

# Modernia turvallisuusoppimista rakennusalalle (MoSaC)

TUTKIMUSHANKKEEN LOPPURAPORTTI



Maria Tiikkaja  
Vuokko Puro  
Tarja Heikkilä  
Henriikka Kannisto  
Eero Lantto  
Kristian Lukander  
Mikko Nykänen  
Tuula Räsänen  
Frans Simpura  
Jose Uusitalo

# Työterveyslaitos

## **Modernia turvallisuusoppimista rakennusalalle (MoSaC)**

TUTKIMUSHANKKEEN LOPPURAPORTTI

Maria Tiikkaja, Vuokko Puro, Tarja Heikkilä, Henriikka Kannisto, Eero Lantto,  
Kristian Lukander, Mikko Nykänen, Tuula Räsänen, Frans Simpura ja  
Jose Uusitalo

Työterveyslaitos

Helsinki



Työsuojelurahasto  
Arbetskyddsfonden  
The Finnish Work Environment Fund

Työterveyslaitos

PL 40

00251 Helsinki

[www.ttl.fi](http://www.ttl.fi)

Valokuvat: Jose Uusitalo

© 2020 Työterveyslaitos ja kirjoittajat

Tutkimus on toteutettu Työsuojelurahaston tuella.

Tämän teoksen osittainenkin kopiointi on tekijänoikeuslain (404/61, siihen myöhemmin tehtyine muutoksineen) mukaisesti kielletty ilman asianmukaista lupaa.

ISBN 978-952-261-929-7 (nid.)

ISBN 978-952-261-930-3 (PDF)

PunaMusta Oy, Tampere, 2020

## TIIVISTELMÄ

Teknologian nopea kehitys ja moderni turvallisuusajattelu ovat tuoneet mukanaan uusia mahdollisuuksia myös työturvallisuuskoulutukseen. Virtuaalitodellisuuden (VR) käyttö tekee tuloaan turvallisuuskoulutuksiin, ja ymmärrys inhimillisten tekijöiden hallinnan merkityksestä työturvallisuudessa ja sen kouluttamisessa kasvaa. Tässä tutkimuksessa kehitettiin ja tutkittiin VR-oppimisympäristön ja inhimillisten tekijöiden kouluttamisen (HF-koulutus) vaikutuksia työturvallisuusosaamiseen ja -ajatteluun.

Tämä satunnaistettu ja kontrolloitu interventiotutkimus toteutettiin vuosina 2018–2020 kahdeksassa suomalaisessa rakennusalan organisaatiossa ja siihen osallistui 120 rakennustyöntekijää. Tutkimuksen tavoitteena oli 1) selvittää VR-ympäristössä toteutetun työturvallisuuskoulutuksen vaikutuksia verrattuna perinteisempään luentokoulutukseen, 2) tutkia HF-koulutuksen vaikutuksia sekä 3) arvioida koulutusinterventioiden toteutumista ja tuottaa tietoa VR-oppimisympäristöjen hyödyistä ja käyttömahdollisuuksista.

Tutkimuksessa toteutettiin kaksi uudenlaista turvallisuuskoulutusta: työturvallisuuskoulutus VR-ympäristössä ja HF-koulutus ihmisen toiminnan taustalla vaikuttavista tekijöistä. Puolet tutkittavista osallistui VR-koulutukseen ja puolet vastaavan sisältöiseen luentokoulutukseen. Lisäksi sekä VR- että luentokoulutuksiin osallistuneista puolet osallistuivat HF-koulutukseen. Tutkimusaineisto muodostui tutkimuskyselyistä, VR-alustan harjoituksen kulusta keräämästä datasta, koulutustilanteiden havainnoinnista ja puhelinhaastattelusta. Tutkimusaineisto analysoitiin sekä tilastollisin että laadullisin menetelmin.

Tulosten mukaan VR-koulutuksella pystyttiin vahvistamaan tutkittavien valmiuksia työtilanteen turvallisuuden ennakointiin ja työturvallisuuteen vaikuttavien asioiden tunnistamiseen. Lisäksi koulutus vahvisti motivaatiota työturvallisuuden edistämiseen ja lisäsi tutkittavien turvallisuustietoutta. VR-koulutukseen osallistuminen lisäsi tutkittavien aloitteellisuutta ja aktiivisuutta työturvallisuuden edistämiseen. Luentokoulutukseen verrattuna VR-koulutus vahvisti myös enemmän tutkittavien kokemusta siitä, miten hyödyllisiä työntekijätason turvallisuustoimenpiteet ovat. Koulutuskokemukset olivat pääsääntöisesti positiivisia ja verrattuna luentokoulutukseen VR-koulutus koettiin mm. innostavammaksi. Tutkimuksessa ei valituilla menetelmillä nähty HF-koulutuksella olevan tilastollisesti merkitsevää vaikutusta verrattuna vertailuryhmään, mutta HF-koulutukseen osallistuneet arvioivat koulutusta kuitenkin pääsääntöisesti positiivisesti kertoen sen lisänneen ymmärrystä esimerkiksi tapaturmien taustalla vaikuttaneista tekijöistä.

Tässä hankkeessa kehitetty VR-oppimisalusta osoittautui toimivaksi työturvallisuuden aktivoivaan harjoitteluun, ja sitä hyödyntävä VR-oppiminen on lupaava menetelmä perinteisten turvallisuuskoulutusten rinnalle. Työterveyslaitos tarjoaa kaikille yrityksille hankkeen pohjalta kehitettyjä sisältöjä sekä uusia, erilaisia työturvallisuustarpeita vastaavia VR-

sisältöjä kehittämänsä Virtuario™-oppimisalustan kautta. Toteutetut harjoitussisällöt ovat saatavilla palveluna, johon kuuluu kaikki nykyiset ja tulevat VR-sisällöt vapaasti käytettäviksi. Yritysten kanssa voidaan toteuttaa lisää harjoitussisältöjä sovitun mukaisesti.

HF-koulutuksen osalta tämän hankkeen tulokset, kuten aiemmatkin tutkimukset, viittaavat siihen, että positiivisten vaikutusten saamiseksi tarvitaan kokonaisvaltaisempaa eri organisaatiotasolle kohdennettua lähestymistapaa.

## ABSTRACT

The rapid development of technology and modern safety thinking have also given rise to new opportunities for occupational safety training. The use of virtual reality (VR) is making its entry into safety training, and the understanding of the importance of human factor management in occupational safety and its training is growing. This study developed and investigated the effects of the VR learning environment and human factors training (HF training) on occupational safety skills and thinking.

This randomized and controlled intervention study was conducted in 2018–2020 in eight Finnish construction organizations and had 120 construction workers as participants. The aim of the study was 1) to determine the effects of safety training carried out in the VR environment compared to more traditional lecture-based training, 2) to study the effects of HF training, and 3) to evaluate the implementation of the training interventions and provide information on the benefits and possibilities of VR learning environments.

Two new types of safety training were implemented in the study: occupational safety training in a VR environment and HF training on the factors that influence human actions. Half of the participants completed the VR training and half attended lectures with a similar content. In addition, half of those who participated in the VR training and half of those who participated in the lecture-based training participated also in the HF training. The research data consisted of research questionnaires, data collected on the progress of the VR training, observation of training situations and phone interviews. The research data were analysed using both statistical and qualitative methods.

According to the results, the VR training strengthened the participants' abilities to anticipate the safety of work situations and to identify issues affecting occupational safety. In addition, the training strengthened motivation to promote occupational safety and increased the participants' safety knowledge. Participation in the VR training increased the initiative and activeness of participants to promote safety at work. Compared to the lecture-based training, the VR training also more strongly reinforced the participants' experience of how useful employee-level safety measures are. The experiences of the training were generally positive and compared to the lecture-based training, VR training was considered more inspiring. The study's selected methods showed no statistically significant effect of the HF training compared to the control group, but participants of the HF training generally assessed the training as positive, claiming that it increased their understanding of the factors behind accidents, for example.

The VR learning platform developed in this project proved to be effective for activating occupational safety practices, and the VR training that utilizes it is a promising method to supplement traditional safety training. The Finnish Institute of Occupational Health has

made the training content which was created based on this research project available through its Virtuario™ training platform. Virtuario™ training library grows continuously with content designed for different occupational safety needs. The subscription includes the current and all the upcoming content of the program.

As regards HF training, the results of this project, as those of previous studies, suggest that a more holistic approach targeted at different organisational levels is needed in order to achieve positive impacts.

## ALKUSANAT JA KIITOKSET

Modernia turvallisuusoppimista rakennusalalle (MoSaC) -tutkimushanke käynnistyi tarpeesta saada tutkittua tietoa uudenlaisten koulutusmenetelmien käytöstä työturvallisuuskoulutuksessa. Teknologian kehittyessä muun muassa virtuaaliodellisuuden (VR) käyttö tekee tuloaan turvallisuuskoulutuksiin, mutta toistaiseksi on vain vähän tutkimusnäyttöä sen vaikutuksista työturvallisuusoppimiseen. Myös tietoutta ihmisen toimintaan vaikuttavista tekijöistä koetaan tärkeäksi saada mukaan työturvallisuuskoulutukseen. Tässä tutkimuksessa tutkittiin VR-oppimisympäristön ja inhimillisten tekijöiden työkalun vaikutuksia työturvallisuusosaamiseen ja työturvallisuusajatteluun. Tutkimushanke toteutettiin vuosina 2018–2020 Työterveyslaitoksella Työsuojelurahaston tuella. Haluamme kiittää Työsuojelurahastoa tutkimuksen mahdollistamisesta ja hyvästä yhteistyöstä.

Tutkimus suuntautui rakennusalalle ja siihen osallistui rakentamisen eri alueilta kahdeksan organisaatiota, jotka myös osaltaan rahoittivat hanketta. Haluamme kiittää tutkimuksessa mukana olleita organisaatiota: Fira Oy, Lujabetoni Oy, NCC Suomi Oy, Parma Oy, SRV Rakennus Oy, Helsingin kaupungin rakentamispalveluliikelaitos, STARA (Rakennustekniikka), Voimatel Oy ja YIT Suomi Oy sekä niiden yhteyshenkilöitä. Erityisesti kiitämme näiden organisaatioiden työntekijöitä, jotka osallistuivat tutkittavina hankkeeseen.

Tutkimushankkeella oli ohjausryhmä, johon kuului rahoittajien ja osallistujaorganisaatioiden lisäksi edustajat Rakennusteollisuus Ry:stä, Rakennusliitosta, Rudus Turvapuistosta ja Työturvallisuuskeskuksesta. Kiitämme ohjausryhmän jäseniä hyvästä keskustelusta, tuesta ja kiinnostuksesta tutkimustamme kohtaan. Ohjausryhmän lisäksi Etelä-Suomen aluehallintoviraston työsuojelun vastualueen ylitarkastaja Keijo Päivärinta ja Tapaturva Oy:n toimitusjohtaja Juha Merjama antoivat rakennusalan työturvallisuuden asiantuntemustaan hankkeelle. Lämmin kiitos asiantuntemuksestanne!

Kiitos myös johtaja Tommi Alangolle ja johtava tutkija Anna-Maria Teperille taustatuesta, verkostoista ja tieteellisestä ohjauksesta, jotka ovat olleet tärkeä pohja tätä tutkimusta suunniteltaessa ja toteutettaessa. Kiitokset erityisasiantuntija Elina Östringille luentokoulutusten ja laboratorioteknikko Pasi Polvelle 3D-mallien toteutuksesta. Tilastotieteellisestä avusta haluamme kiittää erityisasiantuntija Pauliina Toiviota ja Maria Hirvosta, tutkimushankkeen talousasioissa auttanutta koordinaattori Reija Rahusta ja englanninkielisten tekstien kielenhuollosta ja käännöksistä Alice Lehtistä.

Helsingissä 17.5.2020

MoSaC-tutkijaryhmä



## RAPORTISSA KÄYTETYT TERMIT

CAVE:	Cave Automatic Virtual Environment (engl.), Cave automaattinen virtuaalinen ympäristö. Huone, jonka seinille projisoidaan 3D-näkymä käyttäjän näkökulmasta.
ePerehdytys:	Verkkokoulutus yleisten työturvallisuusasioiden perehdytykseen rakennusalalla.
HF Tool™ -työkalu:	Ihmisen toimintaan vaikuttavien tekijöiden tunnistamiseen suunnattu työkalu, joka koostuu yksilö-, työ-, tiimi-, organisaatio- ja verkostotason tekijöistä (Teperi ym., 2015; Teperi, 2012).
HF:	Human factors (engl.), inhimilliset tekijät.
Immersio:	Läsnäolon tunne, havaittu ympäristön yhdenmukaisuus ja uskottavuus.
MoSaC:	Modern Safety Learning for Construction Industry (engl.), Modernia turvallisuusoppimista rakennusalalle. Tämän tutkimushankkeen englanninkielisen nimen lyhenne.
TR-mittari®:	Talonrakennusalan työturvallisuuden arviointimenetelmä.
Virtuario™:	Työterveyslaitoksen kehittämä VR-oppimisympäristö. <a href="http://www.ttl.fi/virtuario">www.ttl.fi/virtuario</a>
VR:	Virtual reality (engl.), virtuaalitodellisuus.

## SISÄLLYS

<b>1</b>	<b>Johdanto</b> .....	<b>11</b>
1.1	Työturvallisuus rakennusalalla .....	13
1.2	Työturvallisuusoppiminen ja koulutus.....	15
1.3	Virtuaalinen työturvallisuuskoulutus .....	16
1.4	Inhimilliset tekijät ja turvallisuusosaaminen.....	18
<b>2</b>	<b>Tutkimuksen tavoitteet</b> .....	<b>19</b>
2.1	Tavoitteet ja tutkimushypoteesit .....	19
2.2	Työturvallisuusoppimisen mittaaminen.....	20
<b>3</b>	<b>Tutkimuksen toteutus, aineisto ja menetelmät</b> .....	<b>21</b>
3.1	Tutkimusasetelma ja tutkimuksen vaiheet.....	21
3.2	Tutkimusaineisto ja -menetelmät.....	23
3.2.1	Tutkittavien rekrytointi ja satunnaistaminen .....	23
3.2.2	Luento- ja VR-koulutusten toteuttaminen.....	24
3.2.3	HF-koulutuksen toteuttaminen.....	25
3.2.4	Tutkimuskyselyt (T1, T2, T3) koulutuksiin osallistuneille.....	26
3.2.5	Puhelinhaastattelut.....	27
3.2.6	Arviointityöpajat osallistajaorganisaatioissa.....	27
3.2.7	VR-tekniikan hyödyntäminen työturvallisuuskoulutuksessa .....	28
3.2.8	Tilastoanalyysit .....	30
<b>4</b>	<b>Tulokset</b> .....	<b>33</b>
4.1	VR- ja luentokoulutuskokemukset ja vaikutukset työturvallisuuskyvykkyyteen... 33	
4.2	HF-koulutuskokemukset ja vaikutukset työturvallisuuskyvykkyyteen .....	38
<b>5</b>	<b>Tulosten tarkastelu</b> .....	<b>40</b>
5.1	VR-koulutus haastaa perinteisemmät lähestymistavat.....	40
5.2	HF-koulutuksen vaikutukset näkyivät vain haastatteluaineistossa.....	44
5.3	Tutkimuksen rajoitteet.....	44

<b>6</b>	<b>Johtopäätökset ja suositukset .....</b>	<b>46</b>
6.1	Johtopäätökset.....	46
6.2	Suositukset ja jatkotutkimustarpeet.....	47
<b>Lähteet .....</b>		<b>49</b>
<b>Liite 1. Tulosuuttujen keskiarvot ja keskihajonnat.....</b>		<b>55</b>
<b>Liite 2. Interventioiden vaikutukset tulosuuttuihin lyhyellä aikavälillä.....</b>		<b>57</b>
<b>Liite 3. Interventioiden vaikutukset tulosuuttuihin pitkällä aikavälillä .....</b>		<b>58</b>

# 1 JOHDANTO

Teknologian nopea kehitys tuo mukanaan uusia mahdollisuuksia myös työelämän eri osa-alueille, kuten työturvallisuuskoulutukseen. Työterveyslaitoksella heräsi huoli tieteellisen tutkimuksen vähäisyydestä uusien teknologioiden käytöstä ja tehokkuudesta työturvallisuuskoulutuksessa. Esimerkiksi rakennusalalla työturvallisuuskoulutuksen puutteet on tunnistettu yhdeksi keskeiseksi työturvallisuutta heikentäväksi tekijäksi (Bhandari ym., 2019; Perlman ym., 2014; Tam ym., 2004). Työterveyslaitoksella koettiin, että tarvitaan tutkittua tietoa uusien koulutusmuotojen vaikutuksista ennen, kun niitä otetaan laajasti käyttöön työelämässä.

Tässä tutkimushankkeessa ”Modernia turvallisuusoppimista rakennusalalle” (MoSaC, engl. Modern Safety Learning for Construction Industry) kehitettiin ja otettiin käyttöön uudenlaista työturvallisuuskoulutusta rakennusalan ammattilaisille sekä tutkittiin uusien koulutusmenetelmien vaikutuksia työturvallisuusajatteluun ja työturvallisuusosaamiseen. Uudenlainen työturvallisuuskoulutus tarkoitti tässä tutkimuksessa kahdenlaista uutta koulutusmenetelmää: virtuaalitodellisuuden (engl. virtual reality, VR) ympäristössä toteutettavaa työturvallisuuskoulutusta sekä rakennusalan työntekijöille suunniteltua koulutusta ihmisen toimintaan vaikuttavista tekijöistä. VR-harjoitusten sisältö kehitettiin yhdessä kahdeksan rakennusalan organisaation kanssa kahdesta eri teemasta. VR-harjoituksissa koehenkilöt harjoittelivat interaktiivisesti virtuaaliympäristössä simuloituja työturvallisuustilanteita vuorovaikutuksessa oppimisympäristön kanssa ja saivat välitöntä palautetta toiminnastaan.

VR:n käyttö lisääntyy työturvallisuuden edistämisessä (Cakiroglu ja Gökoglu, 2019; Nickel, 2016), mutta tutkimusnäyttöä sen vaikutuksista työturvallisuusoppimisessa on vielä melko vähän. Tutkimuksissa on saatu alustavaa näyttöä, että VR:n avulla voidaan vahvistaa työturvallisuusosaamista ja kykyä tunnistaa vaaroja (Zhipeng ym., 2019; Lu ja Davis, 2016; Sacks ym., 2013; Tichon ja Burgess-Limerick, 2011). Parhaimmillaan virtuaalisten oppimisympäristöjen käyttö saattaa tarjota aiempaa huomattavasti vaikuttavampia ja kustannustehokkaampia keinoja turvallisuuskouluttamiseen, kun koulutukseen saadaan tuotua mukaan kokemuksellisuus, ja koulutus voidaan toteuttaa paikkariippumattomasti ilman erillistä kouluttajaa. VR:n mahdollistamassa työturvallisuuskoulutuksessa korostuu aktiivinen oppimisen prosessi, osallisuus sekä vuorovaikutteisuus ja muun muassa turvallisuuskriittisten ja vaarallisten tilanteiden harjoittelu voidaan toteuttaa turvallisesti (Grabowski ja Jankowski, 2015; Tichon ja Burgess-Limerick, 2011; Lucas ja Thabet, 2008).

Kuva 1 havainnollistaa VR-ympäristöä työturvallisuuskoulutusmahdollisuutena.



