, kuinka tekoälypohjaiset algoritmit (kuten Real-ESRGAN) voivat parantaa tämän datan laatua entisestään, mikä mahdollistaa tieteellisesti tarkkojen 3D-mallien luomisen pintaprofilointia ja näytteenottoa varten.

Teknisen realismin lisäksi VR-koulutuksen tulevaisuudessa korostuu personointi. Edistynyt seurantateknologia, kuten silmänliikkeiden ja fysiologisten vasteiden mittaus, mahdollistaa adaptiivisen palautteen antamisen. Minotti ym. (2024) havaitsivat, että immerstiivinen, reaaliaikainen palaute eli purkutilaisuus VR-ympäristössä vahvistaa oppimista ja motivaatiota paremmin kuin perinteiset menetelmät. Tämä mahdollistaa koulutuksen automatisoinnin ja

tarjoaa tarkkaa tietoa astronautin kognitiivisesta kuormituksesta ja suoriutumisesta stressin alaisena. (DeVito & Ngalamou, 2021; Minotti ym., 2024).

### **4.3 Virtuaalitodellisuuden haasteet astronauttikoulutuksessa**

Vaikka virtuaalitodellisuuden integrointi kuulentoihin valmistavaan koulutukseen tuo merkittäviä hyötyjä, se sisältää myös haasteita, jotka on huomioitava simulaatioita kehitettäessä. Yksi keskeisimmistä haasteista on käyttäjien fysiologinen sopeutuminen. Kuten luvussa 2 todettiin, näköaistin ja tasapainoelimen välinen ristiriita sekä siitä seuraava vektio, illusio omasta liikkeestä, johtavat usein VR-pahoinvointiin. Tämä voi rajoittaa merkittävästi koulutussessioiden tehokkuutta. Saredakis ym. (2020) havaitsivat, että simulaation interaktiivisuus ja liikkeen määrä vaikuttavat suoraan oireiden voimakkuuteen: dynaamiset sisällöt aiheuttavat merkittävästi enemmän disorientaatiota kuin staattiset ympäristöt.

Toinen keskeinen haaste on simulaatioiden autenttisuuden puute. Vaikka nykyiset järjestelmät tukevat tarkkaa kuuden vapausasteen seuranta, ne eivät pysty uskottavasti jäljittelemään painottomuutta tai avaruuspuvun aiheuttamia fyysisiä rajoitteita. Kuhail ym. (2025) mukaan noin puolet tutkimuksista kyseenalaistaa virtuaaliympäristöjen kyvyn simuloida todellisia olosuhteita riittävän tarkasti. Tekniset puutteet, kuten käsien virheellinen renderöinti tai alhainen resoluutio voivat rikkoa immersion, jolloin astronautin kognitiiviset ja fysiologiset vasteet poikkeavat todellisen tehtävän vaatimuksista.

Kolmas haaste liittyy VR:n rooliin osana laajempaa koulutusprosessia. VR ei yksin pysty kattamaan kaikkia NASA:n tunnistamia avaruuslennon vaaroja, kuten säteilyä, sosiaalista eristyneisyyttä tai epäsuotuisia elinympäristöolosuhteita (NASA, 2024). Tästä syystä VR:ää hyödynnetään koulutuksessa täydentävänä työkaluna, ei korvaavana menetelmänä. Esimerkiksi avaruuskävelyn tehtävävaiheita voidaan harjoitella VR-simulaation avulla visuaalisesti ja proseduraalisesti, mutta lopullinen fyysinen suoritus on varmistettava analogisissa ympäristöissä, kuten NBL-altaassa. Näin saavutetaan realistinen tuntuma, jota pelkkä visuaalinen simulaatio ei pysty tuottamaan (NASA, 2025).

## 5 Johtopäätökset

Tämä kandidaatintutkielma on tarkastellut virtuaalitodellisuusteknologioiden hyödyntämistä astronauttien koulutuksessa, keskittyen erityisesti avaruuskävelyihin ja tuleviin kuulentoihin. Työn tavoitteena oli selvittää VR:n keskeisiä sovelluskohteita, sen potentiaalia Artemis-ohjelman kaltaisissa tehtävissä sekä teknologiaan liittyviä haasteita ja rajoituksia avaruusjärjestöjen näkökulmasta. Tutkielma toteutettiin kirjallisuuskatsauksena hyödyntäen tieteellisiä tietokantoja ja teknisiä raportteja. Tutkimuskysymyksiin (TK1-TK3) vastaamiseksi tutkielmassa syvennyttiin VR-tekniikan historialliseen kehitykseen, sen tekniikan perusteisiin, sekä sen suhteeseen perinteisiin ja analogisiin koulutusmenetelmiin.

