



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

TUUKKA KANKKUNEN
RAKENNUSTUOTANNON DIGITAALINEN TYÖTURVALLISUUS-
JOHTAMISJÄRJESTELMÄ

Diplomityö

Tarkastaja: professori Arto Saari
tarkastaja ja aihe hyväksytty
9.toukokuuta 2018

TIIVISTELMÄ

TUUKKA KANKKUNEN: Rakennustuotannon digitaalinen työturvallisuusjohtamisjärjestelmä

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 101 sivua, 8 liitesivua

Toukokuu 2018

Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Rakennustuotanto

Tarkastaja: Professori Arto Saari

Avainsanat: digitalisaatio, työturvallisuus, rakennustuotanto

Rakennusala on sekä yksi vaarallisimpia, että vähiten digitalisoituneita toimialoja. Vuosikymmenten aikana useat tieteelliset julkaisut ovat esittäneet työturvallisuusjohtamisen menetelmiä ja periaatteita, joista kuitenkin vain pientä osaa on hyödynnetty täysimittaisesti rakennusalalla. Viime vuosina lukuisat tuoreet tutkimukset ovat keskittyneet erityisesti digitaalisten teknologioiden tuomiin mahdollisuuksiin rakennustyön työturvallisuuden parantamiseksi. Aikaisemmat tutkimukset eivät kuitenkaan ole esittäneet kokonaisvaltaista mallia eri työturvallisuusjohtamissuuntauksien ja digitaalisten teknologioiden yhdistämisestä osaksi rakennusyrityksen tuotantoprosessia ja työturvallisuusjohtamisjärjestelmää.

Tässä tutkimuksessa arvioitiin kirjallisuuskatsaukseen perustuen seitsemää kansainvälistä työturvallisuusjohtamissuuntausta sekä kymmentä työturvallisuuden kannalta potentiaalista digitaalista teknologiaa ja laadittiin konsepti niiden hyödyntämisestä osana työturvallisuusjohtamisjärjestelmää. Kaikkien seitsemän työturvallisuusjohtamissuuntauksen todettiin soveltuvan rakennusalalle, mutta parhaaseen lopputulokseen päästään yhdistelemällä elementtejä jokaisesta. Kaikki kymmenen tunnistettua teknologiaa tuovat merkittäviä mahdollisuuksia työturvallisuuden parantamiselle ja tukevat työturvallisuusjohtamista järjestelmän eri vaiheissa, mutta tuoreina innovaatioina ne omaavat sekä teknologiakohtaisia, että yhteisiä haasteita.

Laadittu nelivaiheinen konsepti noudattaa jatkuvan kehityksen periaatteita ja sen tarkoituksena on parantaa sekä projektilla että koko päätoteuttajaorganisaatiossa tapahtuvaa turvallisuuskommunikointia ja yhteistyötä, lisäämään saatavilla olevan turvallisuustiedon oikea-aikaisuutta, parantamaan työntekijöiden tilannetietoisuutta sekä antamaan uusia työkaluja työturvallisuuden mittaamiseen ja kehittämiseen. Konsepti korostaa työntekijöiden hiljaisen tiedon hyödyntämistä, tavoitteellista turvallisuustoimintaa ja onnistumisista palkitsemista, parhaiden käytäntöjen jakamista sekä turvallisuus- ja innovaatiokulttuurin edistämistä kaikilla organisaation tasoilla.

ABSTRACT

TUUKKA KANKKUNEN: Digital safety management system for construction
Tampere University of Technology
Master of Science Thesis, 101 pages, 8 Appendix pages
May 2018
Master's Degree Programme in Civil Engineering
Major: Construction management and economics
Examiner: Professor Arto Saari

Keywords: digitalization, work safety, construction management

Construction remains as one of the most dangerous and least digitalized industries. Over the past decades numerous scientific papers have proposed methods and principles for safety management, only few of which have been widely implemented in construction. In recent years many studies have also researched the use of digital technologies to aid work safety in construction sites. However, none of previous studies have proposed a holistic model for combining safety management principles and digital technologies as a part of construction process and building contractor's safety management system.

This study took a closer look at seven international trends in safety management and researched ten digital technologies that have potential for work safety improvements. All seven trends in safety management were found to include principles and practises suiting for construction. However, the best results are achieved by combining elements from each. The ten digital technologies were found to hold tremendous possibilities to enhance work safety, but as new innovations they still suffer from both technology based and common challenges. Based on the comparison of the safety management trends and digital technologies, a concept was formed to portray how they could be used to support a safety management system.

The created concept consists of four phases and follows the cycle of continuous improvement. It is designed to aid safety communication and collaboration between stakeholders, improve the availability of timely safety information, improve the situational awareness of construction workers and provide new tools for measuring and development of safety. The concept highlights utilizing workers tacit knowledge, setting clear safety goals, rewarding from success, sharing best practises and promoting safety-innovation culture throughout all organisation levels.

ALKUSANAT

*Come gather 'round people
Wherever you roam
And admit that the waters
Around you have grown
And accept it that soon
You'll be drenched to the bone.
If your time to you
Is worth savin'
Then you better start swimmin'
Or you'll sink like a stone
For the times they are a-changin'.*

-Bob Dylan 1964

Uskon että rakennusala tulee kokemaan tulevina vuosina merkittäviä muutoksia, jotka muuttavat alaa pysyvästi. Haluan kiittää tämän tutkimuksen tilaajayritystä mahdollisuudesta olla vavisuttamassa vanhoja rakenteita ja olla rakentamassa toimialamurroksen keskellä jotain uutta. Haluan myös kiittää kaikkia tämän työn aikana minua auttaneita ja tukeneita henkilöitä.

Järvenpäässä, 17.5.2018

Tuukka Kankkunen

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTOT	2
2.1	Tutkimuskysymykset	2
2.2	Menetelmät ja aineisto	2
2.3	Tehdyt rajaukset	3
3.	TYÖTURVALLISUUSJOHTAMINEN RAKENNUSALALLA.....	4
3.1	Rakennusalan työturvallisuus Suomessa.....	4
3.1.1	Työturvallisuuslainsäädäntö.....	6
3.2	Työturvallisuusjohtamisjärjestelmät	9
3.3	Onnettomuusteoriat	10
3.3.1	Tapahtumasarjoihin perustuvat lineaariset mallit	11
3.3.2	Varhaiset systeemeihin perustuvat mallit	12
3.3.3	Käyttäytymiseen ja inhimilliseen tekijään perustuvat mallit	12
3.3.4	Organisaatioihin perustuvat mallit.....	14
3.3.5	Rakennusosalalle sovelletut mallit	15
3.4	Työturvallisuusstandardit	19
3.5	Työturvallisuusjohtamissuuntauukset ja menetelmät.....	22
3.5.1	Tuotantosuunnitteluun perustuva työturvallisuus	24
3.5.2	Lean-ajatteluun perustuva työturvallisuus	26
3.5.3	Systeemiajatteluun perustuva työturvallisuus	27
3.5.4	Resilienssiin perustuva työturvallisuus	30
3.5.5	Tietojohtamiseen perustuva työturvallisuus.....	32
3.5.6	Käyttäytymiseen perustuva työturvallisuus	36
3.5.7	Kulttuuriin perustuva työturvallisuus.....	39
3.6	Työturvallisuuden mittarit ja indikaattorit	45
3.7	Rakennusalan työturvallisuusjohtamisen yhteenveto	48
4.	DIGITALISAATIO JA TYÖTURVALLISUUS.....	50
4.1	Digitalisaatio ilmiönä	50
4.2	Rakennusalan digitalisoituminen	54
4.3	Digitalisaatio ja työturvallisuus.....	60
4.3.1	Tietomallinnus	60
4.3.2	Virtuaalitodellisuus	62
4.3.3	Laserkeilaus ja fotogrammetria.....	64
4.3.4	Tietokonenäkö.....	65
4.3.5	Langattomat sensorit	67
4.3.6	Reaaliaikaiset paikkatietojärjestelmät.....	69
4.3.7	Mobiiliteknologia ja pilvipalvelut.....	71
4.3.8	Lisätty todellisuus	73
4.3.9	Robotisaatio	75
4.3.10	Big Data ja Analytiikka.....	76

4.4	Digitaalisten teknologioiden yhteenveto	77
5.	RAKENNUSTUOTANNON	DIGITAALINEN
	TYÖTURVALLISUUSJOHTAMISJÄRJESTELMÄ	82
5.1	Konseptin esittely	82
5.1.1	Vaarojen tunnistaminen ja tavoitteiden asettaminen	86
5.1.2	Edellytysten varmistaminen ja toiminnan mittaaminen.....	90
5.1.3	Palaute ja jakaminen	93
5.1.4	Jalkauttaminen ja koulutus.....	96
5.2	Konseptin arviointi.....	97
6.	JOHTOPÄÄTÖKSET	99
	LÄHTEET	102

LYHENTEET JA MERKINNÄT

SE	<i>Systems Engineering</i> , systeemiajatteluun perustuva työturvallisuusjohtamissuuntaus
RE	<i>Resilience Engineering</i> , muuntojoustavuuteen perustuva työturvallisuusjohtamissuuntaus
BBS	<i>Behaviour Based Safety</i> , käyttäytymisteoriaan perustuva työturvallisuusjohtamissuuntaus
BIM	<i>Building Information Model</i> , rakennuksen tuotetietojen kokonaisuus joka kuvataan kolmiulotteisena mallina
VR	<i>Virtual Reality</i> , tietokonesimulaatiolla tuotettu keinotekoinen ympäristö, jonka avulla pyritään tuottamaan henkilölle mahdollisimman todentuntuinen kokemus virtuaalisesta tilasta
AR	<i>Augmented Reality</i> , näkymä jossa tietokoneella tuotettuja graafisia objekteja ja informaatiota tuodaan todelliseen ympäristöön
RTLS	<i>Real-Time Locating Systems</i> , yleisnimitys järjestelmille joiden avulla henkilön tai esineen sijainti voidaan tunnistaa reaaliajassa

1. JOHDANTO

Rakennusala on useilla mittareilla mitattuna yksi vaarallisimmista toimialoista, jolle on tyypillistä, että sattuneiden tapaturmien määrä seuraa suhdanteita. Ala on myös yksi inkrementaalisimpia ja uusien innovaatioiden on todettu muuttavan rakennusalan toimintamalleja hitaasti. Digitalisaatio on yksi yritysmaailman tämän hetken kuumimmista trendeistä, jolla yritykset hakevat kilpailuetua niin liikevaihdon, tuottavuuden kuin markkina-arvonkin kasvattamiseen. Vaikka rakennusala onkin omaksunut jo joitain digitaalisia ratkaisuja, ovat nämä toistaiseksi koskettaneet lähinnä suunnittelua ja yrityksen tukipalveluita kuten laskutusta, markkinointia ja viestintää. Varsinaiset tuotannon prosessit eivät ole vielä digitalisoituneet ja rakennusala näytteleeekin digitalisoitumistilaistoissa toimialojen häntäpäätä.

Sekä rakennusalan työturvallisuus, että digitalisaatio jakavat useita alakohtaisia haasteita, joita ovat muun muassa sidosryhmien ja pienien toimijoiden suuri lukumäärä ja vaihtuvuus, pitkät aliurakointi- ja toimitusketjut, käsityöpainotteisuus sekä muuttuvassa toimintaympäristössä tehtävän rakennustyön haastavat ääriolosuhteet. Toisaalta digitalisaation tuo mukanaan lupauksen parantaa osapuolten välistä kommunikaatiota ja tiedon siirtoa, helpottaa ja poistaa rutiininomaista työtä sekä automatisoida toiminnan mittaamista, poikkeamien tunnistamista ja analysointia. Kaikilla edellä mainituilla tekijöillä on potentiaalia tehostaa työturvallisuusjohtamista ja parantaa rakennustyömaiden turvallisuutta.

Toimialan murroksessa ja uuden ajan edellä on kuitenkin syytä esittää kysymys. Onko rakennusala kuitenkin digitalisoimassa vain vanhoja toimimattomia prosessejaan, vai pitäisikö meidän pyrkiä luomaan uuden aikakauden edellä jotain kokonaan uutta? Jotta digitalisaation tuomia etuja voidaan täysimittaisesti hyödyntää, tulee paitsi käytettävät työkalut, myös rakennusyritysten työturvallisuusjohtamisen toimintatavat päivittää nykyaikaan...

2. TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTOT

2.1 Tutkimuskysymykset

Vuosikymmenten aikana useat tieteelliset julkaisut ovat esittäneet työturvallisuusjohtamisen menetelmiä ja periaatteita, joista kuitenkin vain pientä osaa on hyödynnetty täysimittaisesti rakennusalalla. Viime vuosina lukuisat tuoreet tutkimukset ovat keskittyneet erityisesti digitaalisten teknologioiden tuomiin mahdollisuuksiin rakennustyön työturvallisuuden parantamiseksi. Aikaisemmat tutkimukset eivät kuitenkaan ole esittäneet kokonaisvaltaista mallia eri työturvallisuusjohtamissuuntauksien ja digitaalisten teknologioiden hyödyntämiseen osana rakennusyrittäjän tuotantoprosessia ja työturvallisuusjohtamisjärjestelmää. Tämän diplomityön tarkoituksena on tutkia työturvallisuusjohtamista ja digitalisaatiota sekä tarkemmin kansainvälisten työturvallisuusjohtamissuuntauksien ja digitaalisten teknologioiden soveltuvuutta ensisijaisesti suomalaiselle rakennusalalle. Työn lopputuloksena laaditaan konsepti työturvallisuusjohtamisjärjestelmästä tai sen osasta, jonka avulla rakennusliike voi johtaa työturvallisuutta digitaalisia teknologioita hyödyntäen. Näin ollen työlle voidaan asettaa ainakin seuraavat kolme tutkimuskysymystä:

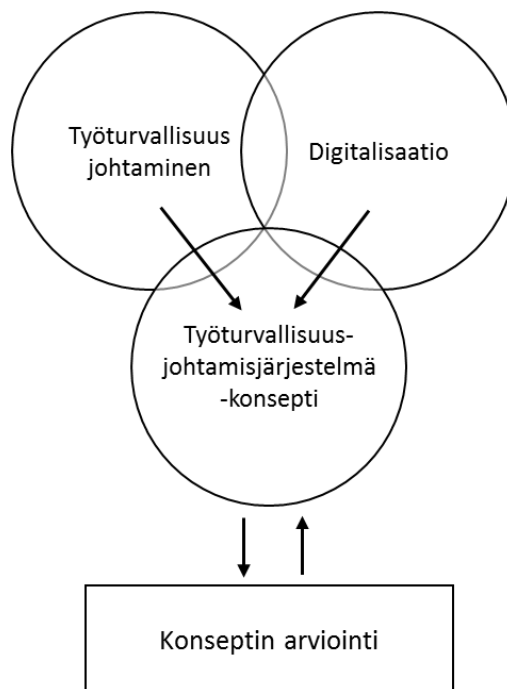
1. *Millaisia työturvallisuusjohtamissuuntauksia on olemassa ja miten ne soveltuvat rakennusalalle?*
2. *Millaisia digitaalisia teknologioita on olemassa ja millaisia mahdollisuuksia ne tuovat työturvallisuusjohtamiseen?*
3. *Miten rakennusyrittäjän työturvallisuutta tulisi johtaa digitaalisia työkaluja hyödyntäen?*

2.2 Menetelmät ja aineisto

Tutkimuksen kulku voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen, jotka ovat kirjallisuustutkimus, konseptin laatiminen sekä konseptin arviointi. Ensimmäisen vaiheen muodostaa kaksiosainen kirjallisuustutkimus, jolla pyritään vastaamaan erityisesti ensimmäiseen ja toiseen tutkimuskysymykseen. Kirjallisuustutkimuksen ensimmäisessä osassa luvussa kolme perehdytään rakennusalan työturvallisuuden nykytilaan, vallitsevaan suomalaiseen lainsäädäntöön, työturvallisuusjärjestelmäteoriaan, onnettomuusteorioihin ja standardeihin sekä tunnistettuihin työturvallisuusjohtamissuuntauksiin. Lopuksi tarkastellaan työturvallisuuden mittaamista. Työturvallisuusjohtamista käsittelevän osuuden pääpaino on kansainvälisissä tieteellisissä lehtiartikkeleissa sekä oppikirjoissa, mutta se sisältää myös ammattikirjallisuutta.

Luvussa neljä perehdytään digitalisaatioon ilmiönä, sekä sen yrityksiin ja toimialoihin synnyttämiin vaikutuksiin. Lisäksi tarkastellaan erityisesti digitalisaation tuomia mahdollisuuksia työturvallisuuden parantamiseen, työturvallisuusjohtamiseen ja työturvallisuuden mittaamiseen. Koska digitalisaation vaikutuksista yritysten toimintaan on olemassa vain vähän tieteellisiä tutkimuksia, hyödynnettiin tässä luvussa tieteellisten artikkeleiden ja opinnäytetöiden lisäksi myös arvostettujen konsulttitalojen laatima julkaisuja. Lisäksi teknologioiden hyödyntämistä havainnollistetaan yritysmaailman case-esimerkein.