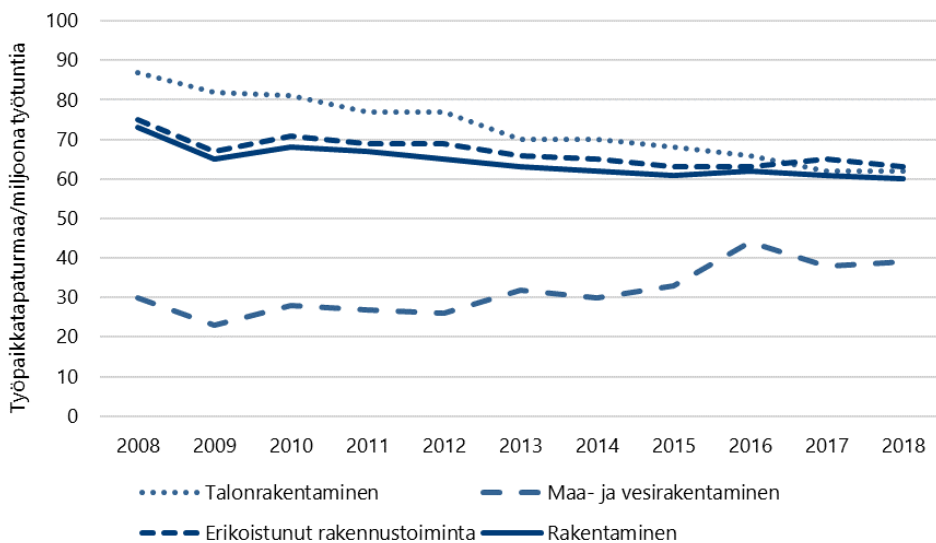
Kuva 1. Esimerkki VR-ympäristöstä työturvallisuuskoulutuskäytössä.

Nykykaikaisen turvallisuusajattelun mukaan inhimillisten tekijöiden (HF, engl. human factors) hallinta on keskeinen osa työturvallisuutta. Turvallisuustutkimus korostaa ihmisen toiminnan vaihtelua epävarmoissa ja muuttuvissa tilanteissa. Tämä johtaa tarpeeseen oppia ymmärtämään ihmisten toimintaan vaikuttavia yksilö-, työ-, ryhmä-, organisaatio- ja verkostotason tekijöitä. Samalla tulee vahvistaa ja tukea hyviä ratkaisuja ja toimintoja (Hollnagel, 2013; Hollnagel ym., 2012). Työpaikoilla tarvitaan välineitä inhimillisten tekijöiden tunnistamiseen osana työturvallisuutta (Hollnagel ym., 2006; Hollnagel, 2009a; Hollnagel, 2009b; Teperi, ym., 2015; Teperi, 2012). Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tuottaa tietoa inhimillisten tekijöiden HF Tool™ -työkaluun (Teperi ym., 2015; Teperi, 2012) liittyvän koulutuksen vaikutuksista työturvallisuusosaamisen vahvistamisessa.

Tämän tutkimuksen avulla tuotettiin uutta tietoa virtuaalisten oppimisympäristöjen käytömahdollisuuksista ja vaikutuksista työturvallisuusosaamiseen. Lisäksi hankkeessa muokattiin turvallisuuskriittisillä aloilla hyväksi havaittua HF Tool™ -työkalua perinteisille toimialoille soveltuvampaan muotoon. Sen avulla pyritään vahvistamaan työturvallisuusoppimista ja -ymmärrystä modernin turvallisuusajattelun mukaisesti. Rakennusala valikoitui tämän tutkimuksen tutkimuskohteeksi yhtenä tapaturma-altteimmista toimialoista (Eurostat, 2020; Tapaturmavakuutuskeskus, 2017), mutta hankkeen tuloksia voidaan hyödyntää muillakin toimialoilla turvallisuusoppimisen ja -koulutuksen uudistamisessa.

## 1.1 Työturvallisuus rakennusalalla

Rakennusala on perinteisesti ollut vaarallinen toimiala työtaturmilla mitattuna. Työturvallisuuden kehittämiseen ja työtaturmien torjuntaan on alalla kuitenkin laajasti panostettu 2000-luvulla ja tämä työ näkyy tilastoissa hyvänä tuloksena tapaturmataajuudessa (Kuva 2). Rakentamisen päätoimialalla (kaikki rakennustoimialat yhteensä) tapaturmataajuus (työpaikkatapaturmat miljoonaa työtuntia kohden) alkoi laskea vuodesta 2006. Vuonna 2018 rakentamisen päätoimialan tapaturmataajuus edelleen laski (-1,1 %), vaikka työpaikkatapaturmien lukumäärä kasvoi (4,7 %). Selittävänä tekijänä on työtuntien määrän iso kasvu (6,5 %). Vuonna 2018 hyvä tilastollinen kehitys jatkui ja rakentamisen päätoimialan tapaturmataajuus oli 59,8. Myös rakennusalan yrittäjien tapaturmien määrä laski (2,5 %.) Useimmiten rakennustyössä loukkaantuu työtaturmissa nuorempi, alle 30-vuotias työntekijä, joille tapahtui 45 % työpaikkatapaturmista. Vuokratyöntekijöiden yleistyminen lisää nuorten työntekijöiden osuutta. (Tapaturmavakuutuskeskus, 2019)



Kuva 2. Rakentamisen työpaikkatapaturmataajuuksia 2007-2018 (Tapaturmavakuutuskeskus, 2020a)

Rakentamisen toimialalla työpaikkakuolemantapausten määrä on ollut laskeva pitkällä aikavälillä, mutta edelleen vuositasolla on vaihtelua. Vuonna 2019 Tapaturmavakuutuskeskuksen tietoon tuli 14 työpaikkakuolemantapausta, joista viisi tapahtui rakennustyömailla. (Tapaturmavakuutuskeskus, 2020b)

Rakennusalan myönteiseen työtaturmatilanteen kehitykseen ovat vaikuttaneet monet erilaiset tekijät. Sekä rakentamisen prosessit, koneet ja laitteet, apuvälineet että henkilön suojaus ovat muuttuneet vuosikymmenien aikana turvallisempaan suuntaan.

Suojavarusteet ovat parantuneet, henkilönsuojainten käyttö, perehdytys ja työnopastus ovat kehittyneet. Vaaratekijöiden tunnistaminen ja riskien arviointi ovat jokapäiväistä toimintaa. Taustalla vaikuttavat vahvasti myös lainsäädännön muutokset (Valtioneuvoston asetus 205/2009).

Myös erilaiset työmaakohtaiset havainnointimenetelmät, kuten TR-mittari® (talonrakennusalan työturvallisuuden arviointimenetelmä) ja MVR-mittari (maa- ja vesirakennustyömaan työturvallisuuden arviointimenetelmä), ovat omalta osaltaan olleet parantamassa työmaiden työturvallisuutta (Laitinen ym., 1999). Moni rakennusalan yritys on saanut motivaatiota toimintansa kehittämiseen työturvallisuuskilpailuista. Lisäksi työn tilaajat ovat voineet asettaa omat vaatimuksensa työn saattamisesta valmiiksi ilman tapaturmia. Suomessa toimivat kolme turvapuistoa ovat myös luoneet oppimisympäristön työturvallisuudelle (Räsänen ym., 2017).

Nolla tapaturmaa -ajattelutavan mukaisesti työ pitää pystyä tekemään ilman tapaturmia. Tämän tavoitteen saavuttaminen rakennusalalla vaatii keskittymistä toimintaperiaatteiden, strategian ja käytännön toimintatapojen jatkuvaan parantamiseen. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että työturvallisuus luodaan työmaille ja työkohteisiin uudelleen joka päivä. Toimivilla turvallisuuskäytännöillä luodaan pohja tavoitteelliselle, päivittäiselle turvallisuustyölle. Turvallisuusajattelussa etusijalla tulisi olla ne tekijät, jotka ylläpitävät turvallisuutta työkohteissa. Toimivien turvallisuuskäytäntöjen lisäksi tällaisia tekijöitä ovat mm. ihmisten kyky ennakoita erilaisia asioita, palautua ja oppia työstä. Erilaisten tapausten taustalta löytyy useita vaikuttavia tekijöitä. Kysymys kuuluukin, miten autamme ihmisiä oppimaan ja onnistumaan työssään.

Jatkuvasti muuttuvien tilanteiden hallinta on olennainen turvallisuustekijä rakennusalan töissä. Oman haasteensa tälle työlle asettaa myös se, että työn tekeminen on ketjuuntuunut eri urakoitsijoiden kesken. Rakennustyömaat ovat monesti monikielisiä ja niiltä löytyy erilaisia turvallisuuskulttuureja. Tässä yhteydessä nousee esiin kysymyksiä vastuista, rooleista ja turvallisuusvaatimuksista sekä projektien suunnittelusta; onko ne tehty yhteistyössä urakoitsijoiden kanssa. Tärkeäksi kysymykseksi nousee myös viestintä urakoitsijoiden välillä. Yhteisen kokonaiskuvan ja ymmärryksen luominen tilanteesta on selkeä työturvallisuustekijä.

Yksi tulevaisuudessa myös työturvallisuuden kehittämiseen rakennusalalla apua tuova toimintatapa on tietomallien ja 3D/4D-esitystapojen yleistyminen. Tietomallinnusta voidaan käyttää apuna työturvallisuuden suunnittelussa, vaarojen tunnistuksessa, perehdyttämisessä sekä monitasoisessa turvallisuusviestinnässä (Kiviniemi ym., 2011; Sulankivi ym., 2009). Oman mielenkiintoisen näkökulman työturvallisuuden uusiin toimintatapoihin tuovat VR/AR-teknologia eli virtuaalisen ja lisätyn todellisuuden (AR, engl. augmented reality) mahdollisuudet.

## 1.2 Työturvallisuusoppiminen ja koulutus

Työturvallisuuskoulutusten toteutusmuotoja on useita. On mahdollista toteuttaa lähiopetusta erilaisille ryhmille, etä- ja verkkokoulutusta. Uusimpana tulokkaana on virtuaalikoulutus. Koulutuksen toteutusmuodon valinnassa olisi otettava huomioon toteutettavuuden lisäksi osallistujien yksilölliset edellytykset (mm. kielikysymykset, kulttuurista ja oppimistavat).

Oleellinen tavoite työturvallisuuskoulutuksilla on saavuttaa vaikuttavuutta, jolloin toimintatavat muuttuvat, osaaminen, motivaatio ja asenne työturvallisuuteen paranevat, minkä seurauksena myös työturvallisuus paranee. Koulutuksen onnistumiseen vaikuttavat niin sisältö, tilanne, osallistaminen, tekniset ratkaisut kuin koulutuksen toteuttajan osaaminen ja työtapa. Työturvallisuusasioissa on tarpeellista aika ajoin toistaa asioita, toteuttaa ns. hyvää kertausta. Osallistujia motivoi uusien asioiden oppiminen, mielenkiintoiset sisällöt ja toteutukset sekä omien kokemusten jakaminen ja omakohtaisuus. Erityisesti aloilla, joilla työtehtävät ovat käytännönläheisiä, kuten rakennusalalla, koetaan mielekkääksi kokemuksellisuus ja opittavien asioiden tekeminen itse.

Työturvallisuuskoulutuksia voidaan tyypitellä myös sen mukaan, kuinka mukaansatempaavia ne ovat. Tutkimusten mukaan mukaansatempaavia koulutuksia ovat sellaiset, joissa koulutettavat tekevät asioita itse ja saavat palautetta tekemisestään. On sanottu, että koulutusten vaikuttavuus kulkee pitkälti käsi kädessä niiden mukaansatempaavuuden kanssa; mitä mukaansatempaavampi koulutus on, sitä parempi tulos sillä saavutetaan (Burke ym., 2006). Tämäkään ei ole välttämättä niin yksinkertaista, sillä organisaation työturvallisuuskäytäntöjen ja -valmiuksien tasolla voi olla merkittävä vaikutus työntekijöiden työturvallisuusosaamiseen. Täten joissain tapauksissa vähemmänkin mukaansatempaava koulutus voi tuottaa hyviä tuloksia, jos koulutettavien lähtötaso on matala (Brahm ja Singer, 2013).

Työturvallisuusoppiminen työelämässä tapahtuu pääsääntöisesti erillisissä työturvallisuuskoulutuksissa, perehdytyksissä ja käytännön työtehtävissä. Työturvallisuuskoulutukset ovat hyvin usein luentomuotoisia tilaisuuksia, joissa kerrotaan asioista, keskustellaan niistä, näytetään kuvia ja videoita. Sisällöllisesti työturvallisuuskoulutusten aiheet vaihtelevat suuresti. Aiheet voivat koskea esimerkiksi turvallisuuskulttuuria, käytännön toimintatapoja, ergonomiaa, tiettyjä työtehtäviä, vastuita ja velvoitteita. Sisällöt myös vaihtelevat toimialoittain, koska eri toimialoilla on erikoistarpeita, kuten asiakasväkivalta palvelu-aloilla, hätätilanteiden harjoittelu (sortumat ja tulipalot) kaivosalalla, putoamisturvallisuus ja nostot rakennusalalla.

Rakennusalalla työmaakohtainen perehdyttäminen on edellytys sille, että pääsee aloittamaan työt kyseisellä työmaalla. Perehdytykselle on useita erilaisia aineistoja ja toteutuksia, joissa seurataan sovittua sisältöä. ePerehdytys on verkossa suoritettava rakennusalan



yhteinen yleisperehdytys, jonka tavoitteena on parantaa työturvallisuutta yrityksissä. Se on maksullinen palvelu, jonka tarjoavat Rakennusmedia ja Rakennusalan koulutuskeskus (Rateko) ja sen kehittämisessä on ollut laaja yhteistyöverkosto. Se julkaistiin syksyllä 2017 ja sen muina tavoitteina on ollut yhtenäistää alan työturvallisuuskäytäntöjä ja tehostaa toimintaa työmailla. Tämän mukaan työntekijöiden ei enää tarvitse suorittaa saman sisältöisiä yleisperehdytyksiä erikseen kaikilla työmailla, joilla he työskentelevät. Loppuun suoritettu ePerehdytys on voimassa 12 kuukautta kerrallaan. Se ei kuitenkaan korvaa työmaakohtaista perehdytystä tai työturvallisuuskorttia. Tästä verkkokoulutuksesta on tehty myös useita kieliversioita ja näin on varmistettu, että mahdollisimman moni työntekijä pystyy suorittamaan perehdytyksen omalla äidinkielellään (Rateko, 2020).

Perusteet työturvallisuusasioiden osaamiselle luodaan ammatillisella perus- ja jatkokoulutuksella. Rakennusalan ammatilliseen opetukseen ja tutkintoihin liittyy työturvallisuusoppiminen sekä nuoriso- että aikuiskoulutuksessa. Olennaisena osana tätä koulutusta on työturvallisuuden oppiminen osana ammattiaineita ja osaamisen testaaminen käytännön harjoittelussa sekä työssäoppimisessa ja osoittaminen näytöissä. Ammatti- ja tiedekorkeakouluissa sekä yliopistoissa opiskelevat tulevat työnjohtajat, suunnittelijat, projektipäälliköt ja muut rakennusalan ammatillaiset, joiden perusopintoihin työturvallisuus sisältyy tietyissä opintokokonaisuuksissa. Kokonaisuudessa alalla olisi mahdollista edelleen lisätä työturvallisuusopetusta ja monipuolistaa oppimistilanteita kaiken tasoisessa rakennusalan koulutuksessa. Parhaimmillaan koulutuksessa luodaan sekä hyvä osaamis pohja että edellytykset toimia rakennusalalla turvallisesti. Tuleville ammattilaisille syntyy ymmärrys turvallisuuden merkityksestä osana laadukasta rakentamista ja valmiudet tunnistaa rakennusalan riskitekijät ja turvallisuuden hallintakeinot sekä motivaatio turvalliseen toimintaan.

Rakennusalan työturvallisuuskoulutuksen toteutusta tutkittiin kahdessa laajassa tutkimushankkeessa vuosina 2000 ja 2006. Tutkimusajankohtaan liittyi ammatillisen koulutuksen muutos kaksivuotisesta kolmevuotiseksi. Jo noiden vuosien aikana voitiin todeta, että työturvallisuuskoulutus rakennusalan peruskoulutuksen toisella asteella oli selkeästi parantunut ja laajentunut. Toisen asteen opiskelijoista puolet näissä kummassakin tutkimuksessa oli sitä mieltä, että rakennustyöhön liittyy riskinotto. Muilla asteilla näin vastasi vajaa kolmannes opiskelijoista. Koulutusmateriaaleilta toivottiin lisää visuaalisuutta sekä monipuolisuutta ja asenteisiin vaikuttaminen koettiin tärkeäksi kehittämiskohteeksi. (Mäkelä ja Jaakkonen, 2008; Mäkelä ym., 2000)

## 1.3 Virtuaalinen työturvallisuuskoulutus

Virtuaalitodellisuutta on jo pidempään pidetty lupaavana, nousevana teknologiana ja viimeaikaisen laitekehityksen myötä sen odotetaan nyt alkavan lunastaa lupauksia

(Cipresso ym., 2018). Virtuaalitodellisuutta on kokeiltu lukuisiin eri tarkoituksiin; muiden muassa työturvallisuuskoulutuksiin.

VR-koulutustutkimuksia on toteutettu erityisesti riskialttiilla toimialoilla, kuten rakennus- tai kaivosteollisuuden parissa (mm. Tichon ym., 2011), lääketieteen alalla (mm. Gurusamy, 2009) tai laboratorio- ja kemianteollisuuden turvallisuuden parissa (mm. Makransky ym., 2019). Useimmiten koeasetelmat ovat olleet kvasikokeita tai satunnaistettuja vertailukokeita, ja kokeissa on usein harjoiteltu vaarojen tunnistamista (Li ym., 2018). Rakennusteollisuuden työturvallisuuskoulutuksissa virtuaalitodellisuutta on vaarojen tunnistamisen lisäksi sovellettu muun muassa vaarojen välttämisen, vaaroihin reagoinnin ja raskaiden koneiden turvallisen käytön harjoittelussa (Moore ja Gheisari, 2019).

VR-termillä löytyy kirjallisuudesta kirjava joukko toteutuksia, jotka kattavat teknologisia ratkaisuja pöytätietokoneilla käyttäjän näytöllä hallitsemalla avatar-hahmolla (kolmiulotteinen animoitu hahmo) suoritettavista tehtävistä 360°-videoihin (katsojaa kokonaan ympäröivä yhdestä paikasta kuvattu videokuva), CAVE-toteutuksiin (engl. Cave Automatic Virtual Environment, Cave huone, jonka seinille heijastetaan kuvaa kolmiulotteisesta ympäristöstä henkilön näkökulmasta), sekä päälle puettaviin VR-laseihin. Osa koulutusratkaisuksista on passiivisia (seurataan videota tai animaatiota), osassa tehdään aktiivisesti havaintoja ja osassa vaikutetaan itse virtuaaliympäristön tapahtumiin. Järjestelmien tarjoamien liikkumisen vapausasteiden mukaan koulutettava voi ratkaisusta riippuen olla koulutusympäristössä paikallaan, liikkua rajoitetusti tai automaattisesti ohjattuna. VR-ympäristö voi sallia myös vapaan liikkumisen aivan kuin keinotekoisessa ympäristössä oltaisiin oikeasti läsnä.

Myös VR-laitteisto ja sillä tuotettujen kokemusten laatu on kehittynyt voimakkaasti viimeisen 3–5 vuoden aikana. Kehityksessä on edetty visuaalisesta toteutuksesta audiitiiviseen stimulointiin ja interaktion tapoihin. Aiemmin monia toteutuksia ja niillä saatuja tuloksia on voinut haitata näyttöjen resoluution, virkistystaajuuden ja optisten vääristymien aiheuttama virtuaalipahoinvointi-ilmio. Sillä tarkoitetaan yleistä epämukavaa oloa VR-lasien käytön aikana ja sen jälkeen, johon voi kuulua hikoilua, huimausta ja/tai oksentelua, olo on verrattavissa matkapahoinvointiin. Uudemmissa laitteissa virtuaalipahoinvointi pystytään oikein tehdyn toteutuksen kanssa välttämään käytännössä kokonaan.