### **TK1: Mitkä ovat VR:n keskeiset sovelluskohteet astronauttikoulutuksessa?**

Tutkielma osoitti, että VR:llä on lukuisia sovelluskohteita astronauttikoulutuksessa. Teknologia mahdollistaa monimutkaisten ja riskialttiiden operaatioiden, kuten avaruuskävelysten, mekaanisten huoltotehtävien ja hätätilanteiden turvallisen ja toistettavan simuloinnin. NASA:n Virtual Reality Lab hyödyntää virtuaalitodellisuutta laajasti EVA- ja robotiikkaoperaatioiden harjoitteluun. VR-ohjelmistoista on käytetty mm. DOUG:ia ja EDGE:ä ja viime vuosina Unreal Engine 5 -pelimoottoriin pohjautuvaa NVERSE-alustaa.

VR-sovelluksia hyödynnetään myös SAFER-pelastusrakettirepun käytön harjoitteluun sekä liikkumisen ja esineiden käsittelyn simulointiin alennetussa painovoimassa, usein integroituna fyysisiin järjestelmiin, kuten ARGOS-painovoimankevennykseen. Erityisen merkittävä sovelluskohde on raskaiden kuormien käsittelyyn kehitetty simulaatio, jonka ytimessä on Charlotte-robotti. Tämä laitteisto-ohjelmisto-silmukassa toimiva järjestelmä on suunniteltu antamaan astronautteille mahdollisimman todenmukaisen kokemuksen suurten massojen liikuttelusta mikropainovoimassa Charlotte-robotti koostuu kahdeksasta moottorista, jotka ohjaavat käyttöliittymän liikettä ja tuottavat haptisen vasteen astronautin kohdistamien voimien perusteella. Historiallisesti tarkasteltuna VR:ää on hyödynnetty menestyksekkäästi jo vuosikymmeniä, mistä esimerkkinä on Hubble-teleskoopin huoltomission suunnittelu Preview-järjestelmän avulla. Kaikkiaan VR tarjoaa fyysisiin simulaatioihin, kuten NBL-allasharjoitteluun, verrattuna kustannustehokkaan ja skaalautuvan tavan toistaa harjoituksia ja arvioida eri skenaarioita.

## **TK2: Miten VR voi tukea erityisesti tulevien kuulentojen koulutusvaihetta?**

VR tarjoaa merkittävää tukea tulevien kuulentojen, kuten NASA:n Artemis-ohjelman, koulutukseen. Sen avulla voidaan luoda erittäin immersivisiä ja realistisia simulaatioita Kuun pinnasta, huomioiden sen ainutlaatuinen topografia ja haastavat valaistusolosuhteet. Nämä ympäristöt rakennetaan hyödyntäen tarkkaa kaukokartoitusdataa, kuten Lunar Reconnaissance Orbiter -luotaimen aineistoja ja digitaalisia korkeusmalleja.

Simulaatioiden avulla astronautit voivat harjoitella Kuuhun laskeutumista, liikkumista Kuun pinnalla sekä kävellen että kuuajoneuvoilla, näytteenottoa sekä tieteellisten laitteiden käyttöä turvallisessa ympäristössä. Unreal Engine 5 -pelimoottorin kaltaiset teknologiat mahdollistavat dynaamisen valonmallinnuksen, mikä on kriittistä Kuun etelänavan jyrkkien varjojen ymmärtämiseksi. VR tukee myös laitteistojen ja toimintatapojen suunnittelua virtuaalisten prototyypin avulla jo ennen fyysisten laitteiden rakentamista. Lisäksi teknologia parantaa astronauttien tilallista hahmotuskykyä ja orientoitumista vieraisissa ympäristöissä, mikä on elintärkeää avaruudessa suoritettavien tehtävien onnistumiselle.