Tutkimuksen toisessa vaiheessa kirjallisuustutkimuksen ja tehtyjen vertailujen perusteella laaditaan konsepti työturvallisuusjohtamisjärjestelmästä, jossa hyödynnetään digitaalisia työkaluja. Konsepti pyrkii vastaamaan kolmanteen tutkimuskysymykseen ja se esitetään luvussa 5. Tämän jälkeen konsepti arvioidaan tilaajayrityksessä ja konseptiin tehdään saatujen kommenttien perusteella tarvittavat täydennykset. Tutkimuksen kulku on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Tutkimuksen kulku

2.3 Tehdyt rajaukset

Tämän diplomityön näkökulman rajauksessa on huomioitu työn tilaajayrityksen, pääurakointia harjoittavan rakennusliikkeen tarpeet. Tutkimuksen lopputuloksena syntyvä konsepti on suunniteltu ensisijaisesti soveltumaan suomalaisen rakennustuotannon kontekstiin, mutta kirjoittaja ei näe esteitä sen soveltamiseksi muihin toimintamaihinkin, mikäli paikallinen lainsäädäntö ja käytännöt huomioidaan riittävältä osin. Konseptissa esitettävän järjestelmän auditointiprosessi on rajattu tämän tutkimuksen ulkopuolelle.

3. TYÖTURVALLISUUSJOHTAMINEN RAKENNUSALALLA

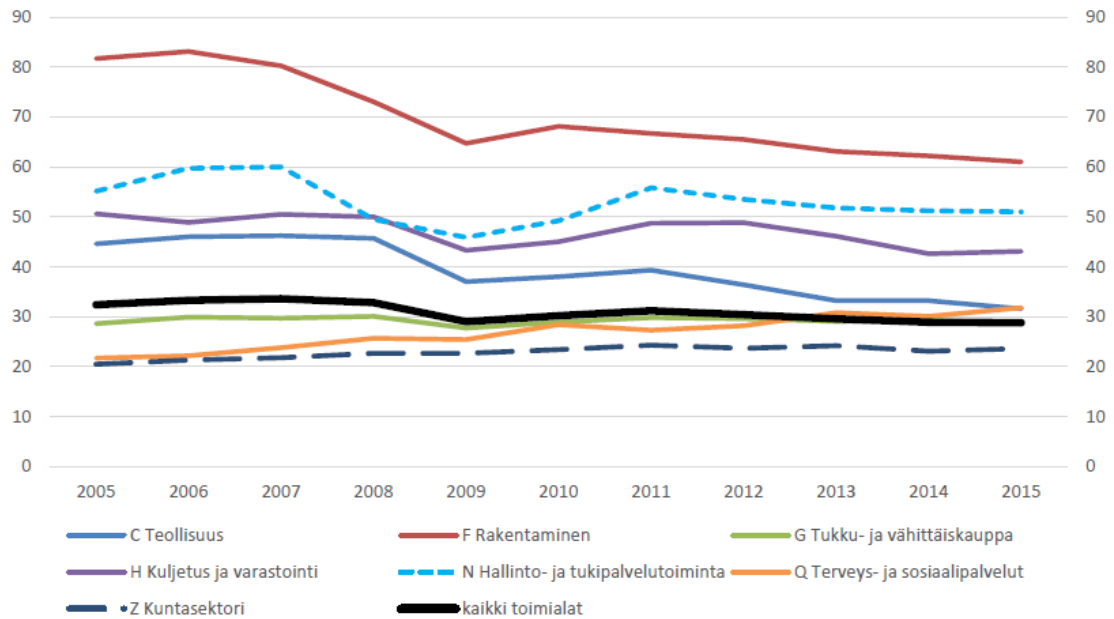
3.1 Rakennusalan työturvallisuus Suomessa

Rakennusala on yksi vaarallisimmista toimialoista niin tapaturmien määrässä kuin vakuudessakin mitattuna. Tapaturmavakuutuskeskuksen tilastojen mukaan rakennusalan tapaturmataajuus oli tilastoon kirjatuista aloista korkein ja Suomessa sattui rakennusallalla vuonna 2015 noin 61,0 tapaturmaa miljoona työtuntia kohden. Vastaavasti muilla korkean riskin aloilla kuten kuljetus ja varastointialalla tapaturmataajuus oli 43,1 ja teollisuudessa 31,6. Suhdanneherkälle rakennusallalle on myös tyypillistä, että tapaturmien määrä on seurannut aloitettuja rakennuskuutioita, mikä selviää hyvin Tapaturmavakuutuskeskuksen vuoden 2015 raportissa esitetystä kuvaajasta, joka on esitetty kuvassa 2. (TVK 2015) (TVK 2017)

Alalla työturvallisuuden eteen tehtyjen ponnistelujen myötä tapaturmataajuus on ollut muiden toimialojen tapaan pitkällä aikavälillä laskussa ja erityisesti vakavien tapaturmien suhde yli neljän päivän poissaoloon johtaneissa tapaturmissa mitattuna on jatkuvasti pienentynyt. Tapaturmataajuudet ja niiden kehitys aloittain on esitetty kuvassa 3. Pitkäjännteisestä työstä huolimatta kuitenkin kaikkein vakavimpien eli kuolemaan johtaneiden tapaturmien määrä ei saatu laskemaan, vaan koko 2000-luvun ajan rakennustyömailla on yhä kuollut keskimäärin noin 5 ihmistä vuodessa. (Veijola 2016) (TVK 2017)



Kuva 2: Tapaturmien määrä suhteessa rakennuskuutioihin (TVK 2015)



Kuva 3: Tapaturmataajuus toimialoittain (TVK 2017)

Miksi rakennusalalla sitten sattuu tapaturmia muita aloja enemmän? Rakennustyö mielletään usein fyysiseksi, liikkuvaksi ja vaaralliseksi työksi. Erityisesti olosuhteiden merkitys korostuu rakentamisessa ja ehkä parhaiten rakennusalan työympäristön haasteita kuvaakin dynaamisuus, sillä rakennustyön edetessä on myös työympäristö jatkuvassa muutoksessa. Rakentamisessa merkittävä osa työskentelystä suoritetaan korkean riskin paikoilla kuten korkealla, liikenteessä, vesistöjen läheisyydessä tai maan alla. Työmenetelmistä ja -tavoista johtuen rakennustyössä altistutaan melulle, pölylle, tärinälle, lämpötilojen ja sääolosuhteiden vaihtelulle sekä haitallisille kemiallisille yhdisteille. Myös huono ergonomia ja työskentely haastavissa, ahtaissa, ja epätasaisissa tiloissa lisäävät tapaturma-alttiutta, heikentävät työkykyä ja aiheuttavat ammattitauteja. Erilaisten käsityökalujen, koneiden, laitteiden ja välineiden määrä on suuri ja rakennustyömaiden logistiikka asettaa haasteita materiaalivirtojen hallinnalle ja turvallisuudelle. (Priha et al. 2009)

Vaativien olosuhteiden lisäksi rakennusalalle on tyypillistä toimijoiden suuri määrä ja vaihtuvuus sekä projektikohtaiset vaihtelut (Li & Poon 2013). Rakennusala on alana suhdanneherkkä ja pääomapainotteinen, minkä vuoksi alalla vallitsee kustannuskeskeinen ajattelutapa. Urakkamuotoinen ja alihankintapainotteinen toimintamalli, jossa urakat pilkotaan useisiin sivu- ja aliorakoihin monimutkaistavat alan organisaatorakenteita ja vaikeuttavat organisaatioiden viestintää sekä vastuunjakoa asettaen aikataulupaineiden kanssa haasteita työturvallisuuden hallinnalle (Rakennusteollisuus 2016). Tapaturmataajuuden onkin havaittu kasvavan aliorakointiketjun pituuden myötä. Ala on sukupuolijakaumaltaan miespainotteinen ja riskien ottaminen on yleistä, jonka voidaan nähdä johtuvan toisaalta alalla vallitsevasta vaaroja vähättelevästä kulttuurista ja toisaalta siitä, ettei riskejä osata tunnistaa (Carter & Smith 2006)

3.1.1 Työturvallisuuslainsäädäntö

Lainsäädännön roolina on perinteisesti nähty asettaa vähimmäisvaatimukset työturvallisuuden hallinnalle. Turvallisuuden parantamiseksi käytössä olevien menetelmien leviämässä onkin ollut menneinä vuosikymmeninä suuressa roolissa lainsäädäntö, jonka merkitys on korostunut pirstaloituneella rakennusallalla. Toisaalta uusien menetelmien ja teknologioiden kehittyessä hitaasti päivittyvä lainsäädäntö voidaan nähdä myös organisaatioiden turvallisuustoimintaa rajoittavana tekijänä (Leveson 2012).

Suomessa työturvallisuutta säätelee työturvallisuuslaki (738/2002) joka on puitelaki, jonka tarkoituksena on parantaa työympäristöä ja työolosuhteita työntekijöiden työkyvyn turvaamiseksi ja ylläpitämiseksi sekä ennaltaehkäistä ja torjua työtapaturmia, ammattitauteja ja muita työstä ja työympäristöstä johtuvia työntekijöiden fyysisen ja henkisen terveyden haittoja.

Koska Euroopan unionin jäsenmaat ovat sitoutuneet sisällyttämään unionin asetukset ja direktiivit omaan lainsäädäntöönsä, ohjaa Suomen työturvallisuuslainsäädäntöä työsuojelun puitedirektiivi (89/391/EY) sekä sen alle lukeutuvat tytärdirektiivit kuten erityisdirektiivi työntekijän terveyttä ja turvallisuutta koskevista vähimmäisvaatimuksista työntekijän suojelemiseksi altistumiselta fyysikaalisista tekijöistä aiheuttaville riskeille (2004/37/EY). Lisäksi tuotteiden turvallisuudesta on asetettu direktiivejä, joista erityisesti rakennusalaan koskevat esimerkiksi direktiivi henkilösuojaimista (89/686/EY), direktiivi koneista (2006/42/EY), sekä direktiivi vaarallisten aineiden luokituksista, pakkaamisesta ja merkinnästä (67/548/EY).

Kansallisella tasolla työturvallisuuslain lisäksi työturvallisuutta säätelevät rakennusalan piirissä muun muassa laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta (390/2005) sekä laki eräistä asbestipurkutyötä koskevista vaatimuksista (684/2015). Lakeja täydentävät ja tarkentavat asetukset, joista rakennusalan kannalta merkittäviksi voidaan mainita esimerkiksi päätös henkilösuojaimista (1406/1993) ja päätös henkilösuojainten valinnasta ja käytöstä työssä (1407/1993), asetus kemiallisista tekijöistä työssä (715/2001), asetus koneiden turvallisuudesta (400/2008) ja asetus työvälineiden turvallisesta käytöstä ja tarkastamisesta (403/2008), sekä erityisesti asetus rakennustyön turvallisuudesta (205/2009).

Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta asettaa vaatimuksia työturvallisuuden ja työterveyden huomioon ottamiseen rakennushankkeessa ja määrittelee hankeorganisaation työturvallisuusroolit ja -vastuut. Asetus sisältää vaatimuksia työolosuhteiden järjestämisestä ja rakennustyömaalla tehtävistä tarkastuksista, sekä asettaa työmaalle niin yleisiä kuin työlaji- ja kalusto ja suojainkohtaisia vaatimuksia. Asetus käydään tässä lyhyesti pääpiirteittäen läpi niiltä osin kuin se koskettaa rakennusyrityksen työturvallisuusjohtamista tapaturmien ehkäisyn näkökulmasta. Osiossa ei paneuduta syvemmin työlajeihin, kalustoon tai suojaimiin kohdistuviin erityisvaatimuksiin.

Osapuolten yleiset velvollisuudet

Rakennushankkeessa on rakennuttajan, suunnittelijan, työnantajan ja itsenäisen työnsuorittajan yhdessä ja kunkin osaltaan huolehdittava siitä, ettei työstä aiheudu vaaraa työmaalla työskenteleville eikä muille työn vaikutuspiirissä oleville henkilöille (205/2009 3 §). Pää toteuttajan, työnantajan ja itsenäisen työnsuorittajan on kunkin osaltaan ja yhteistyössä keskenään huolehdittava turvallisuuteen vaikuttavien tietojen antamisesta ja tiedon kulusta yhteisellä rakennustyömaalla (205/2009 13 §).

Rakennuttaja

Asetus velvoittaa rakennuttajaa nimeämään rakennustyömaalle päätoteuttajan ja nimeämään hankkeeseen turvallisuuskordinaattorin jonka tehtävänä on tehdä yhteistyötä päätoteuttajan kanssa rakentamisen turvallisuutta koskevassa suunnittelussa ja rakennustyön toteutumisessa. Rakennuttajan on laadittava rakentamisen suunnittelua ja valmistelua varten turvallisuusasiakirja joka sisältää selvityksen toteutettavan rakennushankkeen vaara- ja haittatekijöistä. (205/2009 5 §, 8 §)

Rakennuttajan on myös huolehdittava, että rakennushanketta suunniteltaessa ja valmisteltaessa arkkitehtonisessa, rakennusteknisessä ja teknisten järjestelmien suunnittelussa otetaan huomioon rakennustyön toteuttaminen siten, että työ voidaan tehdä turvallisesti ja aiheuttamatta haittaa työntekijöiden terveydelle sekä varmistuttava siitä, että suunnittelijat saavat tähän tarvittavat tiedot. Suunnittelijan velvoitteista on kirjattu tarkemmin työturvallisuuslaissa. (205/2009 7 §)

Rakennuttajan on huolehdittava, että vaarojen ja haittojen ennaltaehkäisy otetaan huomioon rakennushankkeen toteuttamisen järjestelyihin liittyvässä suunnittelussa ja suunniteltaessa töiden ja työvaiheiden ajoitusta, kestoja ja niiden yhteensovittamista sekä laadittava rakennustyön toteutusta varten kirjalliset turvallisuus säännöt. (205/2009 8 §)

Pää toteuttaja

Pää toteuttajan on otettava huomioon rakennuttajan turvallisuusasiakirjan tiedot sekä esitettävä rakennuttajalle turvallisuusasiakirjaan tarpeelliset muutokset työn edistymisen mukaisesti, jotta tarpeelliset turvallisuustoimenpiteet toteutetaan. Pää toteuttajan on tehtävä ennen rakennustöiden aloittamista kirjallisesti työturvallisuutta koskevat suunnitelmat, joiden mukaan työt, työvaiheet ja niiden ajoitus järjestetään mahdollisimman turvallisiksi ja ettei niistä aiheudu vaaraa työmaalla työskenteleville ja muille työn vaikutuspiirissä oleville. (205/2009 10 §)

Pää toteuttajan on riittävän järjestelmällisesti selvitettävä ja tunnistettava työmaan yleisistä työtehtävistä, työolosuhteista ja työympäristöstä, sekä työmaa-alueen järjestelystä, toteutuksesta ja käytöstä aiheutuvat vaara- ja haittatekijät, jotka on poistettava asianmukaisesti. Mikäli vaara- ja haittatekijöitä ei voida poistaa, tulee niiden merkitys työmaalla työskentelevien sekä muiden työn vaikutuspiirissä olevien turvallisuudelle ja terveydelle

arvioida. Lisäksi päätoteuttajan on laadittava työmaa-alueen käytöstä kirjallinen suunnitelma ja huolehdittava työmaa-alueen yleisestä siisteydestä ja järjestyksestä. (205/2009 10 §, 11 §)

Päätoteuttajan on huolehdittava turvallisuuden ja terveyden kannalta tarpeellisesta työmaan yleisjohdosta ja osapuolten välisen yhteistoiminnan ja tiedonkulun järjestämisestä sekä toimintojen yhteensovittamisesta ja määrättävä tähän tehtävään vastuuhenkilö. Päätoteuttajan on varmistuttava, että sillä on tieto työmaalla työskentelevistä työntekijöistä ja itsenäisistä työnsuorittajista ja huolehdittava perehdyttämällä ja opastamalla siitä, että kaikilla yhteisen rakennustyömaan työntekijöillä on riittävät tiedot turvallisesta työskentelystä ja että he tuntevat kyseessä olevan rakennustyömaan vaara- ja haittatekijät sekä niiden poistamiseen tarvittavat toimenpiteet. Päätoteuttajan on jatkuvasti tarkkailtava työpaikalla toimivien työnantajien ja itsenäisten työnsuorittajien toimintoja ja niiden yhteensovittamista, velvoitteiden täytäntöönpanoa, työturvallisuuden tilaa ja työtapojen turvallisuutta, sekä toteutettujen toimenpiteiden vaikutusta työn turvallisuuteen ja terveellisyys-teen sekä toteutettava tarvittavat turvallisuustoimenpiteet. (205/2009 12 §, 13 §)

Työnantaja ja itsenäinen työnsuorittaja

Työnantajan ja itsenäisen työnsuorittajan on noudatettava päätoteuttajan antamia yhteistä rakennustyömaata koskevia turvallisuusohjeita (205/2009 13 §). Työmenetelmät, rakennusmateriaalit ja työvälineet tulee valita siten, että ne ovat rakennustyön työolosuhteisiin turvalliset sekä ergonomisesti tarkoituksenmukaiset. Käytettävien koneiden ja laitteiden melupäästästä tai muista fyysikaalisista haittatekijöistä johtuvat vaarat ja haitat tulee olla mahdollisimman vähäiset. Työnantajan on valittava henkilönsuojaimet työntekijän turvallisuudelle ja terveydelle aiheutuvien vaarojen tunnistamisen ja niiden merkityksen arvioinnin perusteella. Asetuksessa säädetään tarkemmin muun muassa kypärän, suojalasien, turvajalkineiden, polvisuojien ja varoitusvaatetuksen käytöstä. (205/2009 69 §, 70 §, 71 §).