Terminologisesta epäselvyydestä johtuen toteutusten ja johtopäätösten arviointi pitääkin tehdä suhteessa käytettyyn teknologiaan ja teknologiselle alustalle tuotettuun sisältöön. Tässä hankkeessa käsitellään immerssiivisiä, eli upottavia ja voimakasta läsnäolon tunnetta tuottavia VR-oppimisympäristöjä (Slater ja Wilbur, 1997).

## 1.4 Inhimilliset tekijät ja turvallisuusosaaminen

Moderni turvallisuusajattelu korostaa tarvetta uudentyyppiselle turvallisuuden hallinnan positiiviselle lähestymistavalle, jossa ihmiset nähdään turvallisuuden toteuttajina ja ongelmien ratkaisijoina (Safety II) toisin kuin perinteisessä turvallisuusajattelussa (Safety I), jonka mukaan ihmiset nähdään turvallisuusongelmien ja virheiden lähteinä (Hollnagel, 2014; Hollnagel ym., 2013). Ihmisen toiminnan merkitys turvallisuuden poikkeustilanteissa on tiedostettu pitkään (Reason, 2008; Dekker, 2002; Reason, 1997), mutta siitä huolimatta poikkeamatutkinnoissa ovat korostuneet tekniset asiat ja toisaalta yksilötason virhetekijät (Teperi, 2012; Hollnagel, 2009a; Kirwan, 2003). Systeemitasoisesta turvallisuusajattelusta kehitetyssä erityisesti turvallisuuskriittisillä aloilla näkökulma on vähitellen laajentunut teknisistä tekijöistä monipuolisesti erilaisiin inhimillisiin ja organisatorisiin tekijöihin (Reiman ja Oedewald, 2009; Hollnagel ym., 2006; Hale ja Hovden, 1998). Modernin turvallisuusajattelun rinnalla myös käsitys inhimillisistä tekijöistä on kehittynyt yksilö- ja virhelähtöisestä ajattelusta kokonaisvaltaiseksi lähestymistavaksi, jossa inhimilliset tekijät käsitetään laajasti eri tasoiksi ihmisen toimintaan vaikuttaviksi tekijöiksi kattaen yksilötason tekijöiden lisäksi myös työ-, organisaatio- ja ryhmätasojen tekijät (Wilson, 2014; Teperi, 2012; Wickens, 2008).

Koska ihmisen toiminnalla on vaikutusta useimmissa työtapaturmissa (Ford ja Tetrick, 2008), kokonaisvaltaista ymmärrystä ihmisen toiminnan taustalla vaikuttavista tekijöistä tarvitaan paitsi poikkeamien tutkimuksissa myös ennakoivassa turvallisuustoiminnassa (esim. turvallisuuskoulutuksessa). Aiemmissä tutkimuksissa on havaittu, että turvallisuuskriittisiin aloihin kuuluvassa ydinvoimatuotannossa ja lennonvarmistuksessa kokonaisvaltainen ymmärrys inhimillisistä tekijöistä vaikuttaa myönteisesti turvallisuusosaamiseen sekä kykyyn tunnistaa ja analysoida omassa työssä vaikuttavia eri tason taustatekijöitä (Teperi ym., 2017b; Teperi ym., 2015). Teperin (2012) kehittämä inhimillisten tekijöiden työkalu, HF Tool™, jota on käytetty pohjana tämän hankkeen koulutuksille ihmisen toiminnan taustalla vaikuttavista tekijöistä (myöhemmin HF-koulutus) lisää tietoisuutta ja auttaa tunnistamaan turvallisuustilanteisiin vaikuttavia tekijöitä eri tasoilla; yksilö-, ryhmä- ja organisaatiotasolla sekä työtoiminnassa ja työn piirteissä. Työkalu on alkujaan kehitetty lennonjohdon työhön, ja sitä on myöhemmin sovellettu muilla turvallisuuskriittisillä aloilla, kuten ydinvoimassa, ilmailunhuollossa ja merenkulussa (Teperi ym., 2018a; Teperi ym., 2017a; Teperi ym., 2017b; Teperi ym., 2015; Teperi, 2012).

Perinteisillä toimialoilla ja työturvallisuuskontekstissa vastaavia tutkimuksia ei ole tehty, ja siksi tarvittiin lisää tietoa siitä, voidaanko inhimillisiä tekijöitä kouluttamalla laajentaa turvallisuusosaamista esimerkiksi rakennusalalla.

## 2 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

### 2.1 Tavoitteet ja tutkimushypoteesit

MoSaC-tutkimushankkeella oli kolme päätavoitetta:

1. Tutkia virtuaaliympäristössä toteutetun työturvallisuuskoulutuksen vaikutuksia verrattuna perinteisempään kouluttajakeskeiseen luentomuotoiseen turvallisuuskoulutukseen.
2. Tutkia ihmisen toiminnan taustalla vaikuttavien tekijöiden koulutuksen vaikutuksia.
3. Selvittää prosessiarvioinnin avulla, toteutuivatko koulutusinterventiot suunnitelman mukaisesti, sekä tuottaa tietoa VR-oppimisympäristöjen hyödyistä ja käyttömahdollisuuksista työturvallisuuskoulutuksessa.

Tutkimuksen ensimmäisenä tavoitteena oli selvittää virtuaaliympäristössä toteutetun työturvallisuuskoulutuksen vaikutuksia työturvallisuusosaamiseen ja työturvallisuusajatteluun. Näin saatiin tietoa VR-ympäristöjen hyödyistä ja käyttömahdollisuuksista työturvallisuuskoulutuksissa. Tavoitteena oli tutkia virtuaalitodellisuuteen perustuvan työturvallisuuskoulutuksen vaikutuksia verrattuna perinteiseen luentokoulutukseen. Hypoteesina oli, että VR-kouluttamisella olisi voimakkaampi vaikutus työturvallisuuskyvykkyyteen, joka määriteltiin työturvallisuuteen kohdistuvana pystyvyyden tunteena, työturvallisuuteen kohdistuvana hallinnan tunteena, turvallisuustietoutena, turvallisuuteen liittyvinä hyötykomuksina, turvallisuusmotivaationa ja työturvallisuussuoriutumisenä.

Tutkimuksessa arvioitiin VR-ympäristössä toteutetun työturvallisuuskoulutuksen tehokkuutta verrattuna luentomuotoiseen koulutukseen lyhyen ja pitkän aikavälin seurannassa. Käytetyt tulostimet on kuvattu tarkemmin luvussa 3. Lisäksi tutkittiin osallistujien läsnäolon tunnetta ja immersiotaipumuksia potentiaalisina VR-koulutuksen vaikutuksia mode-roivina tekijöinä.

Tutkimuksen toinen tavoite oli tuottaa tietoa HF Tool™ -työkalun pohjalta laaditun koulutuksen vaikutuksista turvallisuusosaamisen vahvistamisessa. Inhimillisten tekijöiden tiedetään olevan tapaturmien ja onnettomuuksien taustalla vaikuttavia tekijöitä, joten niiden hallinnan tulisi olla osa turvallisuusosaamista. Hypoteesina tässä tavoitteessa oli, että HF Tool™ -työkalun käytöllä työturvallisuuskoulutuksessa olisi positiivinen vaikutus työturvallisuuteen kohdistuvaan pystyvyyden tunteeseen, työturvallisuuteen liittyviin hyötykomuksiin ja turvallisuustietouteen.

Lisäksi tavoitteena oli tutkia interventioiden vaikutuksia pitkän aikavälin seurannassa.

## 2.2 Työturvallisuusoppimisen mittaaminen

Työturvallisuuskoulutusten vaikutusta oppimiseen voidaan mitata usealla eri tavalla. Yksi mittaamisen tapa on työturvallisuustietouden määrä. Toinen yleinen tapa on turvallisen työsuorituksen oppiminen. Kolmas käytännöllinen mittari on oppimisen vaikutus työtaturmien ja vaaratilanteiden määrään (Burke ym., 2006). Eri mittaustapoja yhdistää se, että ne ovat määrällisiä arvioita tiedoista, taidoista ja kyvyistä, ja mittaukset tehdään ennen ja jälkeen koulutusten. Käytännössä mitataan työturvallisuusosaamisen aukkoja, joita koulutuksilla paikataan (Geertshuis ym., 2002; Tennant ym., 2002). Oppimista mitataan yleensä kyselyillä, koevastauksilla tai suorituksia pisteyttämällä. Tiedon ja osaamisen lisäksi mitataan muun muassa työturvallisuuteen liittyviä asenteita ja pystyvyyden tunnetta (Grau ym., 2002) sekä sitä, miten koulutettavat arvioivat koulutuksen vaikuttavan heihin itseensä (Papaleo ym., 2013).

Tässä tutkimushankkeessa mitattiin pystyvyyden tunnetta, hyötyuskomuksia, turvallisuusmotivaatiota, työturvallisuussuoriutumista ja aktiivisuutta työturvallisuuden edistämiseksi. Pystyvyyden tunteella tarkoitetaan luottamusta omaan kykyyn suorittaa työturvallisuuteen liittyvää toimintaa. Tarkemmin pystyvyyden tunne tarkoittaa valmiutta tunnistaa työturvallisuuteen liittyviä asioita, vaarojen havainnointia ja työturvallisuudesta huolehtimista, sekä työtehtäväkohtaista turvallisuuspystyvyyttä.

Hyötyuskomuksilla tarkoitetaan työntekijän arviota turvallisuustoiminnan hyödyistä ja seurauksista. Tässä tutkimushankkeessa hyötyuskomuksia kuvaavista väittämistä on muodostettu kolme summamuuttujaa: 1) yksilökeskeiset eli työympäristöön, työvälineisiin ja henkilönsuojaimiin liittyvät hyötyuskomukset, 2) koulutukseen ja organisatorisiin käytäntöihin liittyvät hyötyuskomukset, ja 3) yleiseen turvallisuuskäyttäytymiseen liittyvät hyötyuskomukset.

”Aktiivisuus työturvallisuuden edistämiseksi”-mittari tarkoittaa aloitteellisuutta ja aktiivisuutta työturvallisuuden edistämiseksi. Se on osallistumista vapaaehtoiseen toimintaan työturvallisuuden edistämiseksi. Lisäksi tutkimushankkeessa mitattiin läsnäolon tunnetta, joka on erityinen VR-tekniikkaan liittyvä mittari. Läsnäolon tunteesta puhutaan myös immersiona.

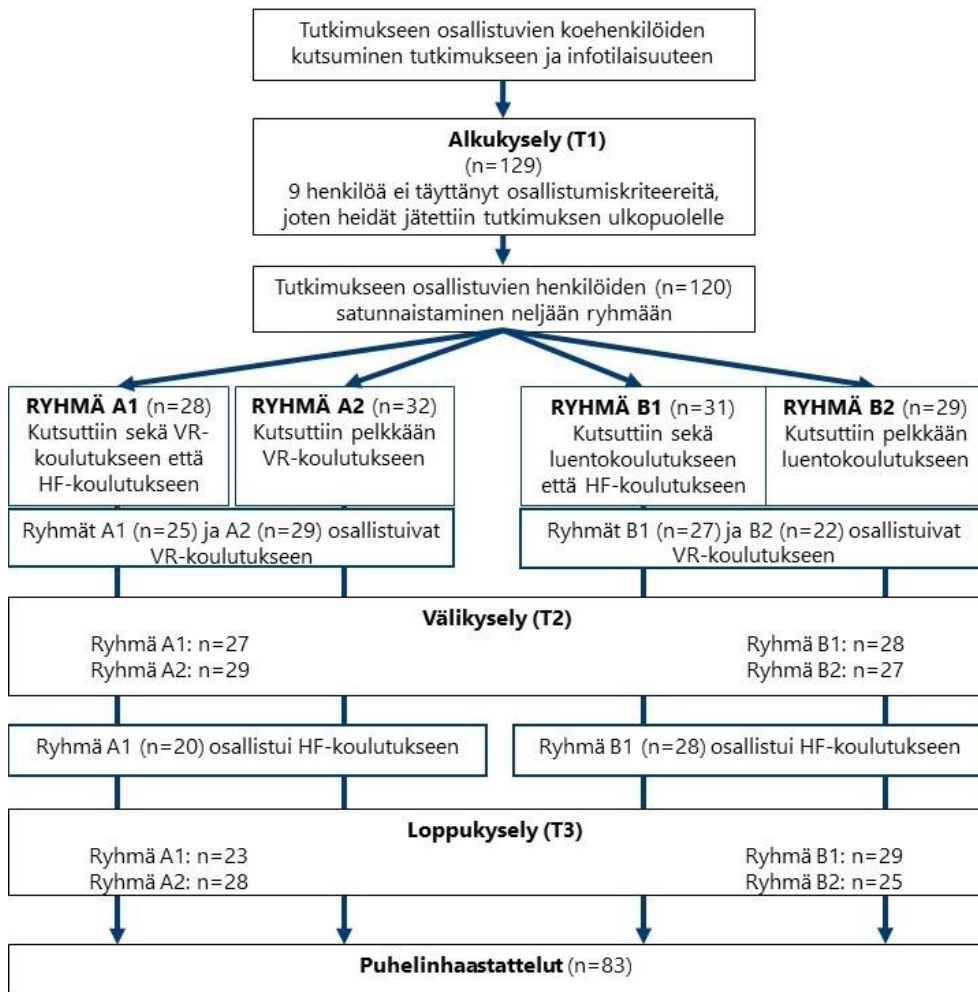
## 3 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS, AINEISTO JA MENETELMÄT

### 3.1 Tutkimusasetelma ja tutkimuksen vaiheet

Tutkimus noudatti satunnaistettua kenttäkoeasetelmaa ja siihen osallistui yhteensä yhdeksän työpaikkaa kahdeksasta organisaatiosta. Tutkimuksen päätehtävät olivat VR-oppimisympäristön ja rakennusalalle suunnatun HF Tool™ -työkalun laatiminen sekä niiden vaikutusten arvioiminen työturvallisuuskyykyteen. Tutkimukseen osallistui 120 työntekijää, jotka satunnaistettiin VR-koulutusryhmiin (A1 ja A2-ryhmät) ja luentokoulutusryhmiin (B1 ja B2-ryhmät) alkukyselyn (T1) lähtötasomittauksen perusteella. A-ryhmät osallistuivat VR-teknologiaa hyödyntävään, tutkimuksessa laadittuun koulutukseen ja B-ryhmät toimivat vertailuryhminä osallistuen tavanomaiseen luentomuotoiseen työturvallisuuskoulutukseen. Turvallisuuskoulutusten jälkeen kaikki tutkittavat osallistuivat välikyselyyn (T2), jossa kerättiin tietoa muun muassa oppimiskokemuksista, turvallisuuskyykyteen liittyvistä asioista sekä VR-koulutukseen osallistuneiden kyselyssä myös läsnäolon tunteesta VR-koulutuksessa. Molemmista tutkimusryhmistä A ja B puolet tutkittavista valittiin HF-koulutukseen ja käyttämään osallistavaa HF Tool™ -työkalua liittyen työturvallisuuskoulutuksen sisältöihin. Näitä ryhmiä kutsutaan A1- ja B1-ryhmiksi. A2- ja B2-ryhmät toimivat vertailuryhminä. Lopuksi kaikille tutkittaville toteutettiin loppukysely (T3) ja noin kuukauden kuluttua myös puhelinhaastattelut. Väli- ja loppukyselyt toimitettiin vastattaviksi myös niille tutkimukseen mukaan ilmoittautuneille, jotka eivät saapuneet oman interventioryhmänsä koulutukseen tai koulutuksiin. Tutkimuksessa käytetyt kyselyt on kuvattu seuraavassa taulukossa (Taulukko 1) ja tutkimusasetelma on esitetty kuvassa (Kuva 3). Tutkimuskyselyt on kuvattu tarkemmin kappaleessa 3.2.4.

Taulukko 1. Tutkimuksessa käytetyt kyselyt.

Kysely	Ajankohta	Kyselyn tarkoitus
T1 Alkukysely	Tutkimukseen mukaan ilmoittautumisen yhteydessä	Lähtötasomittaus, jolla kartoitettiin tutkittavien työturvallisuusosaamista ja jonka perusteella heidät satunnaistettiin tutkimusryhmiin A1, A2, B1 ja B2.
T2 Välikysely	Heti koulutuksen jälkeen	Lyhyen ajan seurantamittaus
T3 Loppukysely	Kuukausi koulutuksen jälkeen	Pitkän ajan seurantamittaus



Kuva 3. Interventiotutkimuksen kulku ja eri vaiheisiin osallistuneiden tutkittavien lukumäärät.

Tutkimushankkeen kesto oli 1.1.2018–31.5.2020 ja se koostui neljästä vaiheesta.

Vaihe 1:

Ensimmäisessä vaiheessa kartoitettiin osallistujaorganisaatioiden työturvallisuuskoulutus-tarpeita ja valittiin yhdessä koulutusaiheet. Tämän jälkeen aloitettiin koulutussisältöjen suunnittelu yhteisessä työpajaprosessissa, joka sisälsi kolme organisaatioiden yhteistä työpajaa jokaista koulutusaihetta kohti. Työpajojen perusteella suunniteltiin ja mallinnettiin kolme virtuaalitodellisuuden turvallisuuskoulutusta sekä oppimissällöltään niitä

vastaavat luentokoulutukset. Ensimmäisessä vaiheessa inhimillisten tekijöiden HF Tool™ -työkalua muokattiin rakennusalan erityistarpeet huomioiden ja suunniteltiin inhimillisten tekijöiden HF-koulutus.

Vaihe 2:

Toisessa vaiheessa tutkimukselle tehtiin tutkimuseettinen ennakoarviointi Työterveyslaitoksen Eettisessä työryhmässä, jonka jälkeen varsinainen interventiotutkimus voitiin aloittaa. Ennen aineistonkeruun aloittamista VR-koulutuksia, erityisesti niiden teknistä ja pedagogista toimivuutta pilotoitiin tutkimusryhmän ulkopuolisilla Työterveyslaitoksen työntekijöillä (n=14) ja visuaalisiin piirteisiin, ohjeistuksiin sekä sisältöihin tehtiin tarkennuksia. Lisäksi kolme työntekijää rakennusalalta testasi ja kommentoi tutkimuskyselyn ymmärrettävyyttä, selkeyttä ja vastaamisen ajantarvetta ennen aineistonkeruun aloittamista.

Vaihe 3:

Kolmannessa vaiheessa toteutettiin interventiotutkimus ja tutkimusaineistoa kerättiin virtuaali- ja luentokoulutuksissa, HF-koulutuksessa sekä niihin liittyvissä tutkimuskyselyissä ja puhelinhaastatteluissa. Interventiotutkimuksen asetelma on esitetty aiemmassa kuvassa (Kuva 3).

Vaihe 4:

Viimeisessä tutkimusvaiheessa toteutettiin arviointityöpajat osallistujaorganisaatioissa, tutkimusaineistosta tehtiin jatkoanalyysija ja tulokset yhdistettiin.

## 3.2 Tutkimusaineisto ja -menetelmät

Tutkimus toteutettiin satunnaisotantaan perustuvana kenttäkoetutkimuksena. Tutkimusaineistot ja -menetelmät on kuvattu tarkemmin tutkimusprotokollassa (Nykänen ym., 2019) sekä tulosartikkelissa (Nykänen ym., 2020).