## **TK3: Mitä haasteita ja rajoitteita avaruusjärjestöt kohtaavat soveltaessaan VR-teknologiaan pohjautuvia koulutusjärjestelmiä?**

Vaikka VR-teknologia tarjoaa huomattavia etuja, siihen liittyy myös merkittäviä haasteita. Keskeisin näistä on käyttäjien fysiologinen sopeutuminen: osa käyttäjistä kokee VR-pahoinvointia, päänsärkyä tai disorientaatiota. Tämä johtuu usein aistien välisestä ristiriidasta, jonka aiheuttaa vektio eli illuusio omasta liikkeestä ilman vastaavaa fyysistä aistimusta. Tämä voi rajoittaa koulutussessioiden kestoa ja tehokkuutta (Saredakis ym., 2020). Toinen kriittinen haaste on simulaatioiden autenttisuuden rajallisuus. Nykyiset järjestelmät eivät pysty täydellisesti mallintamaan painottomuutta, rajoittunutta liikkuvuutta tai avaruuspuvun fyysistä vastusta, mikä voi johtaa siihen, että astronautin kognitiiviset ja fysiologiset vasteet poikkeavat todellisuudesta (Kuhail ym., 2025). Tekniset haasteet, kuten käsien epätarkka renderöinti tai näytön resoluution rajoitteet, voivat myös heikentää immersion uskottavuutta.

Kolmanneksi VR-simulaatiot eivät yksinään riitä kattamaan kaikkia astronauttikoulutuksen osa-alueita. Ne eivät pysty simuloimaan esimerkiksi avaruussäteilyä tai pitkäkestoisen eristyksen psyykkisiä vaikutuksia täydellisesti. Tästä syystä VR:ää käytetään täydentävänä menetelmänä analogisten harjoitusympäristöjen rinnalla. VR on erinomainen työkalu

proseduraaliseen harjoitteluun eli sen oppimiseen, mitä tehdään ja missä järjestyksessä, kun taas fyysinen ja moniaistinen realismi vaatii yhä perinteisiä simulaatiomenetelmiä.

Yhteenvedona voidaan todeta, että virtuaalitodellisuus on vakiinnuttanut asemansa arvokkaana työkaluna astronauttien koulutuksessa. Se tarjoaa turvallisen, kustannustehokkaan ja joustavan tavan harjoitella monimutkaisia tehtäviä, mikä parantaa astronauttien operatiivista valmiutta avaruuslentoja varten. Erityisesti tulevien kuulentojen, kuten Artemis-ohjelman, valmistelussa VR-tekniikan merkitys korostuu, sillä se mahdollistaa vieraiden ja vaarallisten ympäristöjen simuloinnin ennennäkemättömällä tarkkuudella ja immersivisyydellä.

VR-tekniikan kehitys jatkuu nopeana. Tulevaisuudessa voidaan odottaa entistä realistisempia simulaatioita kehittyneemmän grafiikan, haptisen palautteen ja fysiologisten mittauksen integroinnin myötä. Personoidut oppimispolut ja adaptiiviset palautejärjestelmät voivat tehostaa oppimista entisestään. Moninpelitoiminnot ja teleroBotiikan integrointi avaavat uusia mahdollisuuksia tiimityöskentelyn ja etäoperaatioiden harjoitteluun. Lisäksi uudenlaisia hybridikoulutusympäristöjä voidaan luoda yhdistämällä virtuaalitodellisuutta ja lisättyä todellisuutta.

Tämä tutkielma perustui kirjallisuuskatsaukseen, eikä se sisältänyt empiiristä testausta VR-järjestelmien tehokkuudesta. Tutkielma rajattiin pääasiassa NASA:n ja ESA:n toimintaan sekä virtuaalitodellisuuteen. AR-tekniikat ja koulutuksen pedagogiset yksityiskohdat jätettiin tarkoituksellisesti vähemmälle huomiolle.

Jatkotutkimuksessa olisi hyödyllistä tutkia tarkemmin VR-koulutuksen pitkäaikaisvaikutuksia astronauttien suorituskykyyn ja taitojen säilymiseen. Erityisesti taitojen siirrettävyyden validointi virtuaaliympäristöstä todellisiin avaruusolosuhteisiin vaatii lisää tutkimusta. Myös eri VR-tekniikoiden ja -menetelmien, kuten erilaisten palautejärjestelmien ja haptisten laitteiden, vertaileva tutkimus olisi tarpeen parhaiden käytäntöjen tunnistamiseksi. Lisäksi VR-pahoinvointiin johtavien syiden ja niiden lieventämiskeinojen selvittäminen sekä yksilöllisten ja sukupuolierojen huomioiminen koulutuksen suunnittelussa on jatkossa ensiarvoisen tärkeää.