Tarkastukset

Asetus rakennustyön turvallisuudesta määrittelee joukon tarkastuksia, jotka jakaantuvat ennen käyttöönottoa tapahtuviin, päivittäisiin ja viikoittaisiin tarkastuksiin. Tarkastukset tulee tehdä päätoteuttajan työmaalle määräämä vastuuhenkilö tai tämän määräämä henkilö ja lisäksi työmaan työntekijöiden keskuudestaan valitsemalla edustajalla tulee olla mahdollisuus olla niissä mukana. Ennen käyttöönottoa kaikkien koneiden, nostureiden ja muiden nostolaitteiden, nostoapuvälineiden, telineiden, siirrettävien muottien, väliaikaisten tukkien, henkilönsuojainten ja muiden laitteiden rakenne ja kunto tulee todeta rakennustyöhön soveltuvaksi. Lisäksi nostolaitteista, nostoapuvälineistä ja telineistä on määrätty, että niille tehtävästä tarkastuksesta on laadittava pöytäkirja, johon merkitään tarkastukseen osallistuneet, mahdolliset huomautukset, ja milloin esitetyt korjaukset on tehty. Torninos- turin, henkilökuljetukseen käytettävän rakennushissin tai niihin verrattavan nostolaitteen tarkastuksen tulee tehdä pätevä henkilö ja nosturin kuljettajan tulee olla tarkastuksessa

mukana. Lisäksi nosturin tai nostolaitteen käyttäjän on päivittäin sekä tarvittaessa muulloinkin varmistuttava sen turvallisesta toiminnasta ja ajoneuvo- sekä kuormausnosturia käytettäessä on erityisesti tarkastettava perustaminen. (205/2009 15 §, 17 §)

Vähintään kerran viikossa suoritettavassa kunnossapitotarkastuksessa on säädetty tarkastettavan työmaan ja työkohteiden yleisjärjestys, putoamissuojaus, valaistus, rakennustyön aikainen sähköistys, nosturit, henkilönostimet ja muut nostolaitteet, nostoapuvälineet, rakennussahat, telineet, kulkutiet, maan ja kaivantojen sortumavaaran estäminen sekä muut turvallisuuden kannalta merkittävät asiat (205/2009 16 §).

3.2 Työturvallisuusjohtamisjärjestelmät

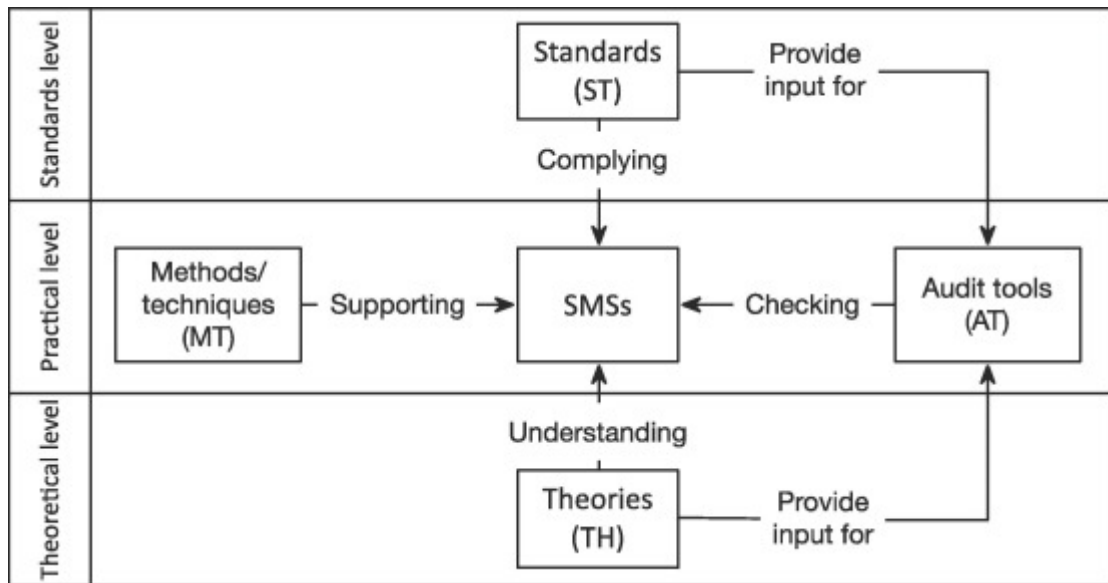
Koska pelkästään lainsäädännön asettamia vaatimuksia noudattamalla ei päästä turvallisuudessa tiettyä pistettä pidemmälle, on yritysten pyrittävä vaikuttamaan turvallisuuteen myös muilla keinoin (Zohar 2000). Työturvallisuusjohtamisen tavoitteena on tunnistaa ja poistaa työoloista ja työympäristöstä johtuvia vaaroja vahinkojen ennaltaehkäisemiseksi ja menetysten minimoimiseksi (Nenonen et al 2009).

Eräs tapa lähestyä työturvallisuutta on pitää onnettomuuksia tuotannon häiriötekijöinä, joiden vaikutukset voidaan jakaa suoriin ja epäsuoriin vaikutuksiin ja edelleen suoriin ja epäsuoriin kuluihin. Suoria kuluja ovat esimerkiksi tapaturmista johtuvat henkilöstön terveydenhuolto- ja palkkakustannukset, työkyvyttömyysmaksut, vahingonkorvaukset, suorat vakuutuskulut ja mahdolliset yritykselle lankeavat sakkorangaistukset. Epäsuoria kustannuksia taas menetetty tuotantoaika, korvaavien resurssien hankintakustannukset, onnettomuudessa syntyneiden materiaalien tappioiden korjaamiskulut sekä kohonneet vakuutusmaksut. Lisäksi onnettomuuksiin liittyy aina vaikutuksia työntekijöiden motivaatioon ja yrityksen brändiin, kuten mielikuvaan työntekijämarkkinoilla ja asiakkaiden suhtautumiseen yritykseen. Onnettomuuksien epäsuorien kustannusten voidaankin nähdä olevan jopa *kymmenkertaiset* suoriin kustannuksiin verrattuna. (OSHA 2017) Turvallinen toiminta onkin yksi jatkuvan liiketoiminnan edellytyksistä ja olennainen osa yrityksen riskienhallintaa ja vastuun kantoa.

Vastuullisella turvallisuustoiminnalla voidaan vaikuttaa positiivisesti edellä mainittuihin tekijöihin. Useat tutkimukset ovatkin havainneet, että panostuksilla työturvallisuuteen on yhteys niin toiminnan tuottavuuteen, laatuun kuin työntekijä- ja asiakastytytyväisyyteen (Maudgalya et al. 2008). Yritysten tulisikin pyrkiä kohti kokonaisturvallisuutta, jolla tarkoitetaan tilaa, jossa toiminnan riskit pyritään tunnistamaan, arvioimaan ja hallitsemaan niin että yrityksen liiketoiminnan jatkuvuus varmistuu kaikissa tilanteissa ja olosuhteissa (Nenonen et al 2009).

Muun muassa Li ja Guldenmund jakavat työturvallisuusjohtamisen kolmeen tasoon, joka koostuu teoreettisesta tasosta, käytännön tasosta ja standarditasosta. Malli on esitetty ku-

vassa 4. Teoreettinen taso koostuu onnettomuusteorioista jotka pyrkivät selittämään onnettomuuksien syntyä. Standarditasolla taas toimivat kansalliset ja kansainväliset standardit jotka alkoivat korvata kansallista säännöstelyä deregulaation myötä 1990-luvulta alkaen. Käytännön tasolla toimivilla työturvallisuusjohtamisjärjestelmillä tarkoitetaan joukkoa niitä toimintatapoja ja menetelmiä, joilla organisaatio pyrkii ylläpitämään ja kehittämään työturvallisuutta. Työturvallisuusjohtamisjärjestelmät perustuvat usein standardeihin mutta ne soveltavat myös teoreettista tietoa, jota tukevat käytännön tasolla toimivat turvallisuusjohtamissuunnaukset ja menetelmät. Lisäksi järjestelmien toimivuutta mitataan ja varmistetaan auditointityökaluin. (Li & Guldenmund 2017) (Firck & Wren 2000).



Kuva 4: Työturvallisuusjohtamisen kolme tasoa (Li & Guldemund 2017)

3.3 Onnettomuusteoriat

Vahinkojen ja tapaturmien syntyperiaatteista on esitetty useita kilpailevia teorioita jotka ovat kehittyneet vuosikymmenten aikana. Ensimmäiset vahinkomallit perustuivat suoriin syy-seuraus-suhteisiin ja keskittyivät välittömien syiden löytämiseen. Onnettomuudet nähtiin johtuvan joko ympäristöstä tai ihmisten sisäänkirjoitetusta tavasta käyttäytyä. Ratkaisuksi esitettiin ympäristön parempaa suojausta ja parempia sääntöjä, rangaistuksia ja työntekijöiden valikointia epämieluisan käyttäytymisen estämiseksi.

Myöhemmät teoriat laajensivat käsitystä onnettomuuteen vaikuttavista tekijöistä ja niiden kehitystä siivittivät harppaukset paitsi onnettomuustutkimuksessa, myös käyttäytymis- ja organisaatiotutkimuksissa. Ne alkoivat korostaa teknisten ominaisuuksien lisäksi myös esi- miestyön sekä inhimillisten tekijöiden merkitystä ja painottivat juurisyyden löytymistä sekä suojausmekanismien rakentamista onnettomuuksien estämiseksi.

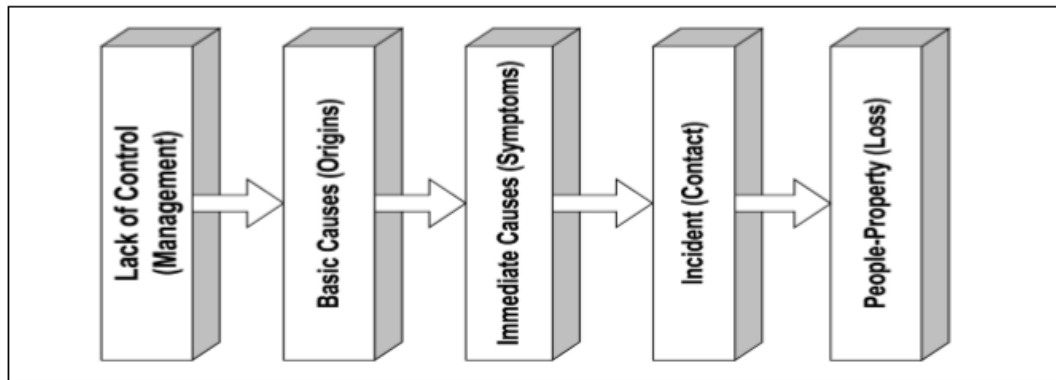
Uusimmat vuosituhanteen vaihteen jälkeen kehitetyt onnettomuusteoriat ovat alkaneet nähdä työpaikan kokonaisvaltaisena ja kompleksisena vuorovaikutukseen perustuvana sosioteknisenä systeeminä. Viime vuosikymmeninä on kehitetty myös rakennusalalle sovellettuja teorioita.

3.3.1 Tapahtumasarjoihin perustuvat lineaariset mallit

Ehkä tunnetuimpana ensimmäisistä teorioista pidetään Heinrichin *Domino*-teoriaa, joka esitti onnettomuuden perättäisten tapahtumien sarjana. Malli koostui viidestä dominosta, joista ensimmäiset kolme esittivät onnettomuuden syitä, neljäs itse onnettomuutta ja viides onnettomuuden seurausta eli tapaturmaa. Heinrich näki onnettomuuden pääsyynä sarjan kolmannen dominon eli työntekijän suorittamat vaaralliset toiminnot, kuten väärät työmenetelmät, sekä vaarallisen työympäristön kuten puutteelliset suojaukset. Pääsyiden taustalla vaikutti sarjan toinen domino, työntekijän henkilökohtaiset ominaisuudet kuten huolimattomuus ja ajattelemattomuus, jotka Heinrichin mukaan lisäsivät työntekijän taipumusta riskinottoon. Nämä tekijät juontuivat edelleen sarjan ensimmäisestä osasta, työntekijän sosiaalisista ympäristöistä ja perinnöllisistä tekijöistä. Heinrich esitti, että yhdenkin dominon kaatuminen aiheuttaa ketjureaktion joka johtaa onnettomuuden syntymiseen. Kuitenkin poistamalla onnettomuutta edeltävä kolmas domino eli vaaralliset toiminnot ja vaarallinen työympäristö, voidaan ketjureaktio välttää. (Heinrich 1931)

Heinrichin teoriaa kritisoitiin siitä, että se oli mallina liian yksinkertaistettu ja painotti työntekijän osuutta liikaa. Heinrichin mallissa onnettomuuden keskiössä olikin juuri työntekijä. Heinrich kuitenkin osoitti vastuun esimiehille, joiden tehtävä oli varmistaa, että työntekijät noudattivat annettuja ohjeita. Näin domino-malli loi pohjan myöhemmin kehitetyille teorioille.

Muun muassa Weaver kyseenalaisti johdon riittävät tiedot ja taidot turvallisuuden johtamiseen, mikäli työntekijä toistuvasti jatkoi epätoivottuja toimintamalleja (Weaver 1971). Samaa työtä jatkoivat edelleen Bird ja Loftus kehittämällä uuden Domino-mallin, joka on esitetty kuvassa 5. Siinä puutteet johtamistaidoissa kuten työntekijöiden koulutuksen laiminlyönti synnyttävät välillisiä syitä, kuten työvoiman kouluttamattomuutta. Välilliset syyt edelleen johtivat välittömiin syihin, kuten väärin toimintatapoihin joiden seurauksena on onnettomuus. Mallissa onnettomuuteen liittyivät aina myös materiaali- ja henkilövahingot. (Bird & Loftus 1976).



Kuva 5: Domino-malli (Bird & Loftus 1976)

3.3.2 Varhaiset systeemeihin perustuvat mallit

Toinen näkökulma lähestyä vahinkoprosesseja oli nähdä onnettomuutta edeltävät tekijät seuraamusketjujen sijaan vuorovaikuttavana systeeminä. Ensimmäisiä systeemipohjaisia vahinkomalleja oli Gordonin epidemiloginen malli, jossa onnettomuuden syntyä verrattiin taudin tarttumiseen potilaaseen. Jotta vahinko voisi tapahtua vaati se kohteen (*host*), välitystavan (*agent*) sekä soveltuvan ympäristön (*environment*). Esimerkiksi putoamis-onnettomuudessa kohde on työntekijä, välitystapa on painovoima ja ympäristö on paikka, jossa on korkeusero. Gordonin mukaan onnettomuus tapahtuu, kun kohde, välitystapa sekä ympäristö pääsevät vuorovaikuttamaan keskenään ja kaikki tekijät ovat näin osasyitä onnettomuuteen. (Gordon 1949)

Houston kehitti systeemipohjaista ajattelua esittämällä *Driving Force* -mallin, joka korvasi Gordonin mallin välitystavan välittävällä voimalla (*driving force*) ja ympäristön laukaisevalla tekijällä (*trigger*). Houston esitti, että onnettomuuden syntyyn vaikutti todennäköisyys, jolla kaikki kolme tekijää olivat yhdessä, välitystavan voimakkuus sekä prosessiin kuluva aika (Houston 1971). Haddon edelleen esitti, että onnettomuuden todennäköisyyttä ja vakavuutta voitiin pienentää, mikäli välittävän voiman siirtyminen kohteeseen voitiin estää tai pienentää synnyttämällä kohteen ja välittävän voiman välille esteitä tai suojausmekanismeja (Haddon 1973).