### 3.2.1 Tutkittavien rekrytointi ja satunnaistaminen

Tutkimus toteutettiin kahdeksan suomalaisen rakennusyrityksen työpaikoilla vuosina 2018–2020. Tutkimukseen kutsuttiin mukaan vähintään 20-vuotiaita, vähintään 2 vuotta rakennusalalla työskennelleitä ja suomea äidinkielenään puhuvia työntekijöitä osallistujaorganisaatioiden työmailta. Työmailta järjestettiin infotilaisuudet, jossa hankkeen tutkija esitteli tutkimusta ja jakoi kirjalliset tutkimustiedotteet. Osallistuminen perustui vapaaehtoisuuteen, tutkimukseen mukaan lähtevät henkilöt allekirjoittivat suostumuslomakkeen ja vastasivat alkukyselyyn (T1). Yhteensä 120 kriteerit täyttävää rakennusalan työntekijää osallistui tutkimukseen. Organisaatiokohtainen osallistujamäärä vaihteli yhdeksästä työntekijästä kahteenkymmeneen (keskiarvo 15 osallistujaa/organisaatio). Osallistujat olivat 21–64 vuotiaita (keski-ikä 41,2 vuotta) ja suurin osa (96,6 %) heistä oli miehiä. Osallistujien



työkokemus nykyisellä toimialalla vaihteli 2-41 vuoden välillä (keskiarvo 15,0 vuotta). Joka kymmenes osallistuja toimi myös esimiesasemassa.

Tutkimusryhmän ulkopuolinen tilastotieteilijä satunnaisti tutkittavat neljään eri interventioryhmään ensimmäisen mittauksen jälkeen. Satunnaistaminen neljään interventioryhmään (A1, A2, B1, B2) tehtiin ositetulla otannalla työkokemuksen suhteen. A1- ja A2-ryhmät kutsuttiin VR-koulutukseen ja B1- ja B2-ryhmät vastaavasti luentokoulutukseen. A1- ja B1-ryhmät kutsuttiin lisäksi myös inhimillisten tekijöiden koulutukseen kuukautta myöhemmin.

### 3.2.2 Luento- ja VR-koulutusten toteuttaminen

Koulutukset toteutettiin osallistujaorganisaatioiden tiloissa. Yhden yrityksen liikkuvaa työtä tekevät työntekijät koulutettiin Työterveyslaitoksen toimitiloissa. Työntekijät saivat koulutuskutsun työnantajansa välityksellä noin viikkoa ennen ensimmäistä koulutusta. Kutsusta kävi ilmi, osallistuuko henkilö koulutukseen VR-ympäristössä (A1- ja A2-ryhmät) vai luentona (B1- ja B2-ryhmät). Koulutukset olivat oppimistavoitteiltaan ja tietosisällöltään samanlaiset, ja toteutustavat on kuvattu alla olevassa taulukossa (Taulukko 2).

*Taulukko 2. Luento- ja VR-koulutuksen toteutus.*

Luentokoulutus	VR-koulutus
Osallistuminen ryhmänä (3–9 hlöä).	Osallistuminen yksitellen VR-laitteiston avulla.
Kouluttaja kävi oppimissällöt läpi PowerPoint-esityksen tukemana. Tietoiskumainen, ei kovin osallistava.	Tutkijaryhmän jäsen tilassa ohjeistamassa alkuun ja auttamassa tarvittaessa. Koulutussovellus ohjasi käyttäjää eteenpäin.
Kesto 25–30 minuuttia.	Kesto 25–30 minuuttia.
1 tutkijaryhmän jäsen tilassa havainnoimassa koulutustilannetta käyttäen havainnointilomaketta.	1-2 tutkijaryhmän jäsentä koko ajan tilassa varmistamassa turvallisuus ja havainnoimassa koulutustilannetta käyttäen havainnointilomaketta.
	Oppimisalusta rekisteröi tutkittavan liikkeet ja aktiivisuuden VR-ympäristössä koulutuksen aikana.

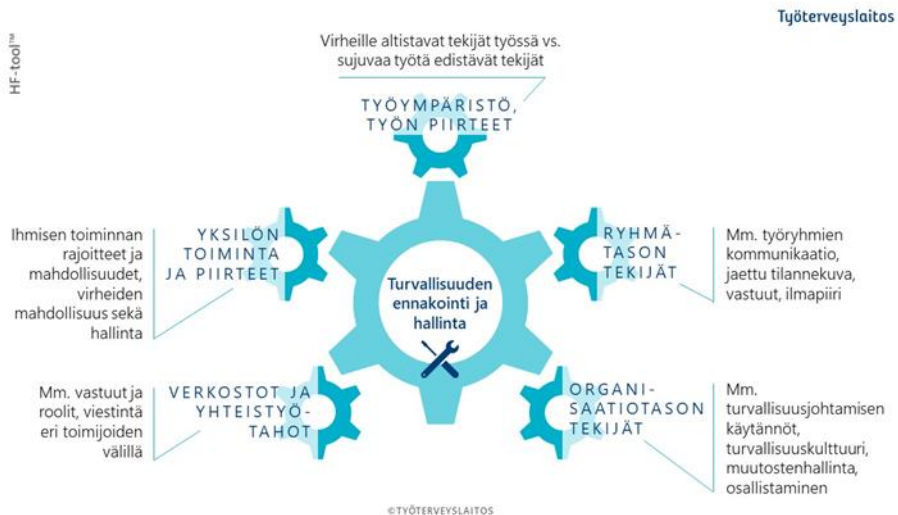
Koulutusten aiheiden valinnassa otettiin huomioon osallistajaorganisaatioille tehdyn tarvekartoituksen tulokset ja virtuaaliodellisuuden reunaehdot (mm. koulutukset tapahtuvat tasaisella alustalla, eikä esim. työkoneeseen kiipeämistä voida simuloida) siten, että organisaatiot valitsivat kahdesta aiheesta työntekijöilleen soveltuvamman koulutuksen aiheen. Vaihtoehtoina olivat turvallinen työskentely sirkkelillä (pöytä- tai teollisuussirkkeli) sekä korkealla työskentely ja nostotyö. Virtuaaliodellisuuteen rakennetut koulutussisällöt suunniteltiin Työterveyslaitoksen ja kyseisen harjoituksen valinneiden osallistajaorganisaatioiden yhteisessä työpajaprosessissa. Harjoiteltaviin asioihin sisältyvät esimerkiksi työympäristöön liittyvien vaarojen havainnointi, työvälineiden ja laitteiden tarkistukset ja tapaturmia ehkäisevät toimenpiteet. Koulutuksen sisällöt liittyivät muun muassa rakennustyömaalla käytettäviin henkilösuojaimiin, työmaa-alueella liikkumiseen ja turvallisuusnäkökohtiin valitussa tehtävässä (sirkkelin käyttö tai korkealla työskentely ja nostotyö).

Luentokoulutuksen sisältö ja materiaalit laadittiin vastaamaan VR-koulutussisältöjä. Tutkimusryhmän ulkopuolinen, kokenut työturvallisuuskouluttaja Työterveyslaitoksesta toteutti luentokoulutukset PowerPoint-esitysaineiston avulla. Esitysaineiston kuvitus toteutettiin kuvakaappauksina VR-oppimisympäristöistä.

### 3.2.3 HF-koulutuksen toteuttaminen

Noin kuukauden kuluttua ensimmäisestä koulutuksesta puolet tutkittavista kutsuttiin HF-koulutukseen. Koulutus kesti keskimäärin 90 minuuttia sisältäen 10 minuutin tauon. HF-koulutus toteutettiin organisaatiokohtaisesti, ja osallistujia oli 3–7 henkilöä/koulutus.

HF-koulutus laadittiin vastaamaan rakennusteollisuuden tarpeita. Kaksi inhimillisten tekijöiden asiantuntijaa tutkimusryhmästä suunnittelivat yhdessä koulutussisällöt ja vakioivat koulutusmenetelmät ja -tavat osallistumalla aluksi toistensa koulutuksiin. Koulutuksessa käytiin läpi ihmisen toiminnan taustalla olevia tekijöitä eri tasoilla (yksilö-, työ- ja työympäristö, ryhmä-, organisaatio- ja verkostotasolla). Koulutus sisälsi osallistavia elementtejä: osallistujia pyydettiin keskustelemaan omaan työhönsä/työpaikkaansa liittyvistä inhimillisistä tekijöistä. Koulutuksen lopuksi tutkittavat harjoittelivat käyttämään kuvitteellisen poikkeamatapauksen analysointiin HF Tool™ -työkalua, jota oli muokattu rakennusalalle sopivaksi (Kuva 4).



Kuva 4. Yleiskuva hankkeessa käytetystä rakennusalalle muokatusta HF Tool™ -työkalusta.

Hankkeessa käytetty HF Tool™ -työkalu muodostui viidestä osa-alueesta: yksilö-, työ-, ryhmä-, organisaatio- ja verkostotasojen tekijät. Tutkittavat tekivät harjoitustehtävän lomakkeelle, jossa oli kuvattuna näiden osa-alueiden alakohdat, ja lisäksi heillä oli käytettävissä alakohtiin liittyviä apukysymyksiä.

### 3.2.4 Tutkimuskyselyt (T1, T2, T3) koulutuksiin osallistuneille

Kuten aiemmasta tutkimuksen kulun esittävästä kuvasta (Kuva 3) havaitaan, tutkimuksessa keskeisessä roolissa olivat tutkimuskyselyt tutkittaville kolmena eri ajanhetkenä. Alkukyselyyn (T1) vastattiin infotilaisuudessa tai itsenäisesti mahdollisimman pian sen jälkeen. Välikysely (T2) täytettiin VR- tai luentokoulutuksen yhteydessä ja poissaolijoiden osalta mahdollisimman pian sen jälkeen. HF-koulutuksen saaneet ryhmät A1 ja B1 vastasivat loppukyselyyn (T3) koulutuksen yhteydessä, ja ryhmät A2 ja B2 samalla viikolla itsenäisesti tai työpaikalla järjestetyssä yhteistilaisuudessa. Tutkittavalle annettun henkilökohtaisen tunnistekoodin avulla eri ajanhetkien kyselyvastaukset sekä koulutusten havainnointilomakkeiden tiedot (mm. tieto teknisistä häiriöistä) ja oppimisalustan keräämä data yhdistettiin toisiinsa.

Tutkimuskyselyt laadittiin tutkimustarkoitukseen työturvallisuustutkimuksessa aiemmin käytettyjen teorioiden ja valmiiden kysymysten pohjalta. Useimmat kysymykset muodostivat mittareita, joiden teoreettiset perusteet ja valinta on kuvattu tutkimusprotokollassa (Nykänen ym., 2019). Tutkimuskysely rakentui monivalintakysymyksistä eri vastaus-

vaihtoehtoasteikoilla. Lisäksi koulutuksen aiheena olevassa työtehtävässä tutkittiin turvallisuustietoutta kolmella avoimella kysymyksellä työhön liittyvistä riskeistä, työturvallisuuden varmistamisesta ennen työn aloittamista sekä työturvallisuutta tukevista ja tapaturmia ennaltaehkäisevistä tekijöistä kyseisessä työtehtävässä.

Alkukyselyyn (T1) sisällytettiin kysymyksiä tutkittavan taustatiedoista (esimerkiksi ikä, työkokemus, työnimike), joita käytettiin myös satunnaistamiseen ja interventiokriteereiden toteutumisen varmistamiseen.

Tutkimuskyselyn avulla kerättiin tietoa työntekijöiden koulutuskokemuksista:

1. Koulutuksen innostavuus
2. Arvio koulutusmenetelmästä
3. Koulutuksen koetut hyödyt.

Lisäksi VR-koulutukseen osallistuneiden välikyselyyn (T2) sisällytettiin kysymyksiä läsnäolon tunteesta sekä matkapahoinvoinnin kaltaisista tuntemuksista (virtuaaliodellisuuspahoinvointi) koulutuksen aikana.

Tutkimuskyselyillä kerättiin tietoa myös koulutukseen osallistuneiden turvallisuuskäsityksistä ja -valmiuksista kolmena eri ajankohtana (T1, T2 ja T3). Tutkimuksessa seurattiin tulostittareissa tapahtuneita muutoksia eri mittauspisteiden välillä. Tulostittarit on esitelty kappaleessa 3.2.8.

### 3.2.5 Puhelinhaastattelut

Noin kuukauden kuluttua loppukyselystä (T3) tutkittavat haastateltiin lyhyesti puhelimitse. Haastattelujen tavoitteena oli kerätä koulutuspalautetta ja osallistujia pyydettiin kertomaan omin sanoin koulutuskokemuksistaan ja arvioimaan, vaikuttivatko koulutus/koulutukset ajatuksiin työturvallisuudesta tai toimintaan työpaikalla. Haastattelut kestivät noin 5 minuuttia ja ne äänitettiin. Haastateltavien näkemykset koulutuksista analysoitiin aineistolähtöisellä sisällönanalysilla luokitellen yhteneväisiä vastauksia samaan luokkaan ja laskemalla mainintojen frekvenssit. Aineistoa tiivistettiin laskemalla koulutusmuotokohtaisesti (luento-, VR- ja HF-koulutus), kuinka monta prosenttia koulutusmuotoon osallistuneista kertoi haastattelussa positiivisia koulutuskokemuksia ja vastaavasti kuinka suuri osuus kertoi negatiivisista koulutuskokemuksista.

### 3.2.6 Arviointityöpajat osallistujaorganisaatioissa

Alustavien tutkimustulosten valmistuttua osallistujaorganisaatioissa järjestettiin arviointityöpajat (yhteensä 5 työpajaa), joihin kutsuttiin eri henkilöstöryhmiä johdosta työntekijöihin. Työpajojen osallistujamäärä vaihteli 3–17 henkilön välillä, ja se kesti noin kaksi tuntia. Työpajoissa esiteltiin hanketta ja alustavia VR-koulutukseen liittyviä tutkimustuloksia.

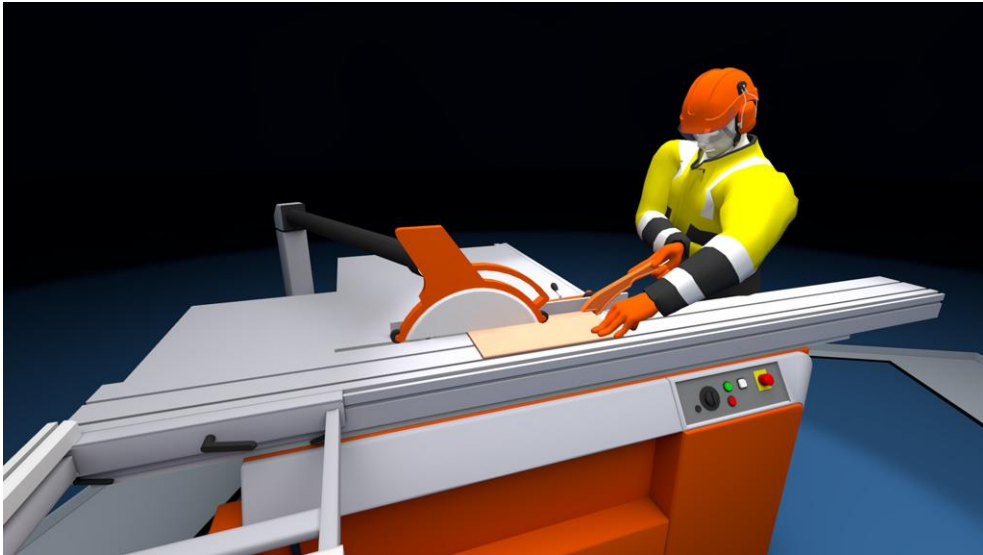
Osallistujilla oli mahdollisuus kokeilla VR-harjoituksia ennen työpajoja tai joustavasti niiden aikana. Työpajoissa kerättiin myös ryhmätyöskentelyjen ja niiden läpikäyntien avulla osallistujien näkemyksiä muun muassa VR-tekniikan mahdollisuuksista työturvallisuuskoulutuksessa ja sen käyttöönotossa mietityttävistä asioista tutkimusaineistoksi. Työpajoissa käydyistä keskusteluista kirjoitettiin muistiinpanot.

### **3.2.7 VR-tekniikan hyödyntäminen työturvallisuuskoulutuksessa**

Intervention tarpeisiin kehitettiin virtuaalitodellisuusoppimislusta, jonka avulla erilaisia VR-harjoituksia pystyttiin toteuttamaan ketterästi uudelleenikäyttämällä harjoitusten palasia keskenään. Alustan osana luotiin harjoitusten pedagogiaa tukeva ohjelmistokehys, jolla pyrittiin varmistamaan kaikkien harjoitusten tasalaatuisuus niin ohjelmistoteknisestä kuin pedagogisesta näkökulmasta. (Ks. Simpura, 2019)

MoSaC-interventiossa käytettiin HTC Vive ja HTC Vive Pro -VR-laseja, joiden käyttö vaati niiden liittämisen kaapelin avulla tietokoneeseen, jossa virtuaalitodellisuusohjelmistoa ajettiin. VR-lasien käyttöalue (VR-alue) määriteltiin erillisillä tukiasemilla, joiden lähettämän infrapunasignaalin avulla voitiin seurata VR-lasien sijaintia ja asentoa VR-alueella.

VR-koulutusta varten toteutettiin useita interaktiivisia VR-ympäristöjä (esimerkki ympäristöstä ks. Kuva 5), joiden kautta oppiminen tapahtui käyttäjän proaktiivisen, oman toiminnan kautta. Kaikkiin toteutettuihin ympäristöihin pyrittiin saamaan koulutettavan vapaan liikkumisen lisäksi välitettävää informaatiota tekstinä, puhe- ja muuna äänenä sekä visuaalisessa muodossa. Ympäristössä toimiminen tapahtui pitkälti seuraamalla käsikirjoitettua "tarinan kaarta", joka sisälsi suoraviivaisia tehtäviä, kuten turvallisuushavaintojen tekemistä tai yksinkertaisten eleiden toistamista kättä nostamalla.



*Kuva 5. Kuvakaappaus arviointityöpajoissa käytetylle Oculus Quest -laitteistolle siirretystä teollisuussirkkeliharjoituksesta.*

Oppimiskokemuksesta pyrittiin tekemään mahdollisimman selkeä ja helppokäyttöinen, joten monimutkaiset liikesarjat, kuten sirkkelin virtuaalinen käyttäminen tai ovien avaaminen jätettiin toteuttamatta keskittämällä kouluttaminen vahvemmin havainnoinnin ympärille. Havainnoinnissa hyödynnettiin VR-lasien kykyä seurata käyttäjän liikettä ja katse-suuntaa, jolloin virtuaaliympäristöä luontaisesti tutkiessa eri kohteiden löytäminen ei vaatinut ylimääräistä opettamista. Merkitäkseen löydetyn kohteen käyttäjältä vaadittiin kohteen osoittamista ja liikeohjaimen painikkeen painamista samanaikaisesti. Tätä samaa toimintalogiikkaa käytettiin kaikkiin havaintoihin jokaisessa koulutussisällössä, jolloin harjoitteet voitiin toteuttaa tasalaatuisina ja yhtä helppokäyttöisinä. Seuraavassa kuvassa (Kuva 6) simuloidaan VR-lasien käyttäjän näkemää virtuaalista ympäristöä.



Kuva 6. Manipuloitu valokuva, joka simuloi henkilön näkemää VR-ympäristöä.

### 3.2.8 Tilastoanalyysit

Tutkimuksessa käytetyt tulostimet on esitetty alla olevassa taulukossa (Taulukko 3). Tulostimet ovat summamuuttujia, jotka on muodostettu tutkimuskyselyn monivalintaväittämistä ja -kysymyksistä, pois lukien turvallisuustietous, jossa mittarin arvo muodostuu tutkittavan saamasta avovastauksen pistemäärästä.