Virtuaalitodellisuus on keskeisessä osassa nykyaikaista astronauttikoulutusta. Vaikka haasteita, kuten simulaatioiden realismisuuden täydellinen saavuttaminen, on edelleen olemassa, VR:n tarjoamat hyödyt turvallisuuden, kustannustehokkuuden ja oppimiskokemuksen parantamisessa ovat kiistattomat. Tekniikan jatkuva kehitys ja saumaton integrointi osaksi koulutusohjelmia tulevat olemaan avainasemassa, kun ihmiskunta valmistautuu seuraaviin

suuriin askeleisiin avaruuden tutkimisessa aina pysyvän läsnäolon luomisesta Kuuhun ja tuleviin Mars-missioihin asti.

## Lähteet

- Ali, M., Ahmed, A., Ali, S., Abdelhafez, H., Zakaria, A., Mohamed, O., Attia, M., & Hassan, S. (2024). *Real-ESRGAN and SWIN-U-NET Applications in Enhancing NASA Imagery for VR Solar System Models*. In 2024 6th International Conference on Computing and Informatics (ICCI). IEEE.  
<https://doi.org/10.1109/ICCI61671.2024.10485079>
- Bessone, L., Sauro, F., & Stevenin, H. (2015). Training safe and effective spaceflight operations using terrestrial analogues. In T. Sgobba & I. Rongier (Eds.), *Space safety is no accident* (pp. 313–318). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-15982-9\\_37](https://doi.org/10.1007/978-3-319-15982-9_37)
- Bingham, L. K., Garcia, A. D., Kincaid, J. A., Weno, B. M., Foreman, C. D., & Bell, B. N. (2024, March 2–9). Immersive technologies for human-in-the-loop lunar surface simulations. *Paper presented at the 2024 IEEE Aerospace Conference*. IEEE.  
<https://doi.org/10.1109/AERO58975.2024.10521209>
- Brazda, T. (2024, July 19). *Through astronaut eyes: Virtual reality propels Gateway forward*. NASA. Haettu 7. heinäkuuta 2025, osoitteesta <https://www.nasa.gov/general/through-astronaut-eyes-virtual-reality-propels-gateway-forward/>
- Carpenter, M. D., Jackson, K. F., Cohanin, B. E., Duda, K. R., Dopart, C. H., & Rize, J. P. (2015). Operator evaluation of a mobility-augmenting jetpack with integrated control-moment gyroscopes. *2015 IEEE Aerospace Conference, 1-10*.  
<https://doi.org/10.1109/AERO.2015.7118916>
- Cecil, J., Gupta, A., & Krishnamurthy, R. (2019). Exploring immersive simulation based design frameworks in support of the Moon mission. In *2019 IEEE International Systems Conference (SysCon)* (pp. 1-5). IEEE.  
<https://doi.org/10.1109/SYSCON.2019.8836844>
- DeVito, N., & Ngalamou, L. (2021). VR Implementation in User-Interactive Simulation Environments. In *2021 IEEE 7th International Conference on Virtual Reality (ICVR)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICVR51878.2021.9483817>
- Garcia, A. D., Schlueter, J., & Paddock, E. (2020, January). Training astronauts using hardware-in-the-loop simulations and virtual reality (AIAA 2020-0167). Paper presented at AIAA SciTech 2020 Forum, Session: Augmented and Virtual Reality Technologies I - Human Factors and Training (Invited).  
<https://doi.org/10.2514/6.2020-0167>