3.3.3 Käyttäytymiseen ja inhimilliseen tekijään perustuvat mallit

Käyttäytymiseen perustuvat vahinkomallit esittävät, että ihmisten käyttäytymisellä on suurin merkitys onnettomuuksien synnyssä ja ympäristötekijöiden osuus on verrattain pieni. Tätä tukevat myös useat tilastotutkimukset joiden mukaan jopa 80-90% onnettomuuksista johtuu työntekijän vaarallisesta käyttäytymisestä eikä niinkään vaarallisesta työympäristöstä (Heinrich 1931) (Salminen & Tallberg 1990) (Hide et al. 2003). Niinpä

käyttäytymiseen perustuvien vahinkoteorioiden mukaan korjaavat toimet tulisi keskittää juuri väärin käyttäytymismallien poistamiseen sekä oikeiden mallien edistämiseen.

Kerr esitti *Goals Freedom Alertness* -teoriassaan että turvallisuuspuutteet ovat itseasiassa laatu puutteita organisaation toiminnassa, jotka johtuvat psykologisesti epäedullisesta työympäristöstä. Kerrin mukaan psykologisesti miellyttävässä työympäristössä johtamisjärjestelmä kannustaa työntekijöitä tekemään parhaansa, ottamaan osaa päätöksentekoon, asettamaan mielekkäitä tavoitteita ja kehittämään innovaatioita tavoitteiden saavuttamiseksi. Tämä edelleen johtaa aktiivisuuden lisääntymiseen turvallisuusasioissa ja synnyttää turvallisemman työympäristön. (Kerr 1957)

Ferrel näki, että inhimilliset tekijät aiheuttivat onnettomuuksia, ja onnettomuuden taustalla vaikutti useiden inhimillisten syiden tapahtumasarja. Ferrelin mallissa ympäristön aiheuttamat rasitukset kuten valo, melu, pöly ja lämpötila rasittavat työntekijän henkistä kapasiteettia, jonka ylittyessä henkilö kokee paineen, ahdistuneisuuden ja väsymyksen tunteita. Tämä ylikuormittuminen johtaa edelleen väärään toimintatavan valitsemiseen, jonka seurauksena on onnettomuus. Ferrel esitti, että ylikuormittuessaan työntekijä valitsee väärän toimintatavan joko siksi että työntekijä ei tiedä oikeaa toimintatapaa, tai siksi että työntekijä ottaa tietoisesti riskin. (Ferrel 1977)

Wilden *Risk Homeostasis Theory* (RHT) esitti, että jokaisella ihmisellä on henkilökohtainen riskitaso, jonka rajoissa henkilö toimii. Riskitaso muodostuu siitä, miten hyödyllisinä henkilö näkee turvallisen toiminnan ja toisaalta siitä, miten haitallisena hän kokee vaarallisen toiminnan. Riskitason kokemiseen vaikuttavat taloudelliset, kulttuurilliset, sosiaaliset ja henkilökohtaiset tekijät ja siksi riskitaso vaihtelee elämän eri vaiheissa. Wilde esitti, että pelkästään kehittämällä teknisistä ominaisuuksista turvallisempia ei saavuteta muu- tosta riskitasoissa. Työntekijä esimerkiksi saattaa ryhtyä käyttämään uutta turvallisempaa laitetta jopa aiempaa vaarallisemmin, koska hän kokee laitteen riskien olevan pienemmät. Wilden mukaan pelkästään teknisten ratkaisuiden sijaan huomio tulisi kiinnittää siihen, miten työntekijät saadaan esimerkiksi erilaisten koulutusten ja ohjelmien avulla koke- maan tapaturmattomuuden haluttavammaksi ja näkemään vahinkojen seuraukset entistä sietämättömämpinä. (Wilde 1988) Petersen jatkoi Ferrelin teorian kehittämistä ja muo- dosti myöhemmin oman jalostuneemman mallinsa. Toisin kuin Ferrel, Petersen esitti on- nettomuuden johtuvan inhimillisen virheen (*human error*) lisäksi myös järjestelmästä (*system*). Järjestelmä koostui perinteisistä turvallisuusjohtamisen menetelmistä, kuten tar- kastuksista, mittaustavoista, koulutuksesta, vaarojen tunnistamisesta, vastuunjaosta ja lin- jauksista. Inhimillisen virheen Petersen niin ikään näki koostuvan kolmesta osasta: Yli- kuormituksesta (*overload*) joka syntyy, mikäli kuormitus ei vastaa työntekijän henkistä ja fyysistä kapasiteettia tai tilaa jossa hän on esimerkiksi vireyden tai motivaation suh- teen.

- Päätöksestä ottaa riski (*decision to error*), joka voi johtua paineen alla toimimi- sesta, riskin otolle alttiista mielentilasta tai virheellisestä riskien arvioimisesta.

- Ansoista (*traps*) jotka altistavat työntekijää tekemään virheen, kuten poikkeavat ja haastavat työtilanteet, se miten työpaikka on suunniteltu, sekä millainen *turvallisuuskulttuuri* työyhteisössä vallitsee.

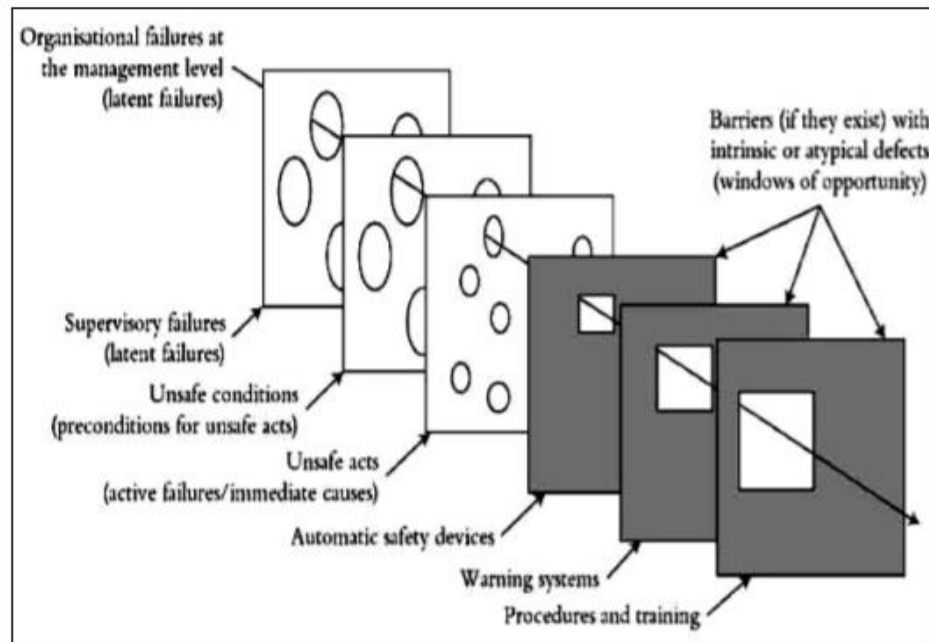
Petersen painotti etenkin turvallisuuskulttuurin merkitystä, sillä hän näki, että kulttuuri oli juuri se tekijä mikä määrittää onnistuuko inhimilliset virheet pysyvästi poistamaan vai ei. (Petersen 2003) Edelleen McSweenin mukaan vaikuttamalla yksittäisen työntekijän turvallisuuskäyttäytymiseen voidaan vaikuttaa muiden työntekijöiden turvallisuus- asenteisiin muun muassa sosiaalisen vertaispaineen kautta. Tämä johtaa edelleen käyttäytymisen ja asenteiden leviämiseen organisaation sisällä, jolloin voidaan alkaa puhua jo turvallisuuskulttuurista. Näin ollen halutessa muuttaa turvallisuuskulttuuria, tulee toimet itseasiassa osoittaa ihmisten käyttäytymiseen. (McSween 2003)

3.3.4 Organisaatioihin perustuvat mallit

James Reasonin kehittämä niin kutsuttu reikäjuusto-malli (*Swiss Cheese Model*) yhdisti useita muiden teorioiden elementtejä kuvaamaan sitä, miten organisaatio toimii estääkseen onnettomuuksien syntymistä. Reasonin mallissa organisaatio pyrkii rakentamaan kahdenlaisia suojausmekanismeja. Niin kutsutut pehmeät suojausmekanismit (*soft defences*) koostuvat lainsäädännön, toimilupien sekä ohjeiden aiheuttamista rajoitteista, sekä valvonnasta ja tarkastuksista. Myös koulutuksen ja viestinnän lisäämisellä tavoiteltu tietoisuuden ja toimintakulttuurin parantuminen lasketaan pehmeiden vaikutustapojen piiriin. Koviin suojausmekanismeihin (*hard defences*) luetaan fyysisen suojat ja esteet, suojavarusteet, sekä laitteisiin ja järjestelmiin rakennetut varoitus- ja turvamekanismit. (Reason 1977). Reasonin malli löytyy kuvasta 6.

Vaikka suojausmekanismeilla pyritään estämään onnettomuuksien tapahtuminen, sisältävät mekanismit kuitenkin aukkoja, joita Reason verta reikäjuuston rei'iksi. Toisaalta Reason näki, että onnettomuuksien syntyyn tarvittiin vielä neljä muutakin elementtiä, joissa kussakin on omat aukkonsa:

1. *Toiminta*. Reason näki onnettomuuteen välittömäksi syyksi työntekijän vaarallisen toiminnan, jota voivat aiheuttaa sääntöjen rikkominen, virheen tekeminen tai näiden yhdistelmä.
2. *Ympäristö*. Ympäristön puutteet ja vaarat mahdollistavat vaarallisen toiminnan syntymisen
3. *Valvonta*. Valvonnan pettäminen mahdollistaa sekä vaarallisen ympäristön että vaarallisen toiminnan
4. *Organisaatio*. Organisaation toimintatavat vaikuttavat valvontaan, ympäristöön ja toimintaan.



Kuva 6: Reikäjuusto-malli (Reason 1977)

Reason jakoi onnettomuuden syyt myöhemmin aktiivisiin ja latentteihin syihin. Aktiiviset syyt johtavat usein välittömiin onnettomuuksiin ja johtuvat yksilön omassa toiminnassa tapahtuneesta poikkeuksesta. Sen sijaan latentit syyt ovat piileviä syitä jotka voivat olla juurtuneet organisaation toimintatapoihin ja rutiineihin aiheuttamatta kuitenkaan onnettomuutta. Reasonin mukaan juuri latentit syyt ovat vaarallisempia, sillä piilevästä luonteesta johtuen niitä ei usein huomata ennen kuin ne aiheuttavat onnettomuuden. Koska latentit syyt koskettavat yleensä suurempaa osaa organisaatiosta ovat seuraukset myös vakavammat. (Reason 1990) Latentit syyt onkin myöhemmin yhdistetty erityisesti suuronnettomuuksien syntyyn.

3.3.5 Rakennusalalle sovelletut mallit

Osa tutkijoista on kyseenalaistanut yleisten vahinkoteorioiden soveltuvuuden dynaamiselle ja kompleksiselle rakennusalalle. Erityisesti suurien rakennusalan yritysten toiminta on nähty niin monipuoliseksi ja suhdanneriippuvaiseksi, että lineaariset ja olosuhteiden muutosta huomioimattomat perinteiset mallit eivät kykene riittävästi kuvaamaan rakennustyömaan lainalaisuuksia. (Rosa et. al. 2015)

Accident Root Causes Tracing Model (ARTCM)

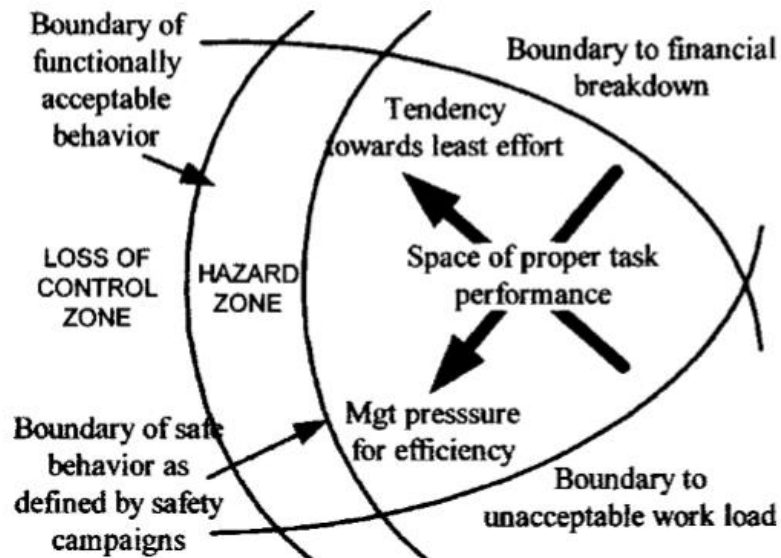
ARTCM yhdisti useita aiemmin esitettyjä malleja, hyödyntämällä muun muassa Heinrichin, Petersenin, Birdin sekä Ferrelin tutkimuksia. Malli painottaa juurisyiden löytymistä, joita se tunnistaa kolme: (Abdelhamid et al. 2000)

1. *Vaaratekijöitä (unsafe condition) ei tunnistettu ennen toimintaa tai toiminnan aikana.* Vaaratekijöillä tarkoitetaan puutteita ympäristössä, laitteissa ja materiaaleissa. ARTCM tunnistaa vaaratekijöiden synnylle neljä syytä, jotka ovat 1) työnjohdon teot, 2) työntekijän itsensä tai toisen työntekijöiden teot ja 3) ihmisestä riippumattomat tekijät kuten sääolosuhteet. Myös 4) syy on tunnistettu ja tämä on teoria siitä, että rakennustyömaa sisältää aina myös sisäsyntyisiä vaaratekijöitä.
2. *Riskien arviointi on pettänyt.* Työntekijän tunnistettua vaaran on hän arvioinut vaaratekijän tuottaman riskin väärin.
3. *Työntekijä suorittaa vaarallisen toiminnan riskien arvioinnista huolimatta.*

Rasmussen's Work Behavior Model

Rasmussen esitti mallissaan, että rakennustyöntekijän työ tapahtuu tapahtumakentässä, jota määrittävät toisaalta esimiehiltä tulevat taloudelliset vaatimukset, toisaalta pyrkimykset henkilökohtaisen työkuorman vähentämiseen. Koska turvalliset toimintatavat aiheuttavat lisätyötä, sekä tuottavuustavoitteet, että halu työskennellä mahdollisimman vähäisellä vaivalla johtaa tilanteeseen, jossa työturvallisuuden ja tuotannon välillä vallitsee jatkuva jännite. Jännitteen myötä työntekijä alkaa välttää turvallisia toimintatapoja ja ajautuu näin kohti vaarallisempaa toimintaa ja riskinottoa, koska tuotannon eteen tehdyistä valinnoista saatu palaute on välittömämpää ja palkitsevampaa. (Rasmussen et al. 1994)

Rasmussenin malli on esitetty kuvassa 7, jossa kolmikentän keskiosa kuvaa turvallisesti oikeaoppista toimintaa. Turvallisuus laskee kentässä vasemmalle päin siirryttäessä, jossa ensin saavutetaan vaarallisen toiminnan kenttä (*Hazard zone*) ja lopuksi kontrollin menettämisen kenttä jossa onnettomuus tapahtuu (*Loss of control zone*). Työntekijän pyrkiessä kohti esimiehen asettamia taloudellisia vaatimuksia hän siirtyy kentässä alaspäin, mutta välttääkseen liian suurta työmäärää alkaakin liikkua vasemmalle. Toisaalta tehdäkseen työnsä mahdollisimman pienellä vaivalla liikkuu työntekijä kentässä ylöspäin, mutta taloudellista saavutustaan parantaakseen ajautuu niin ikään myös vasemmalle. Rasmussenin mukaan toimet turvallisuuden parantamiseksi tulevat olla jatkuvia, jotta ajautuminen vaarallisen toiminnan alueelle voidaan estää. Tämän aikaansaamiseksi rajan ylittyminen pitää saattaa mahdollisimman näkyväksi ja mahdollistaa palaaminen turvallisen toiminnan tasolle. (Rasmussen et al. 1994)



Kuva 7: Work Behaviour Model (Rasmussen 1994)

System Model of Construction Accident Causation

Rasmussenin malliin pohjautuva *Systems model of Construction Accident Causation* on kausaalinen systeemimalli onnettomuuksien synnystä ja ehkäisemisestä rakennustyössä, joka huomioi työturvallisuuden osana tuotantoprosessia. Malli on esitetty kuvassa 8.