Taulukko 3. Tutkimuksessa käytetyt summamuuttujat.

Tulosmittarit	Vastausasteikko	Lähde	Kysymysten lkm
Pystyvyyden tunne 1: Vaarojen havainnointi ja työturvallisuudesta huolehtiminen	1=erittäin huonosti, 7=erittäin hyvin	Kehitetty tähän tutkimukseen.	4
Pystyvyyden tunne 2: Valmius tunnistaa työturvallisuuteen liittyviä asioita	1=erittäin huonosti, 7=erittäin hyvin	Kehitetty tähän tutkimukseen.	3
Pystyvyyden tunne 3: Työtehtäväkohtainen turvallisuuspystyvyys	1=erittäin huonosti, 7=erittäin hyvin	Kehitetty tähän tutkimukseen.	3
Hyötyuskomus 1: Hyötyuskomukset liittyen työympäristöön, työvälineisiin ja henkilön-suojaimiin liittyviin yksilötason tekoihin	1=ei lainkaan hyödyllinen, 7=erittäin hyödyllinen	Kehitetty tähän tutkimukseen.	4
Hyötyuskomus 2: Hyötyuskomukset liittyen koulutukseen ja organisatorisiin käytäntöihin	1=ei lainkaan hyödyllinen, 7=erittäin hyödyllinen	Kehitetty tähän tutkimukseen.	4
Hyötyuskomus 3: Hyötyuskomukset liittyen yleiseen työturvallisuuskäyttäytymiseen	1=ei lainkaan hyödyllinen, 7=erittäin hyödyllinen	Kehitetty tähän tutkimukseen.	4
Turvallisuusmotivaatio	1=täysin eri mieltä, 7=täysin samaa mieltä	Mukaillen Neal ym. (2000)	3
Hallinnan tunne 1: Työturvallisuuteen kohdistuva sisäinen hallinnan tunne	1=täysin eri mieltä, 7=täysin samaa mieltä	Mukaillen Mazaheri ym. (2012)	2
Hallinnan tunne 2: Työturvallisuuteen kohdistuva ulkoinen hallinnan tunne	1=täysin eri mieltä, 7=täysin samaa mieltä	Mukaillen Mazaheri ym. (2012)	2
Käsitys omista mahdollisuuksista vaikuttaa työturvallisuuden edistämiseen	1=täysin eri mieltä, 7=täysin samaa mieltä	Mukaillen Curcuruto ym. (2016)	2
Turvallisuustietous	Sanallisen tehtävän avovastausten pisteytys	Mukaillen Sacks ym. (2013)	-
Turvallisuuteen liittyvien menettelytapojen noudattaminen	1=täysin eri mieltä, 7=täysin samaa mieltä	Mukaillen Neal ym. (2000)	2
Aloitteellisuus ja aktiivisuus työturvallisuuden edistämiseen	1=täysin eri mieltä, 7=täysin samaa mieltä	Mukaillen Neal ym. (2000)	2



Pystyvyyden tunnetta sekä hyötyuskomuksia kuvaavien mittareiden rakentamisessa on käytetty eksploratiivista ja konfirmatorista faktorianalyysiä. Mittareihin liittyvät tilastolliset analyysit on kuvattu tarkemmin erillisessä julkaisussa (Nykänen ym., 2020). Tutkimusaineistosta laskettiin kuvailevia tunnuslukuja, kuten jakaumia, korrelaatioita ja keskiarvoja. Osassa kuvailevista analyyseistä menetelmänä käytettiin parittaista t-testiä. Lähtötason eroavaisuuksia testattiin asteikosta riippuen joko keskiarvotesteillä tai riippumattomuustesteillä. Aineiston tarkastelussa havaittiin yksi poikkeava havainto, joka poistettiin aineistosta ennen lopullisten analyysien toteutusta ja raportointia.

Tutkimukseen osallistujat olivat eri organisaatioista ja mittaukset tehtiin eri ajankohtina, joten tutkimuksessa käytettiin yleistettyjä lineaarisia sekamalleja. Analyyseissa huomioitiin eri työpaikkoihin kuulumisen vaikutus tulosmuuttujiin (ns. satunnaisvakiomalli). Kaikissa analyyseissa vakioitiin myös ikä.

Tutkittavilta kerättiin aineistoa mittauspisteissä T1, T2 ja T3, ja muutoksia tarkasteltiin eri mittauspisteiden välillä. Tilastollinen merkitsevyytaso eli p-arvo asetettiin 0,05. Mallien virhetermien normaalisuus tutkittiin ennen analyyseja. Interventioryhmiä välisiä eroja arvioitiin efektikoon avulla. Tulosten analysoinnissa noudatettiin hoitoaikeen mukaista periaatetta (Ranganathan ym., 2016).

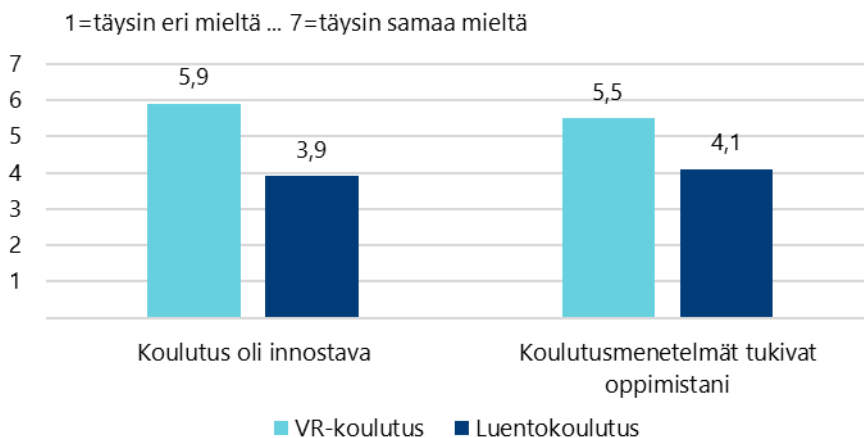
## 4 TULOKSET

Osallistujaorganisaatiot olivat työturvallisuuteen sitoutuneita ja jo pitkään työturvallisuutta ja työturvallisuuskoulutusta kehittäneitä yrityksiä. Alkukyselyinkin (T1) mukaan lähtötilanne turvallisuusajattelussa ja turvallisuusvalmiuksissa oli hyvin korkea kaikissa organisaatioissa.

### 4.1 VR- ja luentokoulutuskokemukset ja vaikutukset työturvallisuuskyykyteen

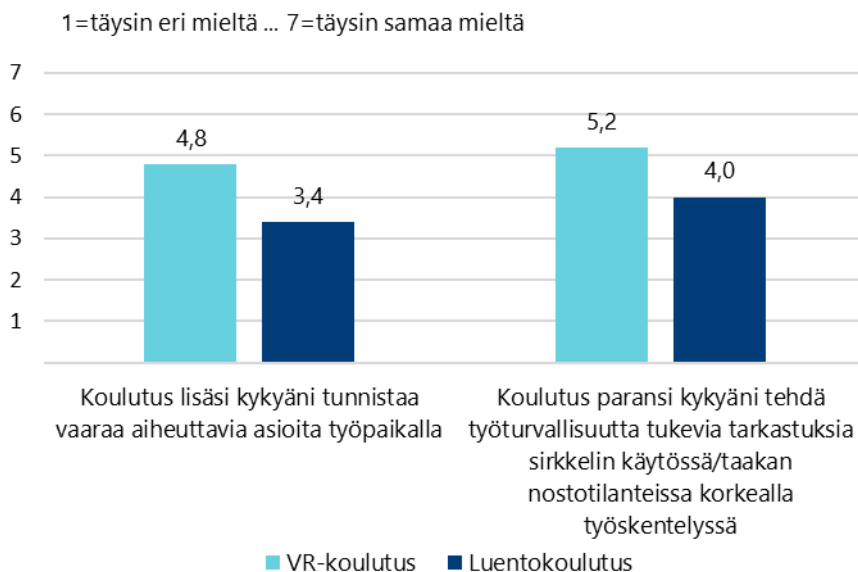
Koulutukseen osallistuneiden kokemuksia kysyttiin ennen koulutuksia, heti koulutusten jälkeen ja kuukausi koulutusten jälkeen.

Tutkimuskyselyissä oli erilaisia väittämiä koulutuskokemuksista, joita koulutuksiin osallistuneet arvioivat asteikoilla 1 (=täysin eri mieltä) –7 (=täysin samaa mieltä). Tutkittavien koulutuskokemukset on esitetty seuraavissa kuvissa (Kuva 7 ja Kuva 8). Vaaleammassa palkissa näkyy vastausten keskiarvo niiden osalta, jotka osallistuivat VR-koulutukseen ja tummemmassa niiden keskiarvo, jotka osallistuivat luentokoulutukseen. VR-koulutus koettiin selvästi enemmän innostavaksi kuin luentokoulutus. VR-ryhmään osallistuneiden tutkittavien vastausten keskiarvo oli 5,9, ja luentokoulutukseen osallistuneiden 3,9. VR-koulutus myös koettiin paremmin oppimista tukevaksi kuin luentokoulutus; VR-koulutus sai keskiarvoksi 5,5 ja luentokoulutus 4,1. Molempien väittämien kohdalla ryhmien välinen ero oli tilastollisesti merkitsevä.



Kuva 7. VR- ja luentokoulutukseen osallistuneiden tutkittavien kokemukset koulutuksen innostavuudesta ja koulutusmenetelmistä keskiarvoina esitettynä.

VR-koulutuksen ja luentokoulutuksen ero oli huomattava myös koulutuksen koetuista hyödyistä kysyttäessä (Kuva 8). VR-ryhmän vastausten keskiarvo oli 4,8, kun tutkittavat arvioivat sitä lisäksi koulutus heidän kykyään tunnistaa vaaraa aiheuttavia asioita työpaikalla. Luentoryhmän vastausten keskiarvo oli 3,4. Kun kysyttiin, paransiko koulutus kykyä tehdä työturvallisuutta tukevia tarkastuksia, VR-ryhmän vastausten keskiarvoksi tuli 5,2 ja luentoryhmän 4,0. Molempien väittämien kohdalla ryhmien välinen ero oli tilastollisesti merkitsevä.



Kuva 8. VR- ja luentokoulutukseen osallistuneiden tutkittavien koulutuskokemusten keskiarvot.

Kaikkien tulosuuttujien keskiarvot ja keskihajonnat on esitetty liitteessä 1.

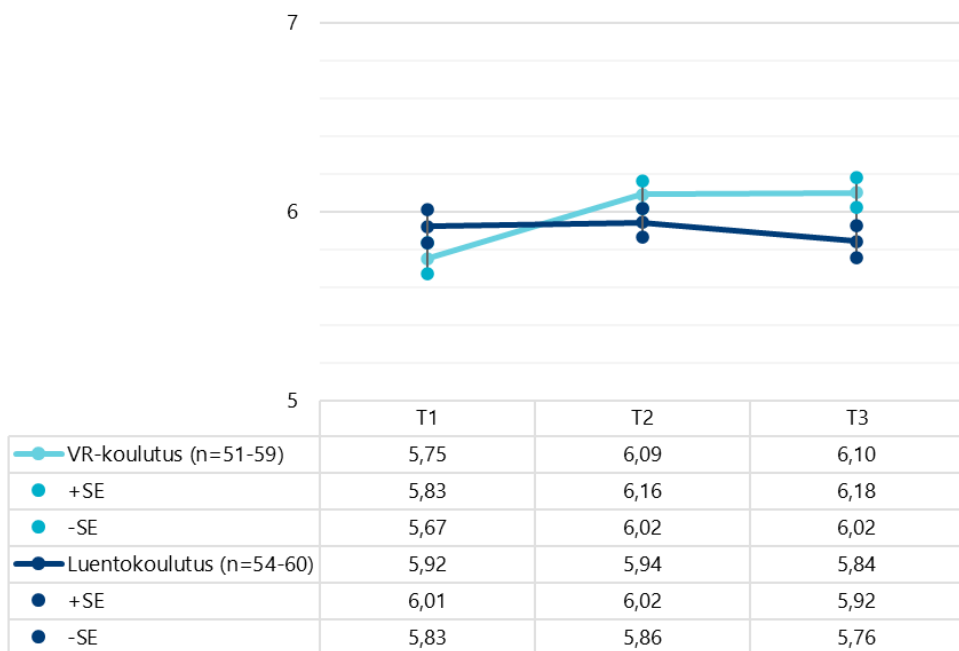
Lyhyen aikavälin tarkastelussa VR-koulutusryhmässä tapahtui luentokoulutukseen verrattuna tilastollisesti merkitsevästi enemmän myönteistä muutosta seuraavissa tulosuuttujissa (ks. tarkemmin liite 2 ja Nykänen ym., 2020):

- Valmius tunnistaa työturvallisuuteen liittyviä asioita (Pystyvyyden tunne 2)
- Hyötyuskomukset liittyen työympäristöön, työvälineisiin ja henkilösuojaimiin liittyviin yksilötason tekoihin (Hyötyuskomus 1)
- Turvallisuusmotivaatio
- Työturvallisuuteen kohdistuva sisäinen hallinnan tunne (Hallinnan tunne 1)
- Turvallisuustietous

Pitkän aikavälin (1 kk) tarkastelussa (ks. tarkemmin liite 3 ja Nykänen ym., 2020) VR-koulutusryhmässä tapahtui luentokoulutukseen verrattuna tilastollisesti merkitsevästi enemmän myönteistä muutosta kahdessa tulosuuttujassa:

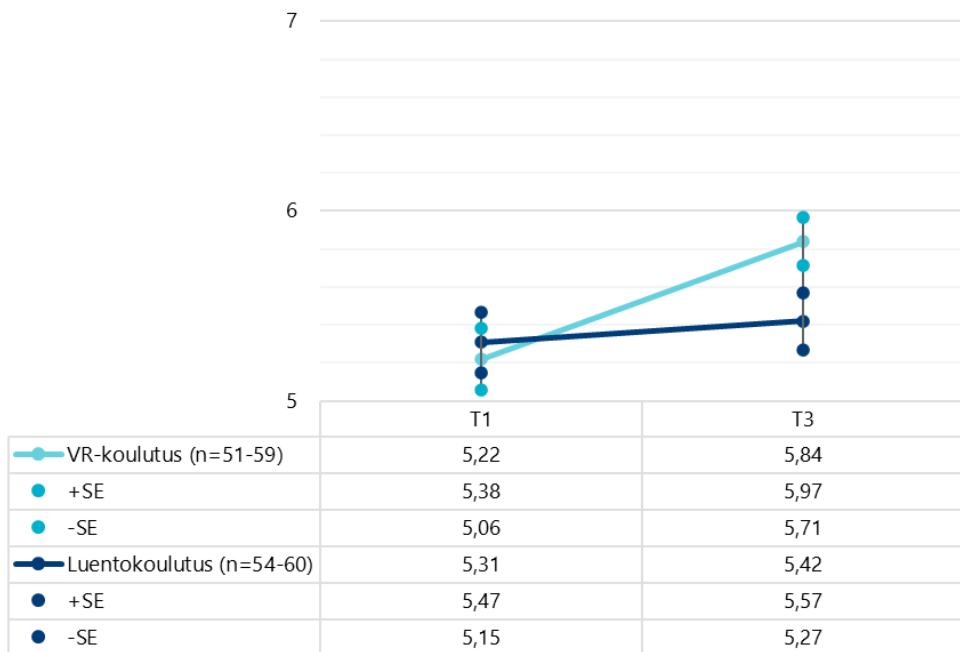
- Valmius tunnistaa työturvallisuuteen liittyviä asioita (Pystyvyyden tunne 2)
- Aloitteellisuus ja aktiivisuus työturvallisuuden edistämiseen

Seuraavaksi näiden kahden tulosuuttujan osalta tarkasteltiin parittaisten t-testien avulla muutosta erikseen VR-koulutukseen osallistuneiden ja luentokoulutukseen osallistuneiden kohdalla. Samalla yhdestä seitsemään -asteikolla mitattiin tutkittavien pystyvyyden tunnetta liittyen valmiuteen työturvallisuuteen vaikuttavien asioiden tunnistamiseen (Kuva 9). VR-ryhmässä tässä tulostilastossa tapahtui tilastollisesti merkitsevä myönteinen muutos sekä lyhyen että pitkän aikavälin tarkastelussa. Luentokoulutusryhmällä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää muutosta lyhyellä tai pitkällä tarkastelujaksolla.



Kuva 9. Tutkittavien pystyvyyden tunne liittyen valmiuteen työturvallisuuteen vaikuttavien asioiden tunnistamiseen eri mittauspisteissä (+/- SE = keskiarvo).

Koulutettavilta kysyttiin alkukyselyssä (T1) ja loppukyselyssä (T3) myös heidän itsearviointiaan aloitteellisuudesta ja aktiivisuudesta työturvallisuuden edistämiseksi. VR-ryhmän tulos parani tilastollisesti merkitsevästi pitkän aikavälin tarkastelussa, mutta luentoryhmän tuloksessa ei tapahtunut tilastollisesti merkitsevää muutosta (Kuva 10).



Kuva 10. Tutkittavien aloitteellisuus ja aktiivisuus työturvallisuuden edistämiseen (itsearviointi) mittauspisteissä T1 ja T3 (+/- SE = keskiarvo).

Koulutusten jälkeen tutkittaville tehdyissä puhelinhaastatteluissa kerättiin palautetta koulutuksista. Niistä VR-ryhmään osallistuneista, jotka osallistuivat puhelinhaastatteluihin (n = 36) 81 % antoi myönteistä palautetta. Usean haastateltavan mielestä VR-koulutus lisäsi työturvallisuuden syvällistä ajattelua. Lisäksi VR-koulutukseen osallistuneet haastateltavat arvostivat VR-koulutuksen osallistavaa luonnetta ja yleensä kokivat sen olevan mielenkiintoinen. Puhelinhaastatteluissa tuli myös kielteistä palautetta, ja se koski lähinnä satunnaisia teknisiä häiriöitä koulutustilanteissa.

Luentokoulutukseen osallistuneista 47 tutkittavaa osallistui puhelinhaastatteluihin. Heistä 51 % antoi koulutuksesta myönteistä palautetta. Usean tutkittavan mielestä koulutuksessa kerrattiin tärkeitä asioita. Tutkittavista 56 % antoi kielteistä palautetta. Kiteytetysti, koulutus ei kielteisen palautteen mukaan tarjonnut mitään uutta, ja koulutuksessa istuminen koettiin puuduttavaksi.

Puhelinhaastatteluissa myös kysyttiin tutkittavilta mahdollisista koulutuksen jälkeen heränneistä uusista ajatuksista tai konkreettista toimintatapojen muutoksista. Osallistujien kertomia käytännön tekoja olivat esimerkiksi huomion kiinnittäminen entistä enemmän työpaikan järjestykseen ja siisteyteen sekä työkonien tarkastuksiin ja epäkunnossa olevan työkonien toimittaminen huollettavaksi.

VR-koulutuksen vaikutuksiin liittyviä tutkimustuloksia esiteltiin organisaatiokohtaisissa arviointityöpajoissa ja kerättiin eri toimijoiden näkemyksiä VR-koulutusten hyödynnettävyydestä työturvallisuusoppimisessa. Tutkittavat näkivät virtuaaliodellisuudessa toteutettavan työturvallisuuskoulutuksen innostavana, mukaansatempaavana ja siten paremmin mieleen jäävänä kokemuksena. Tutkittavat pitivät VR-koulutuksen etuina muun muassa kiinnostavuutta, pelillisyyttä ja oppijan rohkaisemista aktiiviseksi toimijaksi. Osallistujat ideoivat paljon hyödyntämis- ja sovelluskohteita uudelle teknologialle työturvallisuuskouluttamisessa, esimerkiksi poikkeustilanteissa toimimisen harjoittelu, TR-mittarin® käyttökoulutus ja kalibrointiharjoitus tai perehdytysmateriaali. Eduksi koettiin myös helpous laatia koulutuksesta eri kieliversioita ja saada koulutus siten omalla kielellä.