- Garg, V., Singh, V., & Soni, L. (2024). Preparing for Space: How Virtual Reality is Revolutionizing Astronaut Training. In *2024 IEEE International Conference for Women in Innovation, Technology & Entrepreneurship (ICWITE)*. IEEE.  
<https://doi.org/10.1109/ICWITE59797.2024.10503238>
- Hancock, D. (1993). Previewing the Hubble fix. *IEEE Spectrum*, 30(10), 34–39.  
<https://doi.org/10.1109/6.237584>
- HTC VIVE. (2021). *VIVE Specs & User Guide*. Haettu 15. maaliskuuta 2026, osoitteesta  
<https://developer.vive.com/resources/hardware-guides/vive-specs-user-guide/>
- Hwang, C., Feuchtner, T., Oakley, I., & Grønæk, K. (2024). Enriching industrial training experience in virtual reality with pseudo-haptics and vibrotactile stimulation. In *Proceedings of the 30th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST '24)*. ACM.
- Kosmo, J., Janoiko, B., Eppler, D. B., & Ross, A. (2007). Out of the lab and into the field: A history of Desert RATS advanced EVA and surface mobility field testing [Abstract #1824]. *38<sup>th</sup> Lunar and Planetary Science. Lunar and Planetary Institute*.  
<https://www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2007/pdf/1824.pdf>
- Kuhail M. A., Al-Jabali, K., Bashabsheh, B., Al-Ghatrif, F., Al-Asmi, H., & Al-Tibi, M. S. (2025). Virtual reality in space exploration: A systematic review. *International Journal of Space Science and Engineering*, 4, Article 100006.  
<https://doi.org/10.1016/j.sise.2025.100006>
- LaValle, S. M. (2023). *Virtual reality*. Cambridge University Press.  
<http://lavalle.pl/vr/>
- Liu, X., Liu, Y., Zhu, X., An, M., & Hu, F. (2016). Virtual reality based navigation training for astronaut moving in a simulated space station. In S. Lackey & R. Shumaker (Eds.), *Virtual, augmented and mixed reality: Systems and applications. 8th International Conference, VAMR 2016, held as part of HCI International 2016, Montreal, QC, Canada, July 17–22, 2016*. Proceedings (Lecture Notes in Computer Science, Vol. 9740, pp. 416–423). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-39907-2\\_40](https://doi.org/10.1007/978-3-319-39907-2_40)
- Minotti, K., Loup, G., Harquin, T., & Otmane, S. (2024, October 9–11). Exploring Immersive Debriefing in Virtual Reality Training: A Comparative Study. *Proceedings of VRST '24*, Trier, Germany.
- NASA. (2022, October 28). *Chang'e 7*. Haettu 20. huhtikuuta 2025, osoitteesta  
<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=CHANG-E-7>

- NASA. (2023, July 18.). *Virtual Reality Lab & DOUG*. Haettu 26. huhtikuuta 2025, osoitteesta <https://www.nasa.gov/virtual-reality-lab-doug/>
- NASA. (2023, July 26). *NEEMO*. Haettu 28. huhtikuuta 2025, osoitteesta <https://www.nasa.gov/missions/analog-field-testing/neemo/about-neemo-nasa-extreme-environment-mission-operations/>
- NASA. (2024, March 12). *NASA awards contract for Neutral Buoyancy Laboratory operations*. NASA. <https://www.nasa.gov/news-release/nasa-awards-contract-for-neutral-buoyancy-laboratory-operations/>
- NASA. (2024, May 13). *Neutral Buoyancy Laboratory*. Haettu 27. huhtikuuta 2025, osoitteesta <https://www.nasa.gov/johnson/neutral-buoyancy-laboratory>
- NASA. (2024, October 3). *5 hazards of human spaceflight*. Haettu 15. kesäkuuta 2025, osoitteesta <https://www.nasa.gov/hrp/5-hazards-of-human-spaceflight/>
- NASA. (2025, June 06). *JSC EVA Systems*. Haettu 15. kesäkuuta, 2025, osoitteesta <https://www.nasa.gov/reference/jsc-eva-systems/>
- NASA. (2025, June 10). *Why do we use analogs?* Haettu 20. kesäkuuta 2025, osoitteesta <https://www.nasa.gov/hrp/analog/why-do-we-use-analogs/>
- NASA. (2025, March 14). *Artemis*. Haettu 27. huhtikuuta 2025, osoitteesta <https://www.nasa.gov/humans-in-space/artemis/#missions>
- Pei, Z., Liu, J., Wang, Q., Kang, Y., Zou, Y., Zhang, H., Zhang, Y., He, H., Wang, Q., Yang, R., Wang, W., & Ma, J. (2020). Overview of lunar exploration and International Lunar Research Station. *Science China Technological Sciences*, 63(12), 2319-2330. <https://doi.org/10.1360/TB-2020-0582>
- Saredakis, D., Szpak, A., Birkhead, B., Keage, H. A. D., Rizzo, A., & Loetscher, T. (2020). Factors associated with virtual reality sickness in head-mounted displays: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14, Article 96. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00096>
- Space Center Houston. (2024, August 16). *How NASA Uses Virtual Reality to Train Astronauts*. Haettu 27. huhtikuuta 2025, osoitteesta <https://spacecenter.org/how-nasa-uses-virtual-reality-to-train-astronauts/>
- Statista. (2025). *Virtual reality (VR) - Statistics & facts*. Haettu 20. huhtikuuta 2025, osoitteesta <https://www.statista.com/topics/2532/virtual-reality-vr/>
- Steuer, J. (1992). Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence. *Journal of Communication*, 42(4), 73–93. <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.1992.tb00812.x>