Malli lähtee ajatuksesta, että rakennustyömaalla esiintyvät vaaralliset tilanteet (*hazardous situations*) johtuvat toisaalta työn ominaisuuksista kuten käytettävistä materiaaleista, työkaluista ja sijainnista, toisaalta työn ennalta-arvaamattomuudesta, eli siitä että työ ei välttämättä vastaa suunniteltua, suunnittelu on ollut haastavaa tai puutteellista, tai työhön on tullut muutoksia johtuen muista osapuolista. Ennalta-arvaamattomuus lisää vaaratilanteiden lisäksi myös aikatauluongelmia, jotka johtavat lisääntyneisiin tuotantopaineisiin. (Mitropoulos et. al. 2005)

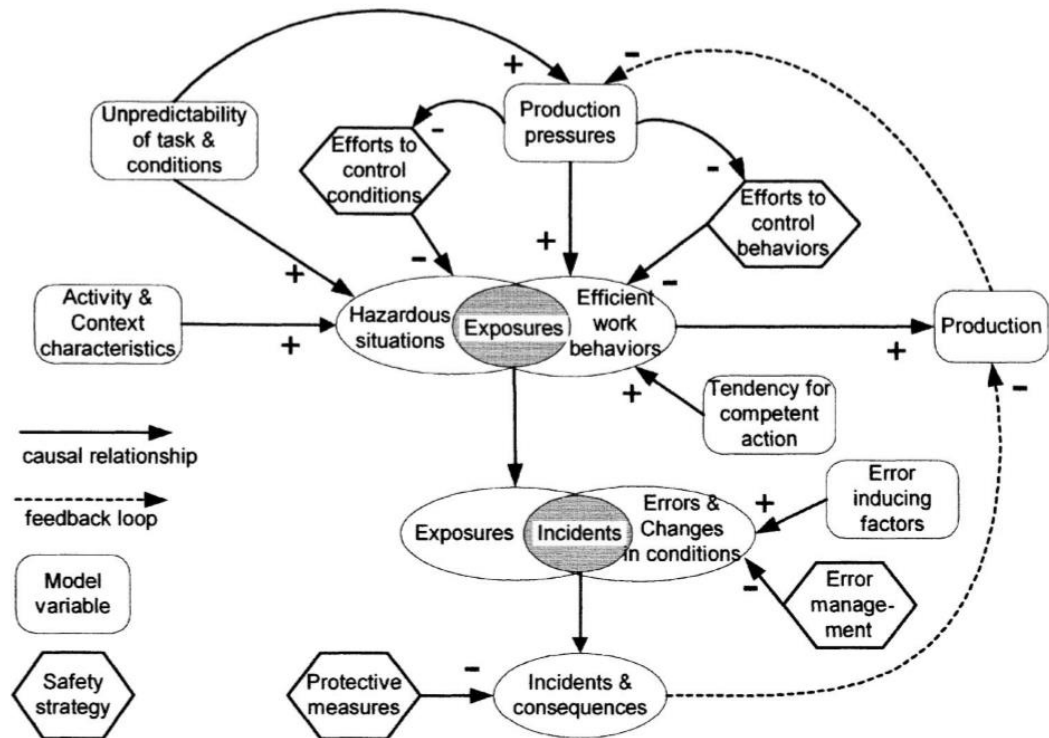
Vaaralliset tilanteet eivät itsessään aiheuta onnettomuuksia, vaan työntekijöiden teot määrittävät, mikäli he altistuvat syntyneille vaaroille. Tuotantopaineet ja halu suoriutua työtehtävistä helpommin ajavat työntekijöitä omaksumaan kätevämpiä ja nopeampia rutiineja (*efficient work behaviors*), minkä voidaan nähdä olevan normaali osa työntekijän ammattiosaamisen kehitystä. Kuitenkin mikäli niihin liittyy turvallisuustoimenpiteiden laiminlyöntiä, työntekijä altistuu riskeille (*exposures*). Työnjohto harvoin puuttuu tallaiseen rutiininomaiseen riskinottoon, koska ne edistävät tuotantoa ja toisaalta vahingot syntyvät vasta, mikäli vaaralle altistuessaan työntekijä tekee virheen tai olosuhteissa tapahtuu äkillinen muutos (*errors & changes in conditions*). Virheiden ja muuttuvien tilanteiden todennäköisyys on riippuvainen työtehtävästä, ympäristöstä sekä työntekijän kyvystä tunnistaa ympäristön riskejä. Vaaratilanne voi olla luonteeltaan myös piilevä, tai toisen työntekijän aiheuttama, jolloin vaaroille altistumista voi olla vaikea tai mahdotonta

ennakoida. Kaikki virheet ja olosuhteiden muutokset eivät kuitenkaan johda onnettomuuteen, vaan niillä ei ole aina seuraamuksia tai ne voidaan ehtiä korjata ennen vaikutuksia. Näin ollen syntyvä vahinko (*incidents*) voi johtaa joko läheltä piti-tilanteeseen, tapaturmaan tai kuolemantapaukseen. (Mitropoulos et. al. 2005)

Onnettomuuksien synnyn estämiseksi malli esittää neljä erilaista turvallisuusstrategiaa. Olosuhteiden hallinnalla (*Safety effort to control conditions*) pyritään poistamaan, vähentämään tai rajoittamaan olosuhteista johtuvia vaaratilanteita. Se lähtee liikkeelle vaarojen tunnistamisesta ja havainnoinnista, jota voidaan edistää koulutuksilla ja erilaisilla tarkastuksilla. Toimintaan vaikuttamisella (*Safety effort to control behaviors*) pyritään edistämään toivottuja turvallisia toimintatapoja koulutuksen, kampanjoiden ja motivoinnin kautta ja toisaalta vähentämään epätoivottua riskinottoa erilaisilla säännöillä ja rajoituksilla, sekä valvonnalla ja ohjeistuksella. Toiminnan vaikutukset voivat kuitenkin jäädä vähäisiksi, sillä rakennustyön dynaamisesta luonteesta johtuen toimintaohjeiden soveltuvuus ja sääntöjen kattavuus jäävät rajalliseksi. (Mitropoulos et. al. 2005)

Virheiden estämisellä (*Error management*) tarkoitetaan paitsi erilaisten varoitusten, ilmoitusten, taulujen, tarrojen ja äänimerkkien käyttöä ilmoittamaan vaarasta, myös menetelmiä joilla voidaan parantaa henkilön kykyä tulla tietoisiksi ympäristöstään, omasta fyysisestä ja psyykkisestä tilastaan, varmistumaan työskentelyn edellytyksistä, sekä reagoimaan hallitusti ympäristön muutoksiin. Virheiden todennäköisyys kasvaa, mikäli työntekijän päätöksentekoprosessiin ei kuulu systemaattinen pysähtyminen ja tilannekaritoitus, vaan päätökset tehdään työnteon aikana perustuen esimerkiksi aikaisempaan kokemukseen. (Mitropoulos et. al. 2005) Lopulta onnettomuuden sattuessa sen vaikutuksia voidaan pyrkiä estämään ennalta suojaavilla toimenpiteillä (*Protective measures*) kuten henkilökohtaisilla suojavarusteilla tai ensiapu- ja hätätilannekoulutuksilla. (Mitropoulos et. al. 2005)

Koska sekä vaaratekijöiden poistaminen, työntekijöiden kouluttaminen, että valvonta vaativat resursointia ja ajankäyttöä, voivat tuotantotekniset, taloudelliset ja aikataululliset syyt johtaa niiden laiminlyönteihin. Siksi onnistunut turvallisuustyö vaatii myös johdolta oikeanlaisia linjauksia ja sitoutumista. (Mitropoulos et. al. 2005)

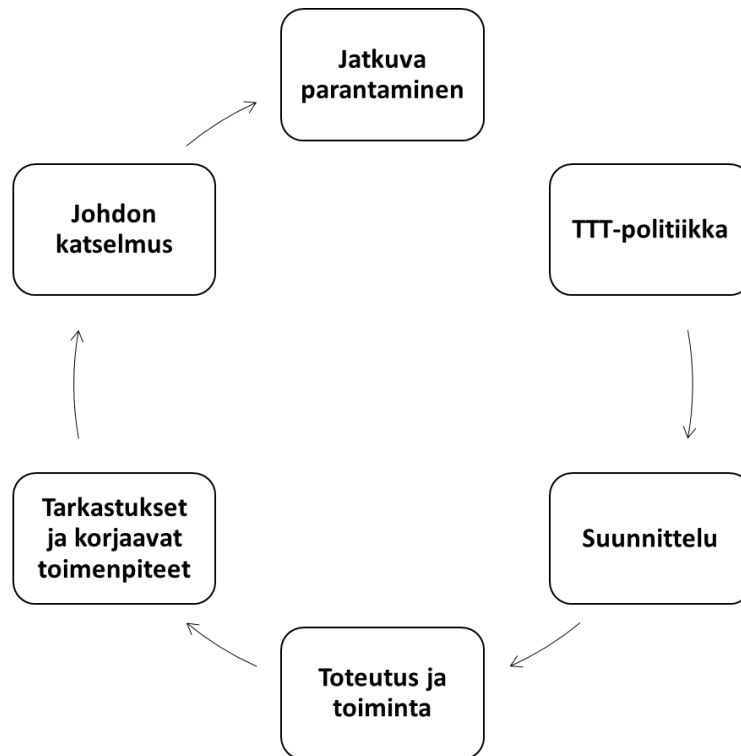


Kuva 8: Systems model of Construction Accident Causation (Mitropoulos et. al. 2005)

3.4 Työturvallisuusstandardit

OHSAS 18001 on kansainvälisen Occupational Health and Safety Assessment Series työryhmän kehittämä sertifikoitu standardi, joka antaa kehyksen työturvallisuuden ja työterveyden johtamisjärjestelmälle. Se julkaistiin ensimmäisen kerran vuonna 1999 yhdessä toteutusohjeita antavan OHSAS 18002 kanssa ja perustui akateemikkojen, terveys ja työturvallisuusjärjestöjen, kansallisten standarditoimistojen ja sertifiointitahojen yhteistyöhön. Iso-Britannia omaksui OHSAS 18001 myöhemmin kansalliseksi standardikseen. (OHSAS 18001 2007)

OHSAS 18001 perustuu jatkuvan parantamisen periaatteisiin ja rakentuu niin kutsutun Demingin pyörän eli Plan-Do-Check-Act kehän pohjalle. Standardin esittämässä mallissa ylimmän johdon tulee vahvistaa organisaation työturvallisuus- ja terveystoiminta, joka luo pohjan toiminnan kehittämiseksi. Suunnitteluvaiheessa organisaation tulee tunnistaa sekä lainsäädännön asettamat vaatimukset, että toimintaan kohdistuvat riskit ja asettaa politiikan toteuttamiseksi 2-5 vuoden kestoisia strategisia päämääriä, jotka edelleen puretaan toimintaa kehittäviksi turvallisuusohjelmiksi. Toteutusvaiheessa ohjelmien toteuttamiseen varataan riittävät resurssit, henkilöstö koulutetaan ja varmistetaan koko organisaation sitoutuminen. Toiminnan ylläpitäminen, jatkuva kehittyminen sekä tavoitteisiin pääseminen varmistetaan mittareiden, tarkastuksien ja auditointien avulla. OHSAS korostaa johdon osallistumisen merkitystä ja johdon katselmukset ovatkin oleellisenä osana jatkuvan kehittämisen sykliä. Malli on esitetty kuvassa 9. (OHSAS 18001 2007)



Kuva 9: Jatkuvan kehityksen periaate (muokattu lähteestä OHSAS 18001 2007)

OHSAS 18001 on suunniteltu soveltumaan kaikille organisaatioille jotka haluavat toteuttaa turvallisuusjohtamisjärjestelmää, ja se on mahdollista myös yhdistää jo käytössä oleviin järjestelmiin. Muita tunnettuja standardeja ovat muun muassa Yhdistyneiden kansakuntien alla toimivan International Labour Officen ILO-OSH 2001, sekä Yhdysvaltojen standardikehitystä seuraavaan American National Standards Institutun ANSI Z10. OHSAS 18001 tavoin, ILO ja Z10 perustuvat jatkuvan kehittämisen periaatteisiin. OHSAS:sta poiketen ILO pyrkii antamaan ohjeistuksia myös kansalliselle tasolle, kun taas Z10 on rakennettu nimenomaan yhdysvaltalaiseksi standardiksi. (Aon 2004)

International Organization for Standardization kehittämän uuden ISO 45001 standardin, on tarkoitus korvata OHSAS 18001 seuraavan kolmen vuoden aikana. Se noudattaa samaa protokollaa muun muassa ympäristöstandardi ISO 14001 ja laatustandardi ISO 9001 kanssa. ANSI:n alaisuudessa toimivan NFS on tunnistanut ennakkoon julkaistujen luonnosten perusteella ISO 45001:sta yksitoista merkittävää painotusta ja uudistusta, jotka on koottu tiivistetysti taulukkoon 1. (NFS 2016)

Standardipohjaiset työturvallisuusjohtamisjärjestelmäkuvaukset ovat hyvin laajoja, eivätkä anna esimerkiksi yksityiskohtaista toimintamallia vaarojen tunnistamiseksi tai riskien arvioimiseksi. Standardipohjaisten järjestelmäkuvauksen lisäksi on olemassa lukuisia erilaisia turvallisuusjohtamissuuntauksia, joista osa on ollut vaikuttamassa standardien syntyyn ja osa muodostaa kokonaan oman kokonaisuutensa. Joukko merkittävimpiä suuntauksia on kerätty seuraaviin lukuihin.

Taulukko 1. ISO 45001 merkittävimmät painotukset ja uudistukset

Organisaation konteksti	Turvallisuuspolitiikan ja turvallisuusohjelmien laatimisessa ja toteuttamisessa tulee huomioida organisaation konteksti johon kuuluvat 1) Sisäisten tekijöiden kuten organisaatorakenteen, tiedonkulku -ja päätöksentekoprosessien sekä yrityskulttuurin <i>vahvuudet</i> ja <i>heikkoudet</i> 2) Ulkoisten tekijöiden kuten kulttuurillisessa, poliittisessa ja taloudellisessa toimintaympäristössä, lainsäädännössä sekä markkinassa tapahtuvien muutoksien, teknologian kehittymisen sekä megatrendien synnyttämät <i>uhat</i> ja <i>mahdollisuudet</i> .
Sidosryhmien tarpeet	Turvallisuusjohtamisen tulee ulottaa koko organisaation ekosysteemiin ja huomioida sekä sisäisten että ulkoisten sidosryhmien tarpeet. Sisäisiä sidosryhmiä ovat muun muassa työntekijät, työnjohto, ylin johto, aliurakoitsijat ja tavarantoimittajat. Ulkoisia sidosryhmiä ovat esimerkiksi viranomaiset, lainsäätäjät, kuluttajat, yhteisöt, media sekä muut kiinnostuneet tahot
Johdon tuki	Johdon tulee varmistaa, että turvallisuuspolitiikka ja turvallisuusohjelmat integroidaan erottamattomaksi osaksi organisaation prosesseja. Johdon tulee määrittää turvallisuuspolitiikan ja ohjelmien toteuttamiseksi roolit ja vastuut, sekä varmistaa että henkilöstöllä on käytössään riittävät resurssit niiden toteuttamiseksi. Johdon tulee edistää turvallisuuskulttuurin leviämistä organisaatiossa ja varmistaa, että organisaation toiminta tukee jatkuvan kehityksen periaatteita.
Vaarojen tunnistaminen ja riskien hallinta	Organisaation tulee pyrkiä systemaattisesti ja proaktiivisesti tunnistamaan vaarojen <i>lähteitä</i> ja <i>tilanteita</i> , joissa vaarat ilmenevät, sekä luokittelemaan vaaroja. Organisaation tulee kehittää ja ylläpitää prosessia, jossa vaarojen tunnistuksessa huomioidaan ainakin: 1. Rutiininomaisessa tai siitä poikkeavassa toiminnassa käytetyt materiaalit, kalusto, ympäristöstä johtuvat olosuhteet, tuotesuunnitteluista johtuvat vaarat, inhimilliset tekijät sekä tapa, jolla työ tehdään todellisuudessa 2. Toiminta hätätilanteissa 3. Henkilöt jotka toimivat työpaikalla, työpaikan läheisyydessä tai yksin 4. Organisaation, prosessien, roolien ja järjestelmien muutokset 5. Muutokset tiedossa ja ymmärryksessä vaaroista 6. Aikaisemmin sattuneista onnettomuuksista tunnistetut vaarat ja niiden seuraukset 7. Miten työ on organisoitu sekä sosiaalisten tekijöiden kuten työkuorman, työmäärän, johtajuuden ja organisaatiokulttuurin vaikutus vaaroihin ja niihin suhtautumiseen
Työntekijöiden osallistuminen	Työntekijöiden osallistuminen tulee huomioida turvallisuuspolitiikan luomisessa, roolien ja vastuiden määrittämisessä, vaarojen ja riskien tunnistamisessa, tapaturmien ja vaaratilanteiden tutkimisessa, toimenpiteiden määrittelyssä sekä kehityskohteiden ja koulutustarpeiden tunnistamisessa sekä tiedonkulun suunnittelussa. Mikäli työntekijät tunnistavat työympäristöstään johtuvia terveyttä vaarantavia tekijöitä, tulee heidän olla mahdollista poistaa vaaratekijät ja tiedottaa niistä organisaatiossa. Työntekijöillä tulee olla pääsy turvallisuusdokumentaatioon kokonaiskuvan muodostamiseksi.
Hankinta, ulkoistaminen ja aliurakointi	1) Organisaation tulee määrittellä valintaprosessi, jolla varmistetaan, että hankinnassa tunnustetaan työturvallisuus- ja työterveysvaatimukset tuotteille, materiaaleille ja varusteille, sekä tunnustetaan niiden aiheuttamat riskit 2) Organisaation tulee varmistua siitä, että sen ulkoistetut toiminnot ja aliurakat ovat kontrolloituja ja eivätkä vaaranna työturvallisuusjohtamisjärjestelmän toimivuutta 3) Työturvallisuustekijät huomioidaan ja niitä painotetaan aliurakoitsija- ja toimittajavalinnoissa
Johtamisjärjestelmän arviointi ja mittaaminen	1) Organisaation tulee määrittää kriteerit, joita vasten turvallisuusjohtamisjärjestelmän toimintaa verrataan 2) Organisaation tulee suunnitella, toteuttaa ja ylläpitää prosessi sekä menetelmät ja aikataulu toiminnan seuraamiseen, mittaamiseen, arvioimiseen, analysointiin ja tulosten jakamiseen sekä kommunikointiin