Arviointityöpajojen osallistujia pyydettiin pohtimaan myös mahdollisia esteitä ja huolia VR-koulutuksen käyttöönottoon liittyen. Tutkittavia pohdituttaneet asiat olivat hyvin käytännönläheisiä, kuten silmälasien mahtuminen VR-lasien alle, virtuaaliodellisuuspahoinvointi, VR-laitteistojen kustannukset ja tilantarve sekä suurempien osallistujajoukkojen kouluttaminen samanaikaisesti. Lisäksi erityisesti koulutuksen kehittämistä työkseen tekeviä työpajaosallistujia mietitytti laadukkaan VR-harjoitussisällön laatimiseen vaadittava työaika ja kustannukset sekä harjoitussisältöjen päivittämisen ketteryys.

Tutkimuksessa huomattiin VR-lasien sijainnin seurannan ja muiden teknologian aiheuttamien ongelmien vaikutus koulutustilanteeseen. Interventiossa hyödynnettyjen HTC Vive ja HTC Vive Pro -lasien vaatiessa jatkuvan tietokoneyhteyden sekä kaapelin näiden välille laitteiston potentiaalisten ongelmakohtien määrä oli luonnollisesti suurempi kuin käytetäessä "avaimet käteen" -ratkaisua, jossa VR-lasit suorittavat myös tarvitsemansa laskennan, kuten Oculus Quest -laseilla, joihin arviointityöpajoissa siirryttiin. Seuraavassa kuvassa (Kuva 11) esitetään molemmat laitteistot kuljetuslaukuineen. Tuolin päällä olevat kaksi Oculus Quest -laitetta ovat toiminnallisesti samanlaiset verrattuna lattialla oleviin tavaroihin, joita tarvitaan kuljetuslaukussa olevien kahden HTC Vive -laitteen käyttöön, joita käytettiin interventioissa.

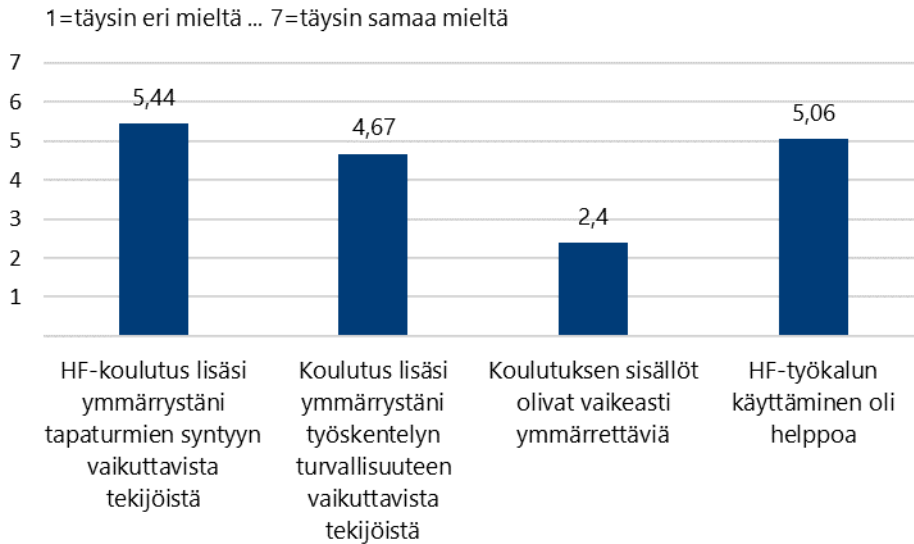


Kuva 11. Vertailukuva HTC Vive ja Oculus Quest -laitteistoista. Etualalla lattialla HTC Vive -laitteisto. Takana tuolilla kaksi Oculus Quest -laitetta.

## 4.2 HF-koulutuskokemukset ja vaikutukset työturvallisuuskyykyteen

Puolet tutkittavista kutsuttiin kuukauden kuluttua HF-koulutukseen tavoitteena vertailla HF-koulutusryhmän ja vertailuryhmän (ei HF-koulutusta) muutosta työturvallisuuteen kohdistuvassa pystyvyyden tunteessa ja hyötyuskomuksissa. Hypoteesien vastaisesti ryhmien välillä ei ollut valituissa mittareissa tilastollisesti merkitsevää eroa, eikä HF-koulutukseen osallistumisella siten näyttänyt olevan vaikutusta valittuihin mittareihin.

HF-koulutuksen tutkittavat arvioivat saamaansa koulutusta kuitenkin myönteisesti. Seuraavan sivun kuvasta (Kuva 12) nähdään, että koulutuksen koettiin yleisesti lisänneen ymmärrystä tapaturmien syntyyn sekä työskentelyn turvallisuuteen vaikuttavista tekijöistä. HF Tool™ -työkalun käyttäminen arvioitiin myös suhteellisen helpoksi.



Kuva 12. HF-koulutukseen osallistuneiden tutkittavien kokemukset koulutuksesta ja HF Tool™ -työkalun käytöstä keskiarvoina esitettyinä.

HF-koulutukseen osallistuneista puhelinhaastatteluun myöhemmin tavoitetuista (n = 47) tutkittavista jopa 82 % kertoi positiivisista koulutuskokemuksista. Heidän mukaansa koulutus toi syvempää ymmärrystä työturvallisuuteen vaikuttavista ja tapaturmien taustalla olevista tekijöistä. Haastatelluista 16 % mainitsi myös negatiivisia asioita koulutukseen liittyen, lähinnä kokemuksen siitä, että koulutuksessa ei tullut uutta tietoa.



## 5 TULOSTEN TARKASTELU

### 5.1 VR-koulutus haastaa perinteisemmät lähestymistavat

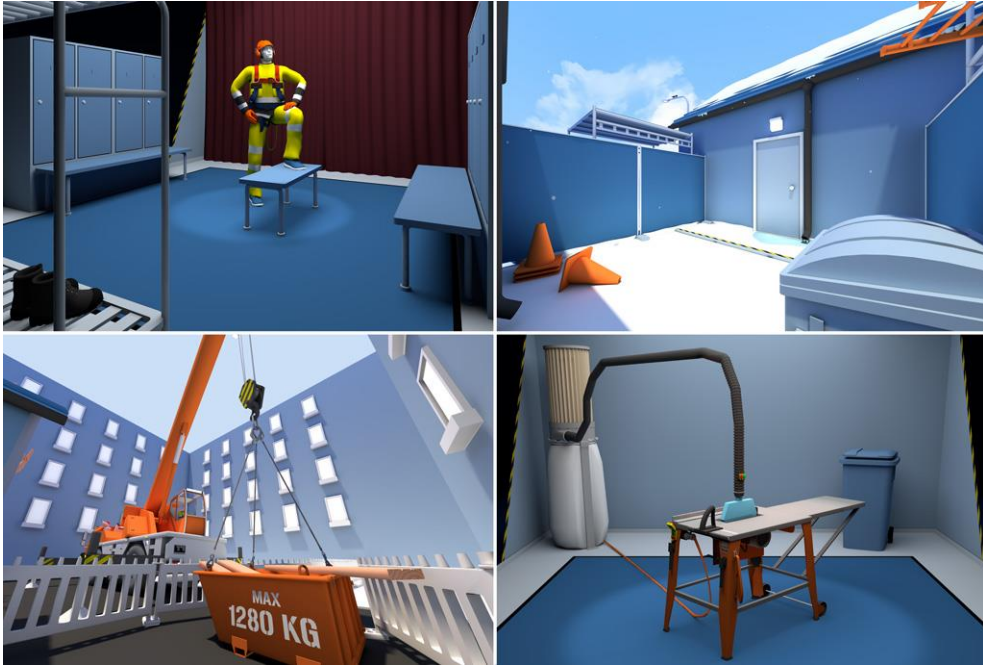
Virtuaalitodellisuuden hyödyntäminen on laitteistojen tämänhetkisen kehitystason myötä luonut lupaavia mahdollisuuksia etenkin tulevaisuuden opetusympäristöjen näkökulmasta. Virtuaalitodellisuus tarjoaa uuden motivoivan ja innostavan tavan oppia monimutkaisiakin sisältöjä kehollistetun, kehon kautta toimivan (Kiefer ja Trumpp, 2012), aktiivoin käytännön tekemisen kautta. Virtuaaliympäristössä on turvallista kohdata työpaikan vaaratekijät ennen altistumista oikeille vaaratekijöille. VR-harjoituksista voidaan tuottaa eri kieliversiot ja ne voidaan suunnitella esteettömiksi, parantaen kaikkien työntekijäryhmien mahdollisuutta osallistua.

Tässä tutkimuksessa virtuaalikoulutuksella todettiin olevan perinteisempää luentokoulutusta parempia vaikutuksia. Tulosten mukaan VR-koulutuksella pystyttiin vahvistamaan tutkittavien valmiuksia työtilanteen turvallisuuden ennakointiin ja työturvallisuuteen vaikuttavien asioiden tunnistamiseen. Lisäksi koulutus vahvisti motivaatiota työturvallisuuden edistämiseen ja lisäsi tutkittavien turvallisuustietoutta. Tutkimuksessa seurattiin myös tutkittavien arvioita omasta turvallisuuskäyttäytymisestä kuukauden seurannassa. Tutkitavilta kysyttiin, missä määrin he kokivat osallistuvansa vapaaehtoisesti toimintaan, joka auttaa parantamaan työpaikan turvallisuutta. Tulosten mukaan VR-koulutukseen osallistuminen lisäsi tutkittavien aloitteellisuutta ja aktiivisuutta työturvallisuuden edistämiseen. Suhteessa luentokoulutukseen VR-koulutus vahvisti myös enemmän tutkittavien kokemusta siitä miten hyödyllisiä työntekijätason turvallisuustoimenpiteet ovat (esim. henkilösuojainten ja suojalaitteiden kunnon tarkistaminen). Kirjallisuudessa esiintyy sekä tätä tukevia näkemyksiä (Lawson ym., 2019; Liang ym., 2019; Shi ym., 2019; Alhalabi 2016; Perlman ym., 2014; Sacks ym., 2013) että vastakkaisiakin näkemyksiä (Leder ym., 2019; Makransky ym., 2019).

VR-termillä viitataan kuitenkin tällä hetkellä tutkimuskirjallisuudessakin monenlaiseen toteutukseen, eikä termi itsessään takaa ratkaisun toimivuutta. Keskeinen ongelma VR-oppimisympäristöjen kehittämisessä on ymmärtää, millaiset ympäristöt ja mekanismit oppimista tukevat ja mihin käyttöön nämä ympäristöt parhaiten sopivat.

Tässä tutkimuksessa keskityttiin immersiiivisiin virtuaaliympäristöihin (esimerkkejä seuraavassa kuvassa (Kuva 13)), joissa käyttäjän oma liike fyysisessä tilassa siirtyy suoraan liikkeeksi virtuaalitalassa, jossa käyttäjä voi liikkua tilassa vapaasti fyysisen tilan rajojen puitteissa. Tällaisessa VR-toteutuksessa virtuaalikokemus vastaa luonnollisessa tilassa ope-  
rointia sillä rajoituksella, että vuorovaikutus ympäristön kanssa välittyy ohjainten kautta,

eikä ympäristöstä saada välitettyä tuntopalautetta yksinkertaisia värinäherätteitä lukuun ottamatta.



Kuva 13. Esimerkkejä hankkeen immersivisistä VR-oppimisympäristöistä.

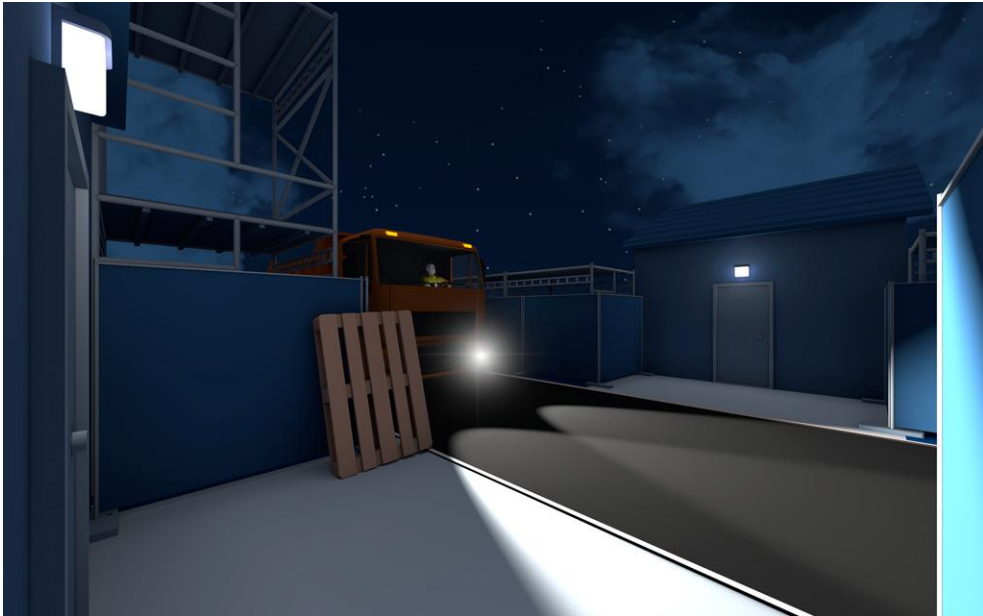
Tässä tutkimuksessa luentomuotoisessa turvallisuuskoulutuksessa pääasiallinen mekaniismi oppijan kykyjen ja omiin kykyihin luottamisen kasvattamiseen perustui suulliseen tiedonvälitykseen. Virtuaalikoulutus puolestaan tuotti hallinnan kokemuksia työturvallisuuteen liittyvissä toimissa, kun virtuaaliharjoituksessa suoritettiin käytännössä opetetut tehtävät. Hallinnan kokemuksen puolestaan tiedetään olevan merkittävin syy luottamukselle omiin kykyihin (Bandura 1997). Virtuaalikoulutus siis lisäsi tutkittavien valmiutta tunnistaa työturvallisuuteen liittyviä asioita luentokoulutusta enemmän.

Tutkimus osoitti lisäksi, että virtuaalikoulutuksen positiivinen vaikutus pystyvyyden tunteessa työturvallisuuteen vaikuttavien tekijöiden tunnistamiseen säilyi kuukauden seurantaajan yli, kun taas luentoryhmällä kehitystä ei tapahtunut lyhyellä eikä pitkällä aikavälillä. Tulosten perusteella virtuaalikoulutuksella saatiin lyhyellä seurantaajaksolla luentokoulutusta enemmän myönteisiä vaikutuksia useampiin tulospittareihin. Näin tapahtui etenkin hyötyuskomuksissa liittyen työympäristöön, työvälineisiin ja henkilönsuojaimiin liittyviin yksilötason tekoihin. Luentokoulutuksessa pyrittiin parantamaan osallistujien turvallisuuskyvykkyyttä antamalla tietoa työturvallisuuteen liittyvien toimien ja tapaturmien ehkäisemisen välisestä suhteesta. Virtuaalikoulutuksessa tutkittavat lisäksi poistivat

vaaroja virtuaaliympäristössä, jolloin pelkän tiedonsaannin vaikutusta kasvatettiin omien toimien vaikutusten havaitsemisella. Yleisesti tutkittavat kokivat virtuaalikoulutuksen innostavampana, mikä tuki tulosta virtuaalikoulutuksen suuremmasta vaikutuksesta työturvallisuusmotivaatioon.

Tämän hankkeen johtopäätöstä tukevia tuloksia on saatu useassa aiemmassa tutkimuksessa: Sacks ym. (2013) totesivat VR-koulutuksen olevan tehokkaampaa rakennusteollisuuden tehtävissä etenkin käytännön työtehtävien opettelemisessa, vaikka yleisten turvallisuustekijöiden suhteen koulutuksen tulokset eivät eronneet verrokkitilanteesta luokahuoneessa. Lawson ym. (2019) osoittivat, että VR-koulutuksella saavutetaan kestävämpi muistijälki ja koulutus vahvistaa oikeita käyttäytymismalleja ja motivaatiota perinteistä koulutusta paremmin palotilanneharjoituksessa. Liang ym. (2019) puolestaan vertasivat toisiinsa VR-peliä ja videokoulutusta, joiden tarkoitus oli kehittää koulutettavien kaisosalan riskeihin liittyvää osaamista (esim. irtonaiset kivet). Tutkimuksessa VR-pelillä saavutettiin pitkäkestoisempi muistijälki ja parempi osaaminen kuin koulutusvideolla. Perlman ym. (2014) osoittivat virtuaalitodellisuudessa tapahtuvan koulutuksen vahvistavan erityisesti vaarojen tunnistuskykyä. Alhalabi (2016) vertaili insinöörikoulutuksen tehtävissä neljää erilaista koulutustoteutusta (ilman virtuaalitodellisuutta; CAVE-ympäristö; kolmen vapausasteen VR-lasit, joissa katsoja voi kääntää päätään muttei liikkua ja kuuden vapausasteen VR-lasit, joiden avulla ympäristössä voi liikkua vapaasti). Kaikki virtuaalitodellisuustoteutukset suoriutuivat merkittävästi paremmin kuin virtuaalitodellisuutta hyödyntämättömät toteutukset ja parhaat oppimistulokset saatiin vapaan liikkeen mahdollistavalla virtuaalimallilla.

MoSaC-hankkeen koulutuksissa oli päätetty käyttää ns. positiivista vahvistusoppimista, jossa mahdolliset virheet eivät altista oppijaa onnettomuuksille, vaan oppija ohjataan turvallisesti koulutuksessa eteenpäin oikeanlaisen toiminnan ja suorittamisen avulla. Esimerkiksi seuraavassa kuvassa (Kuva 14) esitetyssä liikkumisturvallisuusharjoituksessa ensinkulman takana piilossa oleva kuorma-auto ei liiku oppijaa kohti, vaikka hän lähtisi ylittämään ajorataa huomioimatta ensin autoa. Shi ym. (2019) tutkivat immersiiivisen VR:n potentiaalia koulutuksessa, jossa vertailtiin negatiivisen ja positiivisen vahvistusoppimisen avulla liikkumisen opettamista vaarallisessa ympäristössä korkealla rakennustyömaalla. Negatiivisen vahvistusoppimisen menetelmässä pelaajan havainnoima virheen tekevä animoitu 3D-hahmo putoaa korkealta rakennustelineeltä. Positiivisen vahvistusoppimisen menetelmässä riskit esitetään oppijalle, mutta seurattava hahmo tekee kaiken oikein eikä putoa. Tutkimuksessa negatiivisen oppimisen ryhmä altisti harjoitteessa itseään enemmän riskikäyttäytymiselle, positiivisen oppimisen ryhmän toimiessa omassa harjoitteessaan turvallisemmin. Shi ym. (2019) tutkimus on hyvä esimerkki siitä, miten VR:ää voi hyödyntää työturvallisuudessa elämyksellisenä menetelmänä vaikka hyödyntäisi vain positiivista vahvistusoppimista ja jättäisi negatiivisen ”pelottelun” pois koulutusmateriaalista.



Kuva 14. Kuvakaappaus uudelle laitteistolle siirretystä liikumisturvallisuusharjoituksesta, jossa ympäristö muutettiin yölliseksi. Käsikirjoitus pidettiin samana.