- TPCAST. (2017). *TPCAST wireless adapter for VR*. Haettu 15. maaliskuuta 2026, osoitteesta <https://www.tpcastvr.com/>
- Valve Corporation. (2019). *Valve Index VR system*. Haettu 15. maaliskuuta 2026, osoitteesta <https://store.steampowered.com/valveindex>
- Varjo. (2019). *Varjo VR-2 Pro*. Haettu 15. maaliskuuta 2026, osoitteesta <https://varjo.com/products/vr-2-pro/>
- Virtual Reality Society. (2017). *History of virtual reality*. Haettu 25. huhtikuuta 2025, osoitteesta <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/history.html>
- Wang, C., Jia, Y., Xue, C., Lin, Y., Liu, J., Fu, X., Xu, L., Huang, Y., Zhao, Y., Xu, Y., Gao, R., Wei, Y., Tang, Y., & Yu, D., & Zou, Y. (2024). Scientific objectives and payload configuration of the Chang'E-7 mission. *National Science Review*, 11(2). <https://doi.org/10.1093/nsr/nwad329>

## Kuvien lähteet

- Kuva 1.** *Virtuaalitodellisuus irrottaa käyttäjän kehostaan keinotekoiseen ympäristöön, kun taas lisätty todellisuus rikastaa todellista maailmaa digitaalisella sisällöllä.*  
Mukautettu lähteestä: Benford ym., (1998)
- Kuva 2.** Zimmerman, E. A. (Lt), Royal Navy official photographer. (1943). *Link trainer in use at a British Fleet Air Arm station in 1943* [Valokuva]. Imperial War Museums. © Crown copyright reproduced under delegated authority from The Keeper of Public Records. Saatavilla: <https://www.iwm.org.uk/collections/item/object/205186669> [Viitattu 6.7.2025]
- Kuva 3.** Heilig, M. (1957). *Telesphere Mask*. [Valokuva]. Saatavilla: <https://www.techradar.com/news/wearables/forgotten-genius-the-man-who-made-a-working-vr-machine-in-1957-1318253/2> [Viitattu 6.7.2025].
- Kuva 4.** Pesce, M. (2015). *HTC Vive (17)*. [Valokuva]. Wikimedia Commons. Saatavilla: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HTC\\_Vive\\_%2817%29.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HTC_Vive_%2817%29.jpg) [Viitattu 6.7.2025].
- Kuva 5.** Stafford, B. (2023). *Neutral Buoyancy Laboratory*. [Valokuva]. NASA. Saatavilla: <https://www.nasa.gov/johnson/neutral-buoyancy-laboratory/> [Viitattu 6.7.2025].
- Kuva 6.** Stevenin, H. (2019). *LESA device in operation during NEEMO 23*. [Valokuva]. ESA/NASA. Saatavilla: [https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2019/06/LESA\\_device\\_in\\_operation\\_during\\_NEEMO\\_23](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2019/06/LESA_device_in_operation_during_NEEMO_23) [Viitattu 6.7. 2025]
- Kuva 7.** Crobu, V. (2016). *CAVES 2016*. [Valokuva]. ESA. Saatavilla: [https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Human\\_and\\_Robotic\\_Exploration/CAVES\\_and\\_Pangaea/What\\_is\\_CAVES](https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/CAVES_and_Pangaea/What_is_CAVES) [Viitattu 6.7.2025].
- Kuva 8.** NASA. (2023). *Lunar Electric Rover (LER) Desert Testing in Flagstaff, Arizona*. [Valokuva]. NASA. Saatavilla: <https://www.nasa.gov/gallery/desert-rats/> [Viitattu 6.7.2025].