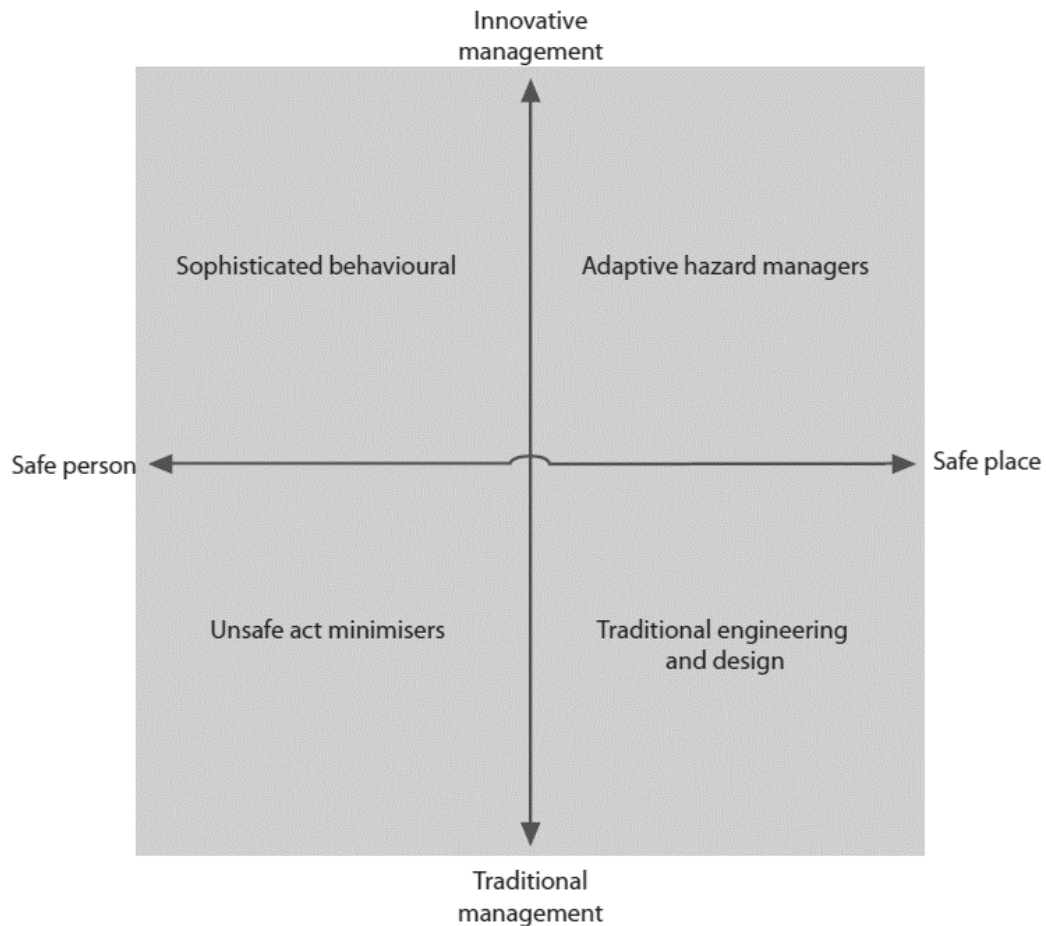
3.5 Työturvallisuusjohtamissuuntaukset ja menetelmät

Tutkimuksissa turvallisuusjohtamisjärjestelmien toimivuudesta on havaittu, että yhtä toimivaa turvallisuuden johtamismallia ei ole, vaan turvallisuusjohtamisen oppeja sovelletaan hyvin erityyppisesti riippuen paitsi toimintaympäristöstä myös esimerkiksi yrityksen koosta. Koska yhdelle yritykselle toimiva johtamisjärjestelmä ei välttämättä sovellu toiselle, kattavaa konsensusta parhaista toimintatavoista on vaikea muodostaa. (EU-OSHA 2012). Lisäksi aloilla, joissa työturvallisuusjärjestelmä on olennainen osa prosessia kuten rakennusalalla, tuotannonohjausjärjestelmä ja työturvallisuusjärjestelmä kilpailevat samoista resursseista, jolloin eturistiriitojen välttämiseksi ne tulisi sulauttaa toisiinsa (Pérezgonzález 2005). Rakennusala on osoittautunut uusien innovaatioiden ja työturvallisuusjohtamissuuntausten kannalta haastavaksi ympäristöksi. Laajasta tieteellisestä kirjallisuudesta ja huolimatta uusia menetelmiä otetaan käyttöön hitaasti ja muita aloja myöhemmin. Esmaeili ja Halloewellin tutkimukset amerikkalaisissa rakennusyrityksissä paljastivatkin, että innovaatioita otetaan käyttöön tyypillisesti vasta kun ympäristön aiheuttama sosiaalinen paine kasvaa kyllin suureksi. Tällöin investoinneista puuttuu usein kustannus kriittinen tarkastelu ja niiden tuottamat kilpailuedut jäävät pieniksi (Esmaeili & Hallowell 2012)

Gallagherin mukaan strategia jolla yritykset pyrkivät kontrolloimaan työturvallisuutta voidaan jakaa joko turvallisen ihmisen strategiaan (*Safe person strategy*) johon lukeutuvilla keinoilla pyritään vaikuttamaan ihmisten käyttäytymiseen, ja turvallisen ympäristön strategiaan (*Safe place strategy*) joka perustuu vaarojen systemaattiseen tunnistamiseen ja käsittelyyn. Gallagher tunnistaa myös kaksi työturvallisuuden johtamistyyliä, jotka ovat perinteinen johtamistyyli (*Traditional management*) ja innovatiivinen johtamistyyli (*Innovative management*). Perinteisessä johtamistyyllisessä työturvallisuuden edistämisen avainhenkilöt ovat työturvallisuusammattilaisia tai valvovassa roolissa olevia henkilöitä. Työturvallisuus nähdään erillisenä toiminnallisuutena, jota ei ole integroitu yrityksen muihin toimintatapoihin eikä osaksi päivittäistä johtamista eikä työntekijöiden osallistamista nähdä tärkeänä. Innovatiivisessa johtamistyyllisessä ylimmän ja keskijohdon rooli on korostunut ja työturvallisuus on irrottamaton osa yrityksen johtamisjärjestelmiä, liiketoimintasuunnittelua, ja johdon tavoitteita. Työntekijöiden osallistaminen nähdään kriittiseksi turvallisen toiminnan kannalta ja työntekijöiden panoksella on merkittäviä käytännön vaikutuksia toimintatapoihin. (Gallagher 1997)

Gallagherin nelikentässä yritykset jakautuvat noudattamansa strategian ja johtamistavan mukaisesti neljään tyyppiin, jotka ovat perinteinen insinöörisuunnittelu (*Traditional engineering and design*), mukautuva vaarojen tunnistaminen (*Adaptive hazard managers*), vaarallisen toiminnan vähentäminen (*Unsafe act minimiser*), ja hienostunut käyttäytymiseen vaikuttaminen (*Sophisticated behavioural*). Perinteisen insinöörisuunnittelun malli keskittyy poistamaan työympäristössä olevia vaaroja ensisijaisesti ennakkosuunnittelun avulla ja luottaa perinteiseen asiantuntijajohdettuun johtamistapaan, kun taas mukautu-

vassa vaarojen tunnistamismallissa turvallinen työympäristö pyritään saavuttamaan johtamisjärjestelmällä, joka painottaa aktiivista reagointia ja hyödyntää vaarojen tunnistamiseen suoraan työntekijöitä. Vastaavasti vaarallisen toiminnan vähentämisen mallissa vaarallisia toimintatapoja pyritään ehkäisemään lähinnä valvonnan ja säännöstelyn avulla, kun taas hienostuneen käyttäytymiseen vaikuttamisen mallissa toimintaa pyritään ohjaamaan integroimalla työntekijöiden osallistaminen ja alhaalta ylöspäin johtaminen osaksi johtamistapaa. Nelikenttä on esitetty kuvassa 10.



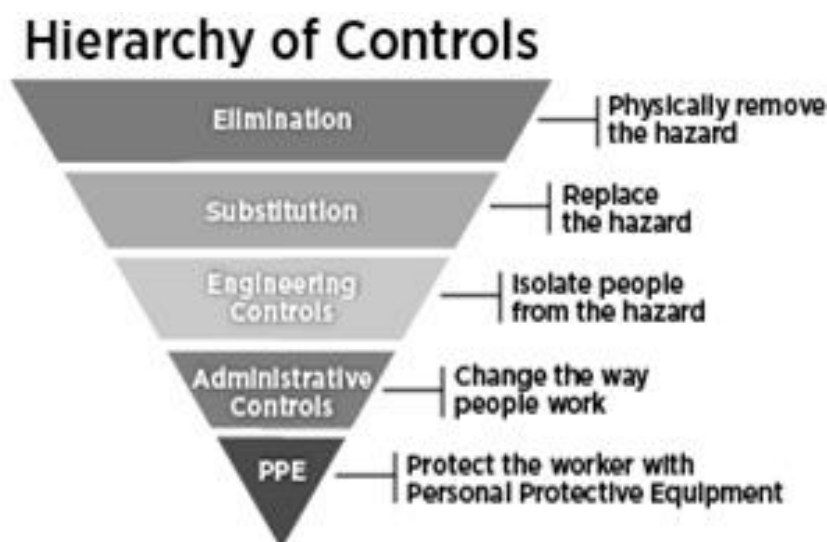
Kuva 10. Yritysten turvallisuusstrategioiden nelikenttä (Gallagher 1997)

Gallagherin Australiassa tekemät case-tutkimukset osoittivat, että yritykset joissa oli käytössä innovatiivinen johtamistyyli, olivat useilla turvallisuusjohtamisen mittareilla mitattuna turvallisempia kuin perinteisen tyylin edustajat. Lisäksi turvallisen ympäristön strategiaa noudattavat yritykset suoriutuivat turvallisen ihmisen strategiaa jonkin verran paremmin. (Gallagher 1997) Nelikenttä antaa hyvän yleiskuvauksen turvallisuusjohtamisen tyyliuuntauksista mutta kattavampi analyysi niiden soveltuvuudesta rakennusosalalle vaatii syvempää tarkastelua. Seuraavissa luvuissa käsitellään tarkemmin seitsemää eri turvallisuusjohtamisen tyyliuuntauksista

3.5.1 Tuotantosuunnitteluun perustuva työturvallisuus

Levesonin mukaan turvallisuutta ei voida taata, ellei se ole alusta asti erottamattomana osana suunnittelua (Leveson 2012). Perinteinen turvallisuusjohtaminen painottaa ennakkosuunnittelun merkitystä ja lähtee työympäristön vaarojen tunnistamisesta ja suunnittelemisesta turvalliseksi. Hierarchy of hazard controls on yleisesti hyväksytty malli joka asettaa vaarojen hallintatoimenpiteet järjestykseen niiden tehokkuuden mukaan. Hierarkia on esitetty kuvassa 11. Sen esittämä järjestys vaarojen hallintatoimenpiteille on seuraava: (OSHA 2017)

1. *Poistaminen*. Vaaranlähde poistetaan kokonaan työympäristöstä
2. *Korvaaminen*. Vaaranlähde korvataan vähemmän vaarallisella vaaranlähteellä
3. *Eristäminen*. Ihmiset eristetään vaaranlähteestä estein
4. *Toiminnan muuttaminen*. Ihmisten toimintatapoja muutetaan
5. *Suojaimet*. Ihmiset suojataan vaaroilta henkilösuojaimin



Kuva 11. *Hierarchy of Controls (OSHA 2017)*

Rakennusala poikkeaa merkittävästi monista muista valmistavan teollisuuden aloista siinä, että sen synnyttämät rakennetun ympäristön tuotteet ovat itsessään tuotantoympäristöjä joissa tuotteiden valmistus tapahtuu vaihe vaiheelta. Useimmissa tapauksissa varsinainen tuotesuunnittelu ei kuitenkaan ole tuotannosta vastaavien henkilöiden käsissä vaan esimerkiksi rakennussuunnittelusta vastaavat arkkitehdit sekä rakenne- ja talotekniikkasuunnittelijat määrittelevät tuotteen muodon ja siinä käytettävät materiaalit. Kuitenkin rakennustöissä esiintyviin varaan paikkoihin voidaan vaikuttaa sitä enemmän, mitä aikaisemmassa vaiheessa suunnittelua ne otetaan huomioon. Näin ollen suunnittelijat ovat ratkaisevassa osassa määrittelemässä sitä, minkälaisia vaaranlähteitä rakennusalan työympäristöissä esiintyy.

Eräiden tutkimuksien mukaan jopa 42% rakennusalalla tapahtuvista onnettomuuksista voidaankin yhdistää rakennussuunnitteluratkaisuihin (Behm 2005). Gambatesen mukaan korkea osuus voidaan selittää sillä, että suunnittelijat eivät omaa riittäviä tietoja, taitoja ja kokemusta rakennusaikaisista turvallisuusriskeistä, vaan keskittyvät suunnittelussa lähinnä rakennuksen käytön aikaiseen turvallisuuteen (Gambatese 2005). Lisäksi tilaajien muuttuvat toiveet, puutteellinen suunnittelunohjaus ja suunnitteluaiakataulun pettäminen johtavat usein tilanteeseen, jossa suunnitelmat muuttuvat useaan kertaan rakentamisen aikana, joka edelleen hankaloittaa vaarojen tunnistamista, ennakoimista ja tuotannon suunnittelemista turvalliseksi.

Tuotantosuunnittelun tavoitteena on toiminnan toteutus taloudellisten, aikataulullisten ja laadullisten tavoitteiden mukaisesti (Koskenvesa 1998). Tuotantosuunnittelulla voidaan kuitenkin merkittävästi vaikuttaa myös turvallisuuteen valittavien työmenetelmien, työvälineiden, kaluston, logistiikan sekä resurssi- ja aikataulusuunnittelun kautta jotka vaikuttavat muun muassa työkuormaan ja virhealttisuuteen. Lisäksi laadukas tuotantosuunnittelu parantaa työturvallisuutta vähentämällä toiminnan ennalta-arvaamattomuutta ja mahdollistaa toiminnan mittaamisen. Rakentamisen tuotantosuunnittelu pitää sisällään työmaakohtaisen ja työvaihekohtaisen suunnittelun lisäksi työmaan layout-suunnittelun eli aluesuunnittelun. Etenkin aluesuunnitelma toimii koko työmaan keskeisenä tiedottamisen välineenä, jonka avulla työmaan toiminnot ja turvallisuuden kannalta huomioitavat asiat kuten kulku-, ajo- ja poistumistiet, työskentely- ja nostoalueet, sähköistys, kemikaalien varastointi ja ensiaputarvikkeiden sijainti tehdään tunnetuksi hankkeen osapuolille. Hankkeen edetessä yksityiskohtaisemmat suunnitelmat tyypillisesti täydentävät ja tarkentavat yleisempiä tuotantosuunnitelmia. Koskenvesan mukaan työturvallisuusasiat tulisi-kin nivoa osaksi tuotantosuunnittelua niin että mahdolliset vaaratekijät ja -tilanteet selvitetään ja toimenpiteet vaarojen poistamiseksi määritetään osana normaalia suunnittelua, jota tarvittaessa täydennetään erillisin turvallisuus selvityksin ja analyysein. (Koskenvesa 1998)

Tuotantosuunnitteluun perustuva turvallisuusjohtaminen painottaa valvontaa ja poikkeamiin puuttumista turvallisuuden varmistamisen välineenä. Nämä menetelmät on perinteisesti nähty rakennusalalle hyvin sopivina, sillä rakennusalalla korostuvat juuri projektikohtaisuus ja muuttuva toimintaympäristö jossa ennakoiminen, valvonnan ja suunnitelmien päivittämisen merkitys on suuri. Myös lainsäädäntö on edistänyt tuotantosuunnitteluun perustuvan työturvallisuusjohtamisen leviämistä. Toisaalta suuntaus ei anna käytännön välineitä työntekijöiden toimintaan vaikuttamiseen vaan parhaat vaikutuskeinot jäävät tyypillisesti työnjohdon itse löydettäväksi. Tällöin riskinä on toimintaympäristön vaarojen korostuminen, sillä niihin puuttuminen koetaan helpommaksi.