On myös viimeaikaisia tutkimuksia, joissa saadut tulokset eivät tue MoSaC-tutkimuksessa saatuja tuloksia: Makransky ym. (2019) tutkivat kemiantehtävien oppimista tietokoneen näytöltä ja vastaavan VR-toteutuksen välillä. Tutkimuksen tuloksena laboratoriotyöskentelyyn liittyviä sisältöasioita opittiin paremmin työpöytäympäristössä, vaikka oppijat kokivat VR:n kiinnostavammaksi ja innostavammaksi. Tutkimuksessa todettiin kuitenkin, että oppimistuloksia VR:ssä saattaa haitata hankala interaktio VR-ympäristön kanssa sekä se, että harjoitukset oli siirretty ympäristöön suoraan työpöytäharjoituksista, eikä niitä oltu muokattu toimimaan VR:n ehdoilla. MoSaC-tutkimuksen VR-ympäristössä päädyttiin esittämään annettu informaatio sekä tekstinä että puhuttuna äänenä, mutta esitystavasta ei tehty vertailua. Makranskyn tutkimuksessa vertailtiin myös tekstimuotoisen sekä tekstimuotoisen ja kertojanäänien yhdistelmää esitystapana sekä VR- että työpöytäharjoituksessa. Vaikka kertojanäänien lisäämisellä tekstin rinnalle ei voitu osoittaa olevan hyötyä oppimisen kannalta, eri koehenkilöt kertoivat suosineensa esitystapoja vaihtelevasti. Leder ym. (2019) puolestaan havaitsivat, että jos videokoulutus on riittävän hyvä, sillä voi saavuttaa lähes yhtä hyviä tuloksia kuin VR-koulutuksellakin, ainakin, jos on kyse riskienhavainnointikyvystä, päätöksenteosta ja oppimistuloksista. Lederin ym. (2019) tutkimuksessa VR-toteutus oli passiivinen animaatio, eikä se hyödyntänyt oppijan liikettä tai vuorovaikutusta muuten kuin näkökulmaa päivittämällä.

## 5.2 HF-koulutuksen vaikutukset näkyivät vain haastatteluaineistossa

HF-koulutukseen osallistuneiden ja osallistumattomien tutkittavien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa työturvallisuuteen kohdistuvassa pystyvyyden tunteessa, työturvallisuuteen liittyvissä hyötyuskomuksissa tai turvallisuustietoudessa. Tämän taustalla saattaa olla useita tekijöitä. Rajallisen otoskoon vuoksi tilastollisesti merkitsevää eroa ryhmien välillä ei välttämättä saatu näkyviin. Teperi ym. (2015) ovat havainneet HF-koulutuksen positiivisia vaikutuksia kohdistuessaan koulutuksen sekä johto- että työntekijätasolle toisin kuin tässä tutkimuksessa, missä kohdejoukkona olivat työntekijät. Pelkän työntekijätason kouluttaminen on saattanut aiheuttaa osallistujille kokemuksia kykenemättömyydestä ja voimattomuudesta vaikuttaa eri tason tekijöihin ilman ylempien organisaatiotasojen tukea tai ymmärrystä. Aiemmissä tutkimuksissa (Teperi ym., 2018b; Teperi ym., 2017b; Teperi ym., 2015) toteutetut HF-koulutukset olivat huomattavasti laajempia kuin MoSaC-tutkimuksessa toteutettu koulutus sisältäen yhden tai useamman koulutus- ja/tai työpajapäivän. MoSaC-tutkimuksen HF-koulutus kesti vain noin 1,5 tuntia, joten on mahdollista, että tarvittaisiin laajempi HF-koulutus nyt tutkittujen vaikutusten tunnistamiseen. Vaikka tässä tutkimuksessa ei tunnistettu tilastollisesti merkitseviä eroja tulosuunnittajissa HF-koulutukseen ja vertailuryhmään osallistuneiden tutkittavien välillä, laadullinen haastatteluaineisto kuitenkin osoittaa joitakin positiivisia vaikutuksia. Tutkittavat kokivat erityisesti, että HF-koulutus lisäsi työturvallisuuteen vaikuttavien ja tapaturmien taustalla olevien tekijöiden syvällistä huomioon ottamista. Vastaavia havaintoja on saatu lennonvarmistuksessa (Teperi ym., 2015) sekä ydinvoimassa (Teperi ym., 2017b).

## 5.3 Tutkimuksen rajoitteet

Tutkimuksessa tunnistettiin joitakin rajoitteita. Ensinnäkin, koska käsitystä oman toiminnan tärkeydestä tapaturmien välttämiseksi on vaikea mitata luotettavasti, koulutusten vaikutuksia voidaan pitää vain suuntaa antavina. On myös tärkeää huomata, että tutkittavien lähtötaso turvallisuuskyvykydessä oli melko korkea. Tämä oli todennäköinen syy siihen, että havaitut vaikutuskoot olivat suurimmalta osin pieniä. Kuitenkin pienetkin intervention vaikutukset voivat näkyä merkittävinä seurauksina turvallisuudessa. Tätä kuvaa haastatteluaineisto, jossa näkyy esimerkkejä toimista työpaikoilla koulutuksen jälkeen. Haastateltavat kertoivat esimerkiksi alkaneensa koulutuksen jälkeen kiinnittämään entistä enemmän huomiota järjestyksen ja siisteyden ylläpitoon työpaikalla ja esimerkiksi lähettäneet työvälineen korjattavaksi. Tuloksia tulkitessa on hyvä myös huomata, että tutkimuksessa virtuaalikoulutuksen vertailukoulutuksena käytettiin luennoitsijakeskeistä "luokkahuonekoulutusta". Tämän katsottiin kuitenkin olevan perusteltu vertailukoulutus, koska turvallisuuskoulutus työpaikoilla perustuu usein passiiviseen lähestymistapaan

(Burke ym., 2006). Lisäksi itsearvioidut turvallisuussuoriutumisen toimet tulee tulkita suuntaa-antavina, eikä varmoina käyttäytymisseurauksina. Tutkimuksen otoskoko oli myös melko pieni, mikä on saattanut osaltaan vaikuttaa tuloksiin.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET

Työturvallisuuskoulutus on parhaimmillaan oppimispolku, jossa eri toteutustavoilla ja sisältöillä varmistetaan sekä yksilön että työyhteisön riittävä työturvallisuusosaaminen, joka näkyy työpaikan hyvänä työturvallisuustasona. Eri oppimistekniikat tukevat erilaisia oppijoita ja lisäävät oppijoiden mielenkiintoa oppimistilannetta ja sisältöä kohtaan.

### 6.1 Johtopäätökset

VR-oppimisympäristö muuttaa työturvallisuuskoulutukset passiivisesta tarkkailusta yksilölliseksi, osallistavaksi ja aktivoivaksi toiminnaksi. Erityisesti täysin uusien tai turvallisuuden kannalta keskeisten työtilanteiden kohtaaminen ja toiminnallinen harjoittelu on sekä mielekästä, vaikuttavaa että turvallista kokemuksellisessa VR-oppimisympäristössä.

MoSaC-tutkimushankkeen aikana kehitetty VR-oppimisalusta on osoittautunut hyödylliseksi ja toimivaksi työturvallisuuden aktivoivaan harjoitteluun. Virtuaalidellisuuden tarjoamia keinoja voidaan hyödyntää luentokoulutusten ja muiden opetusmenetelmien rinnalla tai tilalla, mutta vielä ei ole tietoa siitä, miten VR-oppimisympäristössä pystytään korvaamaan esimerkiksi ryhmässä tapahtuvaa vuorovaikutteista oppimista.

Onnistuneen VR-koulutuksen toteuttaminen vaatii toimivien VR-ympäristöjen kehittämistä sekä luotettavuutta käytettävältä teknologialta. Ohjelmistoteknisesti onnistuneesti kehitetty VR-alusta ei pysty estämään mahdollisia teknologian ongelmia, jotka saattavat nousta esiin koulutustilanteissa, esimerkiksi VR-lasien sijainnin seurannan tai langattomien yhteyksien suhteen. Onnistunut alustasuunnittelu kuitenkin mahdollistaa helposti lähestyttävän ja kiehtovan ympäristön luomisen. Toimiva VR-koulutus on monen tekijän summa, joka vaatii teknologian lisäksi vahvaa panostamista itse toteutettavaan ohjelmistotuotteeseen, eli VR-alustaan ja koulutussisällön sovittamiseen virtuaaliseen ympäristöön. Kun teknologian kehityksen myötä laitteisto-ongelmat saadaan minimoitua ja ohjelmistoalusta pidetään laadukkaana, voidaan jatkossa tarjota entistä luotettavampia kokonaisratkaisuja.

Tutkimuksen toisen intervention eli HF-koulutuksen valittu toteutustapa ei tulosten perusteella vaikuta riittävältä selkeiden myönteisten vaikutusten saamiseksi. Näyttää siltä, että aiemmissa tutkimuksissa havaittujen positiivisten vaikutusten saamiseksi tarvitaan laajempaa eri organisaatiotasolle kohdennettua lähestymistapaa. Tällöin voidaan vahvistaa ja tukea työntekijätason oppimista ja välttää kokemuksia kykenemättömyydestä ja voimattomuudesta vaikuttaa eri tason tekijöihin ilman ylempien organisaatiotasojen tukea tai ymmärrystä. Tämän vuoksi HF-interventioissa on tärkeää, että toimenpiteitä

kohdennetaan kaikille organisaatiotasolle ja luodaan tukea ja edellytyksiä uuden osaamisen hyödyntämiselle käytännössä.

## 6.2 Suositukset ja jatkotutkimustarpeet

Jatkotutkimuskysymyksiksi nousee useita aiheita. Miten nykyisten työturvallisuuskoulutusmenetelmien ja VR-oppimisympäristön parhaat puolet yhdistetään oppimispolulla? Mikä tekee VR-harjoituksista toimivia ja mitkä ratkaisut tukevat työturvallisuusoppimista? Miten VR-oppimisympäristö toimisi osana ryhmäoppimista tai työnopastusta? Miten VR-oppimisympäristöä voidaan hyödyntää täysipainotteisesti? Mitä asioita on vältettävä ja missä VR-oppimisympäristö ei toimi?

Jatkotutkimuksilla tulisi selvittää virtuaalisen oppimiskokemuksen erityisominaisuuksien (mm. läsnäolon ja käytettävyyden) välisiä yhteyksiä ja merkityksiä onnistuneelle, arvoa tuottavalle VR-koulutukselle. Tutkimuskohteena voisi olla, millainen on tehokas VR-koulutuksen rakenne. Tulevien tutkimusten avulla voitaisiin arvioida mahdollisten teknisten kysymysten vaikutusta oppimistuloksiin, samoin kuin sitä millainen virtuaaliympäristö tuo esiin parhaat oppimistulokset. Sisällöllisesti olisi tutkittava mitä kannattaa harjoitella virtuaaliympäristössä ja miten oppijan ominaisuudet (mm. ikä ja kokemus) vaikuttavat oppimistuloksiin. Lisäksi jatkotutkimusta tarvitaan siitä, miten vuorovaikutteinen ryhmäoppiminen voidaan toteuttaa VR-oppimisympäristössä.

VR-koulutukset edellyttävät asiakasyrityksiltä käyttöön soveltuvan laitteiston lisäksi ohjelmiston, joka sisältää varsinaisen VR-ympäristön opetussisältöineen. Hankkeen sisältöjä vastaavien uusien VR-sisältöjen laadukas toteuttaminen vaatii niitä tuottavalta taholta substanssiaihepiirin perehtyneisyyden lisäksi teknistä ja käyttökokemusosaamista.

Työterveyslaitos on hankkeen kannustamana kehittänyt laajaan VR-oppimiseen soveltuvan ja hankkeessa opittuja periaatteita seuraavan Virtuario™-oppimisalustan. Ketterän prosessin avulla Työterveyslaitos pystyy tarjoamaan Virtuario™-alustan päälle toteuttamaan VR-sisältöjä eri yritysten tarpeisiin. Alustan käyttöönottavat ja omiin tarpeisiinsa tehdyistä VR-sisällöistä kiinnostuneet yritykset voivat osallistua suunnitteluun tarjoamalla omaa substanssiosaamistaan, mutta varsinainen toteutus jää Työterveyslaitoksen Virtuario™-tiimin vastuulle. Luotua valmista alustaratkaisua hyödyntämällä nämä uudet sisällöt pystytään suunnittelemaan ja toteuttamaan nopeallakin aikataululla muutamassa viikossa osaksi yhteistä palvelun sisältökirjastoa. Lisätietoa Virtuario™-palvelusta on saatavilla osoitteessa [www.ttl.fi/virtuario](http://www.ttl.fi/virtuario).

Inhimillisiin tekijöihin liittyväksi jatkotutkimustarpeeksi tunnistettiin tutkia kokonaisvaltaisen lähestymistavan vaikutuksia turvallisuustoimintaan ja -tasoon. Tällöin ei keskitytä pelkästään yksittäisten työntekijöiden oppimiseen, vaan luodaan HF-ajattelun mukaisia toiminta- ja johtamiskäytäntöjä, jotka vahvistavat HF-oppimista. Aiempien tutkimustulosten



mukaan HF-kehittämisellä on mahdollista saavuttaa positiivisia vaikutuksia, kun HF-koulutus kohdistuu organisaatiossa sekä työntekijä-, asiantuntija-, esimies- että johtotasolle. Tällöin saavutetaan yhteinen ymmärrys inhimillisten tekijöiden vaikutustekijöistä organisaation työturvallisuuteen sekä mm. ymmärrys organisaation käytännössä tarvittavista muutostarpeista. Tulevissa tutkimuksissa tulisi myös tutkia miten HF-koulutus vaikuttaa osallistujien käsityksiin työtapaturmien syy-yhteyksistä, syventää näiden tekijöiden huomioimista ja laajentaa kokonaisymmärrystä. Lisäksi olisi tärkeää ymmärtää, kuinka HF-koulutuksen tarjoama laajempi turvallisuustieto voidaan muuntaa paremmiksi turvallisuuskäytännöiksi henkilökohtaisella, ryhmä- ja organisaatiotasolla. Rakennusalalla kaivataan työturvallisuustyöhön inhimillisten tekijöiden näkökulmasta myös käytännön työkaluja mm. riskien havainnointiin ja arviointiin sekä vaaratilanteiden ja tapaturmien tutkintaan.

## LÄHTEET

- Alhalabi, W. 2016. Virtual reality systems enhance students' achievements in engineering education. *Behaviour & Information Technology*. Vol. 35:11. S. 919–925.
- Bandura, A. 1997. *Self-Efficacy. The Exercise of Control*. W.H. Freeman and company, NY.
- Bhandari, S., Hallowell, M. & Van Boven, L. 2019. Using augmented virtuality to examine how emotions influence construction-hazard identification, risk assessment, and safety decisions. *Journal of construction engineering and management*.
- Brahm, F. & Singer, M. 2013. Is more engaging safety training always better in reducing accidents? Evidence of self-selection from Chilean panel data. *Journal of Safety Research*. Vol. 47, S. 85–92.
- Burke, J., Sarpy, A., & Smith-Crowe, K. 2006. Relative effectiveness of worker safety and health training methods. *American Journal of Public Health*. Vol. 96:2. S. 315–324.
- Cakiroglu, Ü. & Gökoglu, S. 2019. Development of fire safety behavioral skills via virtual reality. *Computers & Education*. Vol. 133. S. 56–68.
- Cipresso, P., Giglioli, I., Raya, M. & Riva, G. 2018. The past, present and future of virtual and augmented reality research: a network and cluster analysis of the literature. *Frontiers in psychology*. Vol. 9:2086.
- Curcuruto, M., Mearns, K & Mariani, M. 2016. Proactive role-orientation toward workplace safety: psychological dimensions, nomological network and external validity. *Safety Science*. Vol. 87. S. 144–155.
- Dekker, S. W. A. 2002. Reconstructing the human contribution to accidents: The new view of human error and performance. *Journal of Safety Research*. Vol. 33:3. S. 371–385.
- Eurostat. 2020. Health and safety at work. [Viitattu 6.5.2020]. Saatavilla: [https://ec.europa.eu/eurostat/data/database?node\\_code=hsw\\_n2\\_02](https://ec.europa.eu/eurostat/data/database?node_code=hsw_n2_02)
- Ford, M. T., & Tetrick, L. E. 2008. Safety motivation and human resource management in North America. *The International Journal of Human Resource Management*. Vol. 19:8. S. 1472–1485.
- Geertshuis, S., Holmes M. & Geertshuis, H. 2002. Evaluation of workplace learning. *Journal of Workplace Learning*. Vol. 14:1. S. 11–18.
- Grabowski, A. & Jankowski, J. 2015. Virtual Reality-based pilot training for underground coal miners. *Safety Science*. Vol. 72. S. 310–314.

- Grau, R., Martinez, I-M., & Agut, S. 2002. Safety attitudes and their relationship to safety training and generalised self-efficacy. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. Vol. 8:1. S. 23–35.
- Gurusamy, K. S., Aggarwal, R., Palanivelu, L., & Davidson, B. R. 2009. Virtual reality training for surgical trainees in laparoscopic surgery. *Cochrane database of systematic reviews* 1(1).
- Hale, A. R. & Hovden, J. 1998. Management and culture: the third age of safety. A review of approaches to organizational aspects of safety, health and environment. In: Feyer, A., Williamson, A. (Eds.), *Occupational Injury: Risk, Prevention and Intervention*. London: Taylor & Francis. S. 129–265.
- Hollnagel, E. 2009a. ETTO-principle, efficiency-thoroughness trade-off. Why things that go right sometimes go wrong. Ashgate Publishing Ltd.
- Hollnagel, E. 2009b. A resilience engineering approach to evaluate the human contribution to system safety. Report and project overview. Eurocontrol Safety Team 34, Brussels, March 2009, DFS, Eurocontrol, MinesParis.
- Hollnagel, E. 2014. Is safety a subject for science? *Safety Science*. Vol. 67. S. 21–24.
- Hollnagel, E., Leonhardt, J. Licu, T. & Shorrock, S. 2013. From Safety-I to Safety-II: A White Paper. Brussels, Belgium: EUROCONTROL. [Viitattu 19.5.2020]. Saatavilla: <http://skybrary.aero/bookshelf/books/2437.pdf>
- Hollnagel, E., Woods, D.D. & Leveson, N. 2006. *Resilience engineering: Concepts and precepts*. Hampshire, UK, Ashgate Publishing Ltd.
- Hollnagel E., Woods D & Leveson N. 2012. *Resilience Engineering: Concepts and Precepts*. E-book.
- Kiefer, M. & Trumpp, N. M. 2012. Embodiment theory and education: The foundations of cognition in perception and action. *Trends in Neuroscience and Education*. Vol: 1:1. S. 15–20.
- Kirwan, B. 2003. An overview of a nuclear processing plant Human Factors programme. *Applied Ergonomics*. Vol 34:5. S. 441–452.
- Kiviniemi, M., Sulankivi, K., Kähkönen, K., Mäkelä, T. & Merivirta, M-L. 2011. BIM-based Safety Management and Communication for Building Construction. VTT Tiedotteita - Research Notes, Vuosikerta. 2597, VTT, Espoo.
- Laitinen, H., Marjamäki, M. & Päivärinta, K. 1999. The validity of the TR safety observation method on building construction. *Accident Analyses and Prevention*. Vol. 31:5. S. 463–472.