3.5.2 Lean-ajatteluun perustuva työturvallisuus

Lean on Toyota Production Systemsin periaatteisiin pohjautuva tuotannonjohtamisfilosofia, joka pyrkii parantamaan muun muassa prosessin laatua, tuottavuutta ja asiakastytyväisyyttä (Womack et al. 1991). Vaikka leanin tavoitteena ei suoraan ole työturvallisuuden parantaminen, voidaan lean-ajattelua hyödyntää työturvallisuudessa usealla tavalla. Eräs tapa kuvata leania on nähdä se systeeminä, joka keskittyy jatkuvaan hukkien tunnistamiseen ja poistamiseen tuotantoprosesseista. Koska poistamalla hukkaa työvaiheiden, materiaalien, työkalujen ja siirtymien määrä laskee, samalla myös vaaralähteet ja niille altistuminen vähenevät (Ikuma et. al 2011). Lisäksi myös onnettomuuksien ja läheltä piti-tilanteiden voidaan nähdä aiheuttavan prosessille hukkaa henkilö- ja materiaallivahinkojen sekä aikatauluviivästysten muodossa. (Hallowell 2009)

Lean-ajatteluun kuuluvat tiimityöskentelyä, työkiertoa ja moniosaamista edistävät menetelmät, sekä työntekijöiden vaikutuskeinoja, työssäoppimista ja kyvykkyyttä kasvattava lean-johtamistapa on ovat johtaneet tutkimuksissa positiivisiin turvallisuustuloksiin (Camuffo et. al 2017). Materiaalitoimitusten ja työvoiman virtauttamisella on mahdollista pienentää aikaa jolloin työntekijät altistuvat vaaratekijöille ja vähentää toiminnan riskejä sekä ennalta-arvaamattomuutta suunnittelun kautta. Moni leanin työkaluista, kuten visualisointi- ja työnohjaustyökalu *kanban* sekä tuotantoympäristössä toteutettava *gemba*-kävely lisäävät prosessin läpinäkyvyyttä, jolloin osapuolten välinen vuorovaikutus sekä vaarojen ja riskien tunnistaminen, arvioiminen ja hallinta paranevat. Työpisteiden organisointiin soveltuva 5S-menetelmä (*Sort – Set in Order – Shine – Standardize – Sustain*) sekä siitä edelleen kehitetty 6S (– Safety) parantavat työturvallisuutta lisäämällä järjestystä, siisteyttä ja standardoimalla parhaita käytäntötapoja. (Camuffo et. al 2017, Koskela 1993) Leaniin perustuva tuotantosuunnittelu on johtanut hyviin tuloksiin myös rakennus- alalla. Jatkuvaan muutokseen tähtäävä *kaizen* on onnistuneesti yhdistetty turvallisuuden kehittämiseen esimerkiksi talotehdasolosuhteissa (Ikuma et. al 2011) ja leaniin pohjautuvan ja rakennustyömaiden viikkosuunnitteluun ja tuotannonohjaukseen kehitetyn Last Plannerin on havaittu *jopa puolittavan* tapaturmataajuuden sitä käytävillä hankkeilla (Thomassen et. al 2003).

Toisaalta leaniin on yhdistetty myös turvallisuustoimenpiteiden laiminlyöminen tuottavuuden nimissä, kiristyneestä työtahdistasta johtuva kasvanut työkuorma ja rasisperäisten tapaturmien määrän kasvu. Edellä mainittujen on kuitenkin esitetty johtuvan leanin mukaisten toimintatapojen puutteellisesta käyttöönotosta, ei puutteista toimintatavoissa itsessään, sillä lean-ajattelu pyrkii tuottamaan mahdollisimman paljon lisäarvoa mahdollisimman pienellä työmäärällä (Womack et al. 2009). Lean-ajattelun ja työturvallisuusjohtamisen suhdetta voidaankin kuvata kaksijakoiseksi, sillä siinä missä lean pyrkii poistamaan systeemistä hukkaa, turvallisuus pyrkii poistamaan systeemistä riskejä. Painottamalla pelkästään hukan poistamista systeemin riskit kasvavat, ja vastaavasti täysin riskitön systeemi sisältää merkittävän määrän hukkaa (Main et. al 2008). Onnistuneessa ja

turvallisessa lean-prosessissa vallitseekin tasapaino, jossa asiakkaalle tuotetaan mahdollisimman paljon lisäarvoa myös mahdollisimman pienillä riskeillä. Tällöin riskien toteutumisesta syntyvä hukka on mahdollista minimoida tehokkaasti myös pitkällä aikavälillä.

3.5.3 Systemiajatteluun perustuva työturvallisuus

Systemiteoria on poikkitieteellinen tutkimusala kokonaisten systeemien toiminnasta. Systemiajattelu (Systems Thinking) ja siihen perustuva systemisuunnittelu (Systems Engineering) (SE) ovat systemiteorian käytännön sovellutuksia, jotka saivat alkunsa 40- ja 50-luvuilla tarpeesta suunnitella suuria ja kompleksisia järjestelmiä erityisesti Yhdysvaltojen puolustusvoimien käyttöön. Systemisuunnitteluun perustuva työturvallisuus edustaa perinteistä turvallisuusjohtamisen suuntausta joka kehittyi etenkin 50- ja 60-luvuilla Yhdysvalloissa ilmailu- ja avaruusalalla tapahtuneiden onnettomuuksien myötävaikutuksesta. (Leveson 2012).

Systemiturvallisuuteen vaikutti myöhemmin muun muassa Perrow, joka esitti *Normal Accident Theory* (NAT) teoriassaan nelikentän, jonka akseleina toimivat toiminnan kompleksisuus (*complexity*) ja toiminnan riippuvuus (*coupling*). Perrown mukaan sellaisissa organisaatioissa joissa toiminta on sekä erittäin kompleksista, että sen osatoiminnot ovat toisistaan hyvin riippuvaisia, onnettomuudet ovat normaaleja, eikä niitä voi näin ollen estää. Tällöin ainoa ratkaisu onnettomuuksien vähentämiseksi on suunnitella organisaatio ja sen käyttämä teknologia uudelleen niin, että se on vähemmän kompleksinen ja omaa vähemmän riippuvuussuhteita. (Perrow 1984)

SADT

Halen Modelling of safety management systems esitti systemipohjaisen SADT-mallin turvallisuusjohtamisjärjestelmän suunnittelemiseksi. Siinä turvallisuusjohtaminen nähdään joukkona ongelmanratkaisutoimintoja osana suurempaa systeemiä, jossa riski syntyy osatekijöiden poikkeamana normaalista tai halutusta prosessista. (Hale et al. 1997) Halen mallissa jokaisella itsenäisellä toiminnolla on syöte (*input*) ja tuloste (*output*), sekä vaadittavat resurssit ja toimintakriteerit. Syötteenä voi toimia informaatio, kuten suunnitelmat ja ohjeet, sekä käytettävät materiaalit. Tuloste taas koostuu joko toivotusta tai ei-toivotusta lopputuloksesta, tuotteesta tai toiminnosta. Resursseja kuten ihmisiä ja laitteita tarvitaan itse toiminnon tekemiseen, mutta niiden ei ole tarkoituksen mukaista kulua lyhyellä aikavälillä. Nopea kuluminen, kuten laitteiden hajoaminen ja ihmisten yllirasittuminen tai loukkaantuminen kertovat Halen mukaan huonosta toimintasuunnittelusta ja resursseihin tuleekin kohdistaa tämän estämiseksi osatoimintoja, kuten valvontaa, valintaa, ylläpitoa ja huoltoa. Mallissa toiminnan onnistumisen määrittävät toimintakriteerit, jotka pitävät sisällään muun muassa toimintaohjeet ja lainsäädännön asettamat vaatimukset. (Hale et al. 1997)

Turvallisuusjohtamisjärjestelmän suunnittelemiseksi SADT-mallissa organisaatiolle kuvataan ensin primääriprosessi, jonka toimintojen synnyttämät poikkeamat luovat syötteitä varsinaiselle turvallisuusprosessille. Turvallisuustoimintojen tehtävänä on niin ikään havaita, hallita ja minimoida primääriprosessista syntyviä poikkeamia ja toimintojen mitaaminen ja arviointi luovat edellytykset sekä primääri- että turvallisuusprosessien kehittämiselle. Malli huomioi myös prosessien koko elinkaaren tunnistamalla kuusi toisiinsa linkittyvää vaihetta, jotka ovat prosessin suunnittelu, prosessin rakentaminen, prosessin käyttöönotto, toiminta, toiminnan ylläpito, toiminnan alasajo, sekä prosessin päättäminen. (Hale 1997)

STAMP

Muun muassa Leveson jatkoi systeemiajattelun kehittämistä vastaamaan nykyaikaisten kompleksisten, sosioteknisten ja korkean teknologian systeemien tarpeita, joissa ihmiset vuorovaikuttavat paitsi fyysisten myös digitaalisten ympäristöjen kanssa. Toisin kuin Hale, Leveson ei nähnyt onnettomuuksien johtuvan systeemissä olevan yksittäisen toimintojen peittämisestä johtuvista poikkeamista, vaan siitä, että systeemeillä on vääjäämättä tapana ajautua kohti korkeamman riskin tilaa vaarojen muuttaessa muotoaan teknologian kehityksen myötä. Näin ollen pyrkimällä tekemään yksittäisistä osatekijöistä kuten laitteista, digitaalisista järjestelmistä ja ihmisistä luetettavampia ei voida merkittävästi parantaa kokonaisturvallisuutta, mikäli koko toimintaympäristöä jossa toiminta tapahtuu ei muuteta. Levesonin mukaan systeemimigraatio kohti korkeamman riskin tilaa on kuitenkin mahdollista havaita huolellisesti asetetuilla ennakoivilla mittareilla ja suunnittelemalla systeemi uudelleen. (Leveson 2012)

Levesonin kehittämä System-Theoretic Accident Model and Processes STAMP on pohjimmiltaan onnettomuusmalli, joka lähestyy turvallisuutta poikkeamien sijaan turvallisuusehtojen (safety constrains) kautta. Turvallisuusehdot johdetaan systeemissä tunnistetuista vaaroista ja ne ovat ehtoja joiden täytyessä turvallisen toiminnan raja ylitetään. Esimerkiksi junan oven aukeaminen junan liikkuessa on vaara, jonka turvallisuusehto on se, että junan ovi ei saa aueta kesken liikkeen. Onnettomuuksien estämiseksi systeemin tulee sisältää kontrolleja (controls) joiden pääasiallisena tehtävänä on estää reunaehtojen täytyminen. Näin ollen onnettomuudet eivät Levesonin mukaan kerro poikkeamasta systeemissä, vaan itse asiassa siitä, että systeemin kontrolleja ei ole alun perinkään suunniteltu niin, että ne estäisivät ehtojen täyttymisen. (Leveson 2012)

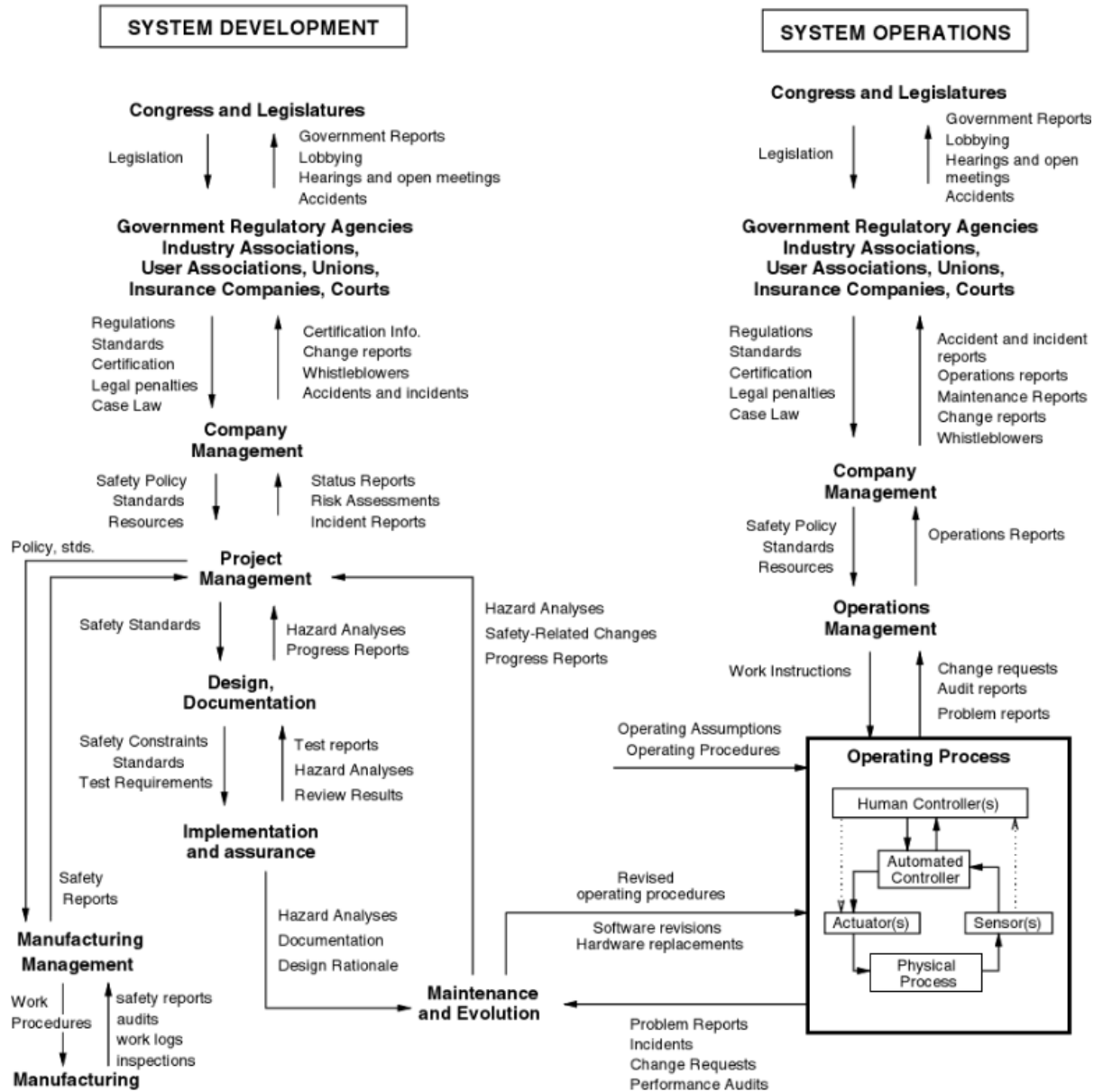
Leveson jakaa kontrollit passiivisiin ja aktiivisiin. Passiiviset kontrollit ovat esimerkiksi fyysisiä suojia kuten kaiteet, turvallisuusvarusteita kuten suojakypärät tai suoja mekanismeja kuten sulakkeet, jotka estävät onnettomuuksia pelkällä olemassaolollaan. Aktiiviset kontrollit taas ovat kontrolleja jotka vaativat toimintaa kuten 1) vaarojen tunnistaminen 2) turvallisuuden mittaaminen ja 3) mittausten analysointi sekä 4) toimenpiteet vaarojen poistamiseksi ja toiminnan saattamiseksi turvalliseksi. Sekä passiiviset että aktiiviset kontrollit ovat tarpeellisia, mutta aktiiviset kontrollit vaativat parempaa suunnittelua, sillä

ne ovat monimutkaisempia ja niissä on useimmiten enemmän varaa virheille. Levesonin mukaan sosioteknisissä ja kompleksissa systeemeissä turvallisuudesta tekeekin haastavaa juuri se, että oikeiden reunaehtojen tunnistaminen ja kontrollien määrittäminen sekä hallinta ylittävät inhimilliset kykymme hallita kokonaisuuksia. (Leveson 2012)