- Lawson, G., Shaw, E., Roper, T., Nilsson, T., Bajorunaite, L., & Batool, A. 2019. Immersive virtual worlds: Multi-sensory virtual environments for health and safety training. Research report. IOSH.
- Leder, J., Hortlitz, T. & Puschmann, P. 2019. Comparing immersive virtual reality and powerpoint as methods for delivering safety training: Impacts on risk perception, learning, and decision making. *Safety Science*. Vol. 111. S. 271–286.
- Li, X., Yi, W., Chi, H-L., Wang, X. & Chan, A. 2018. A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety. *Automation in Construction*. Vol. 86 (July 2016). S. 150–162.
- Liang, Z., Zhou, K. & Gao, K. 2019. Development of virtual reality serious game for underground rock-related hazards safety training. *IEEE Access*. Vol. 7.
- Lu X. & Davis S. 2016. How sounds influence user safety decisions in a virtual construction simulator. *Safety Science*. Vol 86. S. 184–194.
- Lucas J. & Thabet W. 2008. Implementation and evaluation of a VR task-based training tool for conveyor belt safety training. *Journal of Information Technology in Construction*. Vol. 13. S. 637–659.
- Makransky, G., Terkildsen, T. S., & Mayer, R. E. 2019. Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning. *Learning and Instruction*. Vol. 60. S. 225–236.
- Mazaheri, M., Hidarnia, A., & Ghofranipour, G. 2012. Safety education and control: A tool to measure the safety locus of control. *Journal of Education and Health promotion*. Vol. 1:21.
- Moore, F. & Gheisari, M. 2019. A review of virtual and mixed reality applications in construction safety literature. *Safety 2019*. Vol. 5:51.
- Mäkelä, T., & Jaakkonen, L. 2008. Työturvallisuus osana rakentajien ammattitaitoa. RAKTU2006. Moniste 1/2008. ISBN 978-952-13-3569-3 (nid.). Opetushallitus. Helsinki.
- Mäkelä, T., Lahtinen, K., Kämäräinen, M., & Roto, P. 2000. Työturvallisuus ja -terveys osaksi rakentajien ammattitaitoa. Loppuraportti. Tampere. Tampereen aluetyöterveyslaitos.
- Neal, A., Griffin, M & Hart, P. 2000. The impact of organizational climate on safety climate and individual behavior. *Safety Science*. Vol 34. S. 99–109.
- Nickel, P. 2016 Extending the Effective Range of Prevention Through Design by OSH Applications in Virtual Reality. In: Nah FH., Tan CH. (eds) HCI in Business, Government,

and Organizations: Information Systems. HCIBGO 2016. Lecture Notes in Computer Science. Vol 9752. Springer, Cham

Nykänen, M., Puro, V., Tiikkaja, M., Kannisto, H., Lantto, E., Simpura F., Uusitalo J., Lukander K., Räsänen T. & Teperi AM. 2019. Evaluation of the efficacy of a virtual reality-based safety training and human factors training method: study protocol for a randomised-controlled trial. *Injury Prevention*.

Nykänen, M., Puro, V., Tiikkaja, M., Kannisto, H., Lantto, E., Simpura, F., Uusitalo, J., Lukander, K., Räsänen, T., Heikkilä, T. & Teperi, AM. 2020. Implementing and evaluating novel safety training methods for construction sector workers: Results of a Randomized Controlled Trial. Manuscript submitted for publication.

Papaleo, B., Cangiano, G. & Calicchia, S. 2013. Occupational safety and health professionals' training in Italy: Qualitative evaluation using T-LAB. *Journal of Workplace Learning*. Vol. 25:4. S. 247–263.

Perlman, A., Sacks, R. & Barak, R. 2014. Hazard recognition and risk perception in construction. *Safety Science*. Vol 64. S. 22–31.

Ranganathan, P., Pramesh CS. & Aggarwal R. (2016). Common pitfalls in statistical analysis: Intention-to-treat versus per-protocol analysis. *Perspectives in Clinical Research*. Vol. 7:3. S. 144–146.

Rateko. 2020. ePerehdytys. [Viitattu 8.5.2020]. Saatavilla: <https://rateko.fi/koulutus/eperehdytys/>.

Reason, J. 1997. *Managing the Risks of Organizational Accidents*. Aldershot, UK: Ashgate.

Reason, J. 2008. *The human contribution: unsafe acts, accidents and heroic recoveries*. Cornwall, UK: Ashgate.

Reiman, T. & Oedewald, P. 2009. *Evaluating safety critical organizations. Focus on the nuclear industry*. Swedish Radiation Safety Authority, Research Report 2009:12.

Räsänen, T., Reiman, A., Sormunen, E., Airaksinen, O., Väyrynen, S., Anttonen, K. & Kekkonen, P. 2017: *Turvapuistot työturvallisuuskoulutuksen oppimisympäristöinä*. Loppuraportti. Työterveyslaitos. Juvenes Print, Tampere.

Sacks, R., Perlman, A., & Barak, R. 2013. Construction safety training using immersive virtual reality. *Construction Management and Economics*. Vol. 31:9. S. 1005–1017.

Shi, Y., Du, J., Ahn, C. R., & Ragan, E. 2019. Impact assessment of reinforced learning methods on construction workers' fall risk behavior using virtual reality. *Automation in Construction*. Vol. 104. S. 197–214.

Simpura, F. 2019. Flow and automata programming inspired approach to human-readable VR training content logic modeling: View-Unit-Task-Step Unified Training Structure. Master's Thesis.

Slater, M., & Wilbur, S. 1997. A framework for immersive virtual environments (FIVE): Speculations on the role of presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*. Vol. 6:6. S. 603–616.

Sulankivi, K., Mäkelä, T. & Kiviniemi, M. 2009. Tietomalli ja työmaan turvallisuus. Työsuojelurahasto, VTT. Tampere.

Tam, C.M., Zeng, S.X. & Deng, Z.M. 2004. Identifying elements of poor construction safety management in China. *Safety Science*. Vol. 42:7. S. 569–586.

Tapaturmavakuutuskeskus. 2017. Työtapaturmat - tilastovuodet 2005-2015.

Tilastojulkaisu. [Viitattu 19.5.2020]. Saatavilla:

<https://www.tvk.fi/templates/vinha/services/download.aspx?fid=365409&hash=a08f59951ab1f5e1c2a7fbbb1503cb7744ee03d1c25a10c8cbb312b30b85c9f>

Tapaturmavakuutuskeskus. 2019. Työtapaturmat 2009–2018. Tilastojulkaisu. Julkaistu 18.12.2019. [Viitattu 19.5.2020]. Saatavilla: <https://indd.adobe.com/view/baa94c89-d2b1-4fa3-b10c-f421c41208a4>

Tapaturmavakuutuskeskus. 2020a. Työtapaturmatilasto. [Viitattu 3.5.2020].

Tapaturmavakuutuskeskus. 2020b. Työpaikkakuolemat 2019. Tilastojulkaisu. Julkaistu 13.1.2020. [Viitattu 19.5.2020]. Saatavilla: <https://www.tvk.fi/tietopalvelu-ja-julkaisut/tyopaikkakuolemat2/tyopaikkakuolemat-2019/>

Tennant, C., Bookrong, M. & Roberts, P. 2002. The design of a training programme measurement model. *Journal of European Industrial Training*. Vol. 26:5. S. 230–240.

Teperi, AM. 2012. Improving the mastery of human factors in a safety critical ATM organization. *Cognitive Science, Institute of Behavioural Sciences, Faculty of Behavioural Sciences, University of Helsinki, Finland*. Doctoral dissertation.

Teperi, AM., Asikainen I., Ala-Laurinaho T., Valtonen, T. & Paajanen, T. 2018a. Modeling safety criticality in aviation maintenance operations to support mastery of human factors. *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics 791*. S. 331–341.

Teperi, AM., Leppänen, A & Norros, L. 2015. Application of new human factors tool in an air traffic management organization. *Safety Science*. Vol. 73. S. 23–33.

Teperi, AM., Puro V. & Lappalainen J. 2017a. Promoting positive safety culture in the maritime industry by applying the Safety-II perspective. In: Bernatik, A, Kocurkova, L.,

Jørgensen, K., eds. Prevention of accidents at work: proceedings of the 9th International Conference on the prevention of accidents at work 2017 Prague. CRC Press, 2017.

Teperi, AM., Puro V., Tiikkaja M. & Ratilainen H. 2018b. Developing and implementing a human factors (HF) tool to improve safety management in the nuclear industry. Helsinki: Finnish Institute of Occupational Health, 2018.

Teperi, AM., Puro, V & Ratilainen, H. 2017b. Applying a new human factor tool in the nuclear energy industry. *Safety Science*. Vol. 95. S. 125–139.

Tichon, J. & Burgess-Limerick, R. 2011. A review of virtual reality as a medium for safety related training in mining. *Journal of Health & Safety Research & Practice*. Vol. 3:1. S. 33–40.

Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta. 205/2009. [Vitetty 19.5.2020]. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090205>

Wickens, C. D. 2008. Situation awareness: Review of Mica Endsley's 1995 articles on SA theory and measurement. *Human Factors*. Vol 50:3. S. 397–403.

Wilson, JR. 2014. Fundamentals of systems ergonomics/human factors. *Applied Ergonomics*. Vol 45:1. S. 5–13.

Zhipeng, L., Keping, Z., Kaixin, G. 2019. Development of virtual reality serious game for understanding rock-related hazards safety training. *IEEE Access*. Vol. 7.

## LIITE 1. TULOSMUUTTUIJEN KESKIARVOT JA KESKIHAJONNAT

Taulukko 1. Tulosuuttujien keskiarvot ja keskihajonnat interventoryhmittäin (VR-koulutus vs. luentokoulutus).

Tulosmittari	T1		T2		T3	
	Keskiarvo (keskihajonta)		Keskiarvo (keskihajonta)		Keskiarvo (keskihajonta)	
	VR- koulutus (n=59)	Luento- koulutus (n=60)	VR- koulutus (n=56)	Luento- koulutus (n=55)	VR- koulutus (n=51)	Luento- koulutus (n=54)
Pystyvyyden tunne 1: Vaarojen havainnointi ja työturvallisuudesta huolehtiminen	5,93 (0,63)	5,88 (0,59)	6,06 (0,57)	6,03 (0,49)	6,16 (0,59)	6,03 (0,56)
Pystyvyyden tunne 2: Valmius tunnistaa työturvallisuuteen liittyviä asioita	5,75 (0,67)	5,92 (0,69)	6,09 (0,54)	5,94 (0,58)	6,10 (0,58)	5,84 (0,61)
Pystyvyyden tunne 3: Työtehtäväkohtainen turvallisuuspystyvyys	5,74 (1,02)	5,41 (1,17)	5,98 (0,82)	5,78 (0,83)	5,99 (0,84)	5,74 (0,92)
Hyötyuskomus 1: Hyötyuskomukset liittyen työympäristöön, työvälineisiin ja henkilönsuojaimiin liittyviin yksilötason tekoihin	6,51 (0,55)	6,58 (0,54)	6,73 (0,43)	6,67 (0,50)	6,57 (0,53)	6,59 (0,55)
Hyötyuskomus 2: Hyötyuskomukset liittyen koulutukseen ja organisatorisiin käytäntöihin	5,90 (1,03)	5,73 (0,96)	6,10 (0,78)	5,76 (0,87)	6,10 (0,75)	5,81 (0,99)
Hyötyuskomus 3: Hyötyuskomukset liittyen yleiseen työturvallisuuskäyttämiseen	6,64 (0,48)	6,56 (0,54)	6,75 (0,38)	6,70 (0,49)	6,67 (0,40)	6,68 (0,42)



Tulosmittari	T1		T2		T3	
	Keskiarvo (keskihajonta)		Keskiarvo (keskihajonta)		Keskiarvo (keskihajonta)	
	VR- koulutus (n=59)	Luento- koulutus (n=60)	VR- koulutus (n=56)	Luento- koulutus (n=55)	VR- koulutus (n=51)	Luento- koulutus (n=54)
Turvallisuusmotivaatio	6,55 (0,62)	6,63 (0,59)	6,74 (0,49)	6,70 (0,59)	6,75 (0,48)	6,80 (0,31)
Hallinnan tunne 1: Työturvallisuuteen kohdistuva sisäinen hallinnan tunne	6,40 (0,69)	6,47 (0,60)	6,69 (0,54)	6,52 (0,58)	6,41 (0,65)	6,52 (0,62)
Hallinnan tunne 2: Työturvallisuuteen kohdistuva ulkoinen hallinnan tunne	2,12 (1,15)	2,15 (1,06)	1,94 (1,20)	2,01 (1,11)	2,05 (1,23)	2,11 (1,01)
Käsitys omista mahdollisuuksista vaikuttaa työturvallisuuden edistämiseen	6,44 (1,14)	6,49 (0,60)	6,58 (0,90)	6,46 (0,59)	6,57 (0,51)	6,39 (0,57)
Turvallisuustietous	6,18 (4,61)	6,35 (4,04)	8,35 (4,76)	7,12 (3,47)	6,57 (4,06)	7,59 (4,11)
Turvallisuuteen liittyvien menettelytapojen noudattaminen	6,24 (0,74)	6,25 (0,74)	-	-	6,59 (0,44)	6,46 (0,52)
Aloitteellisuus ja aktiivisuus työturvallisuuden edistämiseen	5,22 (1,24)	5,31 (1,20)	-	-	5,84 (0,91)	5,42 (1,12)

## LIITE 2. INTERVENTIOIDEN VAIKUTUKSET TULOSMUUTTUJIIN LYHYELLÄ AIKAVÄLILLÄ

Taulukko 1. Tulokset interventioiden (VR-koulutus vs. luentokoulutus) vaikutuksista tulosuuttujiin lyhyen aikavälin tarkastelussa. Malli: Yleistetty lineaarinen sekamalli GLMM (ikä vakioituna, organisaatio satunnaisvakiona).

Tulosmittari	Estimaatti (keskivirhe)	95 % luottamusväli	p-arvo
Pystyvyyden tunne 1: Vaarojen havainnointi ja työturvallisuudesta huolehtiminen	-0,04 (0,05)	-0,144, 0,056	0,38
Pystyvyyden tunne 2: Valmius tunnistaa työturvallisuuteen liittyviä asioita	0,25 (0,12)	0,002, 0,515	<b>0,04</b>
Pystyvyyden tunne 3: Työtehtäväkohtainen turvallisuuspystyvyys	-0,14 (0,14)	-0,457, 0,161	0,33
Hyötyuskomus 1: Hyötyuskomukset liittyen työympäristöön, työvälineisiin ja henkilönsuojaimiin liittyviin yksilötason tekoihin	0,10 (0,05)	0,010, 0,208	<b>0,03</b>
Hyötyuskomus 2: Hyötyuskomukset liittyen koulutukseen ja organisatorisiin käytäntöihin	0,12 (0,14)	-0,180, 0,431	0,40
Hyötyuskomus 3: Hyötyuskomukset liittyen yleiseen työturvallisuuskäyttämiseen	-0,04 (0,05)	-0,146, 0,061	0,42
Turvallisuusmotivaatio	0,09 (0,04)	0,007, 0,177	<b>0,03</b>
Hallinnan tunne 1: Työturvallisuuteen kohdistuva sisäinen hallinnan tunne	0,21 (0,06)	0,076, 0,346	<b>0,00</b>
Hallinnan tunne 2: Työturvallisuuteen kohdistuva ulkoinen hallinnan tunne	-0,02 (0,26)	-0,553, 0,505	0,92
Käsitys omista mahdollisuuksista vaikuttaa työturvallisuuden edistämiseen	0,16 (0,15)	-0,137, 0,461	0,28
Turvallisuustietous	1,36 (0,59)	0,166, 2,569	<b>0,02</b>

## LIITE 3. INTERVENTIOIDEN VAIKUTUKSET TULOSMUUTTUJIIN PITKÄLLÄ AIKAVÄLILLÄ

Taulukko 1. Tulokset interventioiden (VR-koulutus vs. luentokoulutus) vaikutuksista tulosmuuttujiin pitkän aikavälin tarkastelussa. Malli: Yleistetty lineaarinen sekamalli GLMM (ikä vakioituna, organisaatio satunnaisvakiona).

Tulosmittari	Estimaatti (keskivirhe)	95 % luottamusväli	p- arvo
Pystyvyyden tunne 1: Vaarojen havainnointi ja työturvallisuudesta huolehtiminen	-0,04 (0,06)	-0,084, 0,180	0,47
Pystyvyyden tunne 2: Valmius tunnistaa työturvallisuuteen liittyviä asioita	0,38 (0,13)	0,113, 0,647	<b>0,00</b>
Pystyvyyden tunne 3: Työtehtäväkohtainen turvallisuuspystyvyys	-0,01 (0,16)	-0,246, 0,210	0,87
Hyötyuskomus 1: Hyötyuskomukset liittyen työympäristöön, työvälineisiin ja henkilönsuojaimiin liittyviin yksilötason tekoihin	0,02 (0,09)	-0,174, 0,222	0,81
Hyötyuskomus 2: Hyötyuskomukset liittyen koulutukseen ja organisatorisiin käytäntöihin	0,05 (0,18)	-0,316, 0,422	0,77
Hyötyuskomus 3: Hyötyuskomukset liittyen yleiseen työturvallisuuskäyttäytymiseen	-0,10 (0,08)	-0,281, 0,068	0,22
Turvallisuusmotivaatio	0,01 (0,07)	-0,127, 0,155	0,84
Hallinnan tunne 1: Työturvallisuuteen kohdistuva sisäinen hallinnan tunne	-0,08 (0,10)	-0,297, 0,134	0,45
Hallinnan tunne 2: Työturvallisuuteen kohdistuva ulkoinen hallinnan tunne	-0,02 (0,26)	-0,534, 0,493	0,93
Käsitys omista mahdollisuuksista vaikuttaa työturvallisuuden edistämiseen	0,23 (0,21)	-0,182, 0,654	0,26
Turvallisuustietous	-0,80 (0,56)	-1,934, 0,328	0,16
Turvallisuuteen liittyvien menettelytapojen noudattaminen	0,12 (0,08)	-0,035, 0,287	0,12
Aloitteellisuus ja aktiivisuus työturvallisuuden edistämiseen	0,46 (0,15)	0,165, 0,759	<b>0,00</b>

Teknologian nopea kehitys ja moderni turvallisuusajattelu ovat tuoneet mukanaan uusia mahdollisuuksia myös työturvallisuuskoulutukseen. Virtuaalitodellisuuden (VR) käyttö tekee tuloaan työturvallisuuskoulutuksiin, ja ymmärrys inhimillisten tekijöiden hallinnan merkityksestä työturvallisuudessa ja sen kouluttamisessa kasvaa. Uusien koulutusmenetelmien käyttöönoton tulee perustua tutkittuun tietoon niiden vaikutuksista, joten tässä tutkimuksessa kehitettiin ja tutkittiin VR-oppimisympäristön ja inhimillisten tekijöiden kouluttamisen (HF-koulutus) vaikutuksia työturvallisuusosaamiseen ja -ajatteluun.

Tässä loppuraportissa kuvataan satunnaistetun ja kontrolloidun interventiotutkimuksen toteutus ja tulokset. Tutkimus toteutettiin kahdeksassa suomalaisessa rakennusyrityksessä ja sen tulosaineisto muodostui tutkimuskyselyistä, VR-alustan harjoituksen kulusta keräämästä datasta, koulutusilanteiden havainnoinnista sekä puhelinhaastatteluista. Raportti sisältää interventiotutkimuksen keskeisimmät tulokset sekä johtopäätökset ja suositukset.



Työsuojelurahasto  
Arbetskyddsfonden  
The Finnish Work Environment Fund

Työterveyslaitos  
Arbetshälsoinstitutet  
Finnish Institute of Occupational Health

PL 40, 00032 Työterveyslaitos

[www.ttl.fi](http://www.ttl.fi)

ISBN 978-952-261-929-7 (nid.)

ISBN 978-952-261-930-3 (PDF)