Kuvassa 12 on esitetty Levesonin malli sosioteknisen systeemin hierarkkisesta turvallisuuden kontrollirakenteesta. Se on luonteeltaan esimerkkimalli, joka on sovellettavissa toimialakohtaisesti. Malli koostuu kahdesta osasta, systeemikehityksestä (*system development*) sekä systeemitoiminnasta (*system operations*). Siinä jokainen hierarkiataso asettaa alemmalle tasolle reunaehtoja, joita hallitaan kontrolliprosessien kautta. Kontrolliprosessit voivat olla joko ylemmän tason kokonaan määrittelemiä tai alemman tason soveltamia mutta ylemmän tason hyväksymiä tapoja estää reunaehtojen täyttyminen. Kontrolliprosesseja jalkautetaan ylemmältä tasolta alemmalle kanavaa pitkin, jota kuvataan nuolena ylhäältä alaspäin. Prosessien toiminnan mittaaminen taas tuottaa palautetta kontrollien toimivuudesta kanavaa pitkin, jota kuvataan vastaavasti nuolena alhaalta ylöspäin. (Leveson 2012)

Koska systeemit ovat jatkuvassa muutoksessa, erityisesti palautekanavien toiminta ja reaaliaikaisuus korostuvat. Mitä ylemmälle tasolle hierarkiassa mennään, sitä hitaammin muutokset yleensä tapahtuvat. Tämä johtaa esimerkiksi siihen, että lainsäädäntö ja standardit saattavat kehittyä käytettävän teknologian ja toimintatapojen jäljessä. Levesonin mallissa onnettomuudet tapahtuvat, mikäli kontrolliprosessit eivät onnistu estämään ylemmän tason asettaman reunaehdon täyttymistä alemmalla tasolla. Tämä voi johtua siitä että 1) reunaehtoja ei ole tunnistettu oikein ylemmällä tasolla, 2) kontrolleja ei ole suunniteltu niin että ne estäisivät reunaehtojen toteutumista 3) kontrolleja ei ole toteutettu alemmalla tasolla 4) palautetta ei ole annettu alemmalla tasolla tai palaute ja kommunikatio on ollut puutteellista. (Leveson 2012)

Levesonin malli on samalla holistinen malli systeemin toiminnasta ja sitä on hyödynnetty systeemien suunnittelemisessa turvallisemmaksi muun muassa ilmailun, terveydenhuollon ja merenkäynnin aloilla (Leveson 2012). Sen soveltuvuutta rakennusalalle saattaa hankaloittaa korkea aliurakointiaste, vaihtelevat hankemuodot ja kirjavat sopimuskäytännöt jotka lisäävät toiminnan kompleksisuutta, vaikeuttavat systeemin kuvaamista ja asettavat haasteita etenkin palautekanavien toimivuudelle.



Kuva 12. Sosioteknisen systeemin hierarkkinen turvallisuuden kontrollirakenne (Leveson 2012)

3.5.4 Resilienssiin perustuva työturvallisuus

Resilienssillä eli muuntojoustavuudella tarkoitetaan organisaation tai yksilön kykyä ylläpitää toimintakykyään häiriöistä ja virheistä huolimatta. Resilientti työturvallisuusjohtaminen (*Resilience Engineering*) (RE) on verrattain nuori suuntaus, jonka voidaan nähdä syntyneen 2000-luvun alkupuolella. Se haastoi perinteisen käsityksen turvallisuudesta tilana, joka oli mahdollista saavuttaa suunnittelemalla systeemi sellaiseksi, ettei siinä tapahdu virheitä. Sen sijaan se määrittelee turvallisuuden tilana, jossa mahdollisimman moni asia menee hyvin (Hollnagel 2017).

Resilienssiin perustuvalla työturvallisuusjohtamisella on merkittäviä yhtäläisyyksiä korkean riskin organisaatioiden toimintaa kuvaavaan HRO-teoriaan. LaPorten ja Consolinin *High Reliability Organization* (1991) haastoi Perrown aiemmin esittämän NAT-teorian ja perustui tutkimuksiin korkean riskin aloilla, joissa kompleksisuudesta huolimatta tiimit kykenivät työskentelemään huomattavan turvallisesti korkeista riskeistä huolimatta. Näitä organisaatioita yhdisti se, että niissä vallitsivat selkeät roolit ja hierarkia, epäonnistuminen oli sosiaalisesti hyväksymätöntä ja kompleksisuutta hallittiin 1) jatkuvalla koulutuksella, 2) asioiden moninkertaisella varmistamisella ja 3) tietolähteiden hallinnalla (LaPorte & Consolini 1991). HRO-organisaatioista tekee erityisen mielenkiintoisia etenkin se, että vahvasta hierarkiasta huolimatta tiimit pystyvät toimimaan poikkeamien satuttaessa itsenäisesti ja minimoimaan onnettomuuksien vaikutukset. HRO-organisaatioita onkin kutsuttu tietoisiksi organisaatioiksi (*mindful organisations*) jotka kykenevät arvioimaan omaa toimintaansa, pohtimaan riskejä etukäteen ja välttämään vaihtelua sekä toimintojen oikomista. Ne myös kykenevät omaksumaan, soveltamaan ja oppimaan kokemansa perusteella ja ratkomaan ilmenneitä ongelmia nopeasti yhdessä. (Hovden et. al. 2010)

Resilenssiteorian mukaan kompleksisissa järjestelmissä on aina variaatiota, sillä kaikkia järjestelmään vaikuttavia tekijöitä ei tunneta. Pyrkimällä tunnistamaan näitä tekijöitä järjestelmää on mahdollista muuttaa kompleksisesta monimutkaiseksi, eli järjestelmäksi jonka tekijät tunnetaan, mutta niiden lukumäärä on suuri. Monimutkaisuutta taas on mahdollista vähentää suunnittelun kautta teknisissä systeemeissä, mutta koska sosioteknisien systeemien kaikkia osatekijöitä on mahdotonta tunnistaa, tällaiset järjestelmät pysyvät aina kompleksisina. Kompleksisuudesta syntyvä variaatio ei itsessään kuitenkaan aiheuta onnettomuuksia, vaan se johtaa useisiin erilaisiin lopputuloksiin jotka voivat synnyttää sekä onnistumisia että epäonnistumisia. Näin ollen organisaatioiden tulisikin pyrkiä kompleksisuuden karsimisen sijaan kehittämään valmiutta toimia kompleksisuudesta huolimatta. (Hollnagel 2017)

Resilientti työturvallisuusjohtaminen keskittyy tunnettujen uhkien ja virheiden etsimisen sijaan näkemään turvallisuuden kokonaisuutena, jossa tapahtuu sekä positiivisia ja negatiivisia poikkeamia. Hollnagelin mukaan onnettomuudet ovat harvinaisia ja vaikeasti tulkittavia tapahtumia, ja siksi organisaatioiden tulee sen sijaan pyrkiä tunnistamaan, miten arkipäiväinen työ todellisuudessa tehdään (*work as done*), eikä keskittyä miettimään sitä, miten työ tulisi suunnitella (*work as imagined*). Vasta kun toimintaan vaikuttavat lainalaisuudet, riippuvuudet ja ihmisten käyttäytyminen arkisissa tilanteissa ymmärretään tarpeeksi hyvin, on organisaation mahdollista rakentaa valmiutta vastaamaan paitsi variaation mukanaan tuomiin haasteisiin, myös tarttumaan positiivisten poikkeamien synnyttämiin mahdollisuuksiin. (Hollnagel 2017)

Hollnagel tunnistaa resilientille organisaatiolle neljä erilaista valmiutta, jotka ovat: 1) Valmius ennakoida toiminnan kehittymistä pitkällä aikavälillä, arvioida toiminnasta ja

toimintaympäristöstä syntyviä haasteita ja mahdollisuuksia, sekä ennalta muuttaa toimintaa tulevien haasteiden voittamiseksi ja mahdollisuuksien hyödyntämiseksi. 2) Valmius tarkkailla ja valvoa omaa toimintaa ja toimintaympäristöä lyhyellä aikavälillä odottamattomien positiivisten tai negatiivisten muutosten varalta. 3) Valmius sopeutua oman toiminnan sekä toimintaympäristön aiheuttamiin muutoksiin joko ennalta sovittujen ratkaisuvaihtoehtojen mukaisesti, muuttamalla nykyistä toimintatapaa tai kehittämällä kokonaan uusi tapa toimia käyttämällä tapauskohtaista harkintaa. 4) Valmius oppia yksilötasolla kohdatuista negatiivisista ja positiivisista poikkeamista, sekä organisaatiotasolla tunnistetuista haasteista ja mahdollisuuksista. (Hollnagel 2017)

Koska resilientti turvallisuusjohtaminen on suuntauksena verrattain nuori, ei siitä löydy merkittäviä sovelluksia rakennusalalle. Toisaalta suuntaus painottaa organisaation ja yksilön kykyä tunnistaa parhaita tapoja kehittää joustavuutta juuri organisaation omassa kontekstissa. Resilientti turvallisuusjohtaminen näkee ennakkosuunnittelun merkityksen vähäisenä, mikä poikkeaa merkittävästi rakennusalalla totutusta turvallisuusjohtamisen mallista. Muun muassa Harvey näkee resilienssin haasteena juuri sen, että rakennusalan muuttuva ja dynaaminen luonne sekä projektikohtaisuus vaikeuttavat johdon toimia tunnistaa ja tarttua haasteisiin ja mahdollisuuksiin yli projektien. Toisaalta juuri projektikohtaisen vaihtelun ja ennakkosuunnittelun haasteellisuuden vuoksi resilientti turvallisuusjohtaminen saattaisi soveltua rakennusalalle hyvin. Harvey mukaan ennakkosuunnittelun merkityksen vähentäminen saattaa kuitenkin johtaa reagoivaan toimintatapaan sellaisissa organisaatioissa, joilla ei ole resursseja panostaa oman tai sidosryhmien henkilöstön kyvykkyyden ja valmiuksien kasvattamiseen. Lisäksi rakennustyöntekijöiden keskuudessa vallitseva korkea riskinotto, erikoisosaamisen perustuva ja aliurakoitsijapainotteinen työnjako sekä ristiriita tuotantopaineiden ja turvallisuuden välillä vähentävät työntekijöiden ilmoituskulttuuria mikä on yksi resilienssin edellytyksistä. Huono ilmoituskulttuuri edelleen johtaa tilanteeseen, jossa johdon ymmärrys todellisesta työstä maldaltuu. (Harvey et. al. 2016) Yksilöiden tilannetietoisuuden parantamiseen ja ilmoittamiskynnyksen laskemiseen on kuitenkin keskitytty onnistuneesti esimerkiksi maanpuolustuksen ja ilmailun aloilla. Eräs rakennusalalle soveltuva viimehetken riskienarvioinnin menetelmä on SLAM, joka keskittyy pysähtymiseen, riskien tunnistamiseen, riskien seurausten ja turvallisen työn edellytysten arviointiin sekä työnjohdolle ilmoittamiseen (Mitropoulos et. al. 2005).

3.5.5 Tietojohdamiseen perustuva työturvallisuus

Tietojohdamiseen perustuva työturvallisuusjohtaminen on suuntaus, joka pyrkii parantamaan työturvallisuutta tiedonhallinnan kautta. Tieto voidaan jakaa erään luokittelun mukaan näkyvään ja hiljaiseen tietoon (Hadikusomo & Rowlinson 2004). Sherehiyn ja Karwowskin mukaan näkyvä tieto on yleisesti tunnistettua formaalia tietoa, jota voidaan vaihtaa yksilöiden välillä esimerkiksi erilaisten dokumenttien, tallenteiden ja rekisterien

muodossa. Hiljainen tieto sen sijaan on tietoa, joka on muodostunut yksilölle henkilökoh- taisten kokemusten kautta. Näin ollen se on laadultaan subjektiivista sekä intuitiivista ja voi olla siksi vaikeasti kuvattavissa ja kommunikoitavissa. Kulttuuri voidaankin nähdä hiljaisen tiedon sosiaalisena muotona (Sherehiy & Karwowski 2006)

Työntekijän puutteellisilla tiedoilla on havaittu olevan merkittävä vaikutus tapaturma-alt- tiuteen (Edwards & Holt 2003) ja erään tutkimuksen mukaan jopa puolet kuolemaan joh- taneista onnettomuuksista tapahtuvat henkilöille jotka ovat olleet töissä rakennustyö- maalla alle kaksi viikkoa (Bielby & Read 2001). Vastaavasti työntekijöiden korkea tur- vallisuuštietoisuuden ja koulutuksen taso on toistuvasti yhdistetty matalaan tapaturma- taajuuteen (Hill & Ainsworth 2001). Pelkkä näkyvän tiedon jakaminen ja tietoisuuden kasvattaminen eivät kuitenkaan yksistään riitä. Nebraska-Lincolnin yliopistossa raken- nustyöntekijöille suoritettussa katseenseurantateknologiaa hyödyntäneessä tutkimuksessa nimittäin havaittiin, että pelkällä koulutuksella ei ollut suurta merkitystä henkilön kykyyn tunnistaa vaaroja. Sen sijaan aikaisempi kokemus ja altistuminen vaaroille yhdessä kou- lutuksen kanssa lisäsivät koehenkilöiden tunnistamiskykyä merkittävästi (Hasanzadeh et. al. 2017). Tutkimus vahvisti olettamuksen siitä, että oppiakseen toimimaan turvallisesti yksilön tulee olla mahdollista yhdistää näkyvää tietoa kokemukseräiseen hiljaiseen tie- toon kasvattaakseen taitojaan ja kyvykkyyttään toimia turvallisesti.

Tietojohdaminen (*Knowledge Management*) pyrkii tuottamaan organisaatiolle lisäarvoa luomalla edellytykset tiedon virtaamiselle, eli tiedon syntymiselle, jakamiselle ja hyödyn- tämiselle (Poutanen et. al 2015). Tämä edelleen mahdollistaa tiedon analysoinnin ja hyö- dyntämisen päätöksen teon tueksi eli tiedolla johtamisen. Laadukas tietojohdaminen on yhdistetty työturvallisuuden lisäksi muun muassa korkeaan tuottavuuteen, asiakastyty- väisyyteen ja innovaatiokykyyn, kun taas huono tietojohdaminen johtaa muun muassa li- sääntyneisiin virheisiin sekä aikataulu- ja kustannusylityksiin (Hallowell 2012). Tietojoh- tamisen merkitys korostuu korkean riskin aloilla kuten rakennusalalla, jossa toimintaym- päristön muutokset vaativat jatkuvaa tiedonhankintaa riskien uudelleenarvioinnin ja pää- töksenteon tueksi. Toisaalta projektimainen ja alueellisesti hajaantunut toiminta, suuri vaihtelu ja työvoiman vaihtuvuus asettavat merkittäviä haasteita tiedon jakamiselle ja hyödyntämiselle projektitasolla. Tiedon siirtyminen projektilta hankkeen muille osapuol- lille kuten tilaajille ja suunnittelijoille on koettu yhtä lailla haasteellisesti. Myöskään kus- tannuspainotteiden ja lyhyen aikavälin tavoitteisiin tähtäävä toimintatapa ei edistä tiedon siirtymistä. Niinpä johdon merkitys korostuu myös turvallisuustiedon jakamisessa. Joh- don tuella ja esimerkillä onkin huomattu olevan merkittävä vaikutus muun muassa siihen, miten tärkeäksi ja hyödylliseksi työntekijät kokevat tiedon jakamisen (Carbera et. al. 2006). Tiedon jakaminen johtaa keskusteltavien asioiden ja ideoiden määrän kasvuun jol- loin yhä useammat ihmiset kiinnostuvat jakamaan omaa tietoaan. Tämä edelleen mahdol- listaa paitsi tietoa jakavien verkostojen laajenemisen, myös kokonaan uusien ideoiden ja innovaatioiden synnyn.

Tietojohdamisessa voidaan karkeasti nähdä kaksi suuntausta, teknologialähtöinen lähestymistapa ja ihmislähtöinen lähestymistapa. Teknologialähtöisen lähestymistapa soveltuu paremmin näkyvän tiedon jakamiseen, kun taas ihmislähtöinen lähestymistapa edistää hiljaisen tiedon jakamista (Carrillo & Chinowsky 2006). Lucierin ja Torsilieran mukaan merkittävä osa tietojohdamisohjelmista epäonnistuu, koska ne keskittyvät liikaa formaalin tiedon kuten lukujen, mittareiden ja tarkkaan määriteltyjen ohjeiden välittämiseen, huomioimatta hiljaisen tiedon vaihtamista osapuolten välillä erilaisissa tapaamisissa, kokouksissa ja elektronisilla viestintävälineillä (Lucier & Torsiliera 1997). Hiljaisen turvallisuustiedon jakamisessa on hyödynnetty myös niin kutsuttua mikro-oppimisesta, jossa oppimistapahtumaa pyritään vahvistamaan visuaalisin keinoin muun muassa kuvien ja videoiden avulla.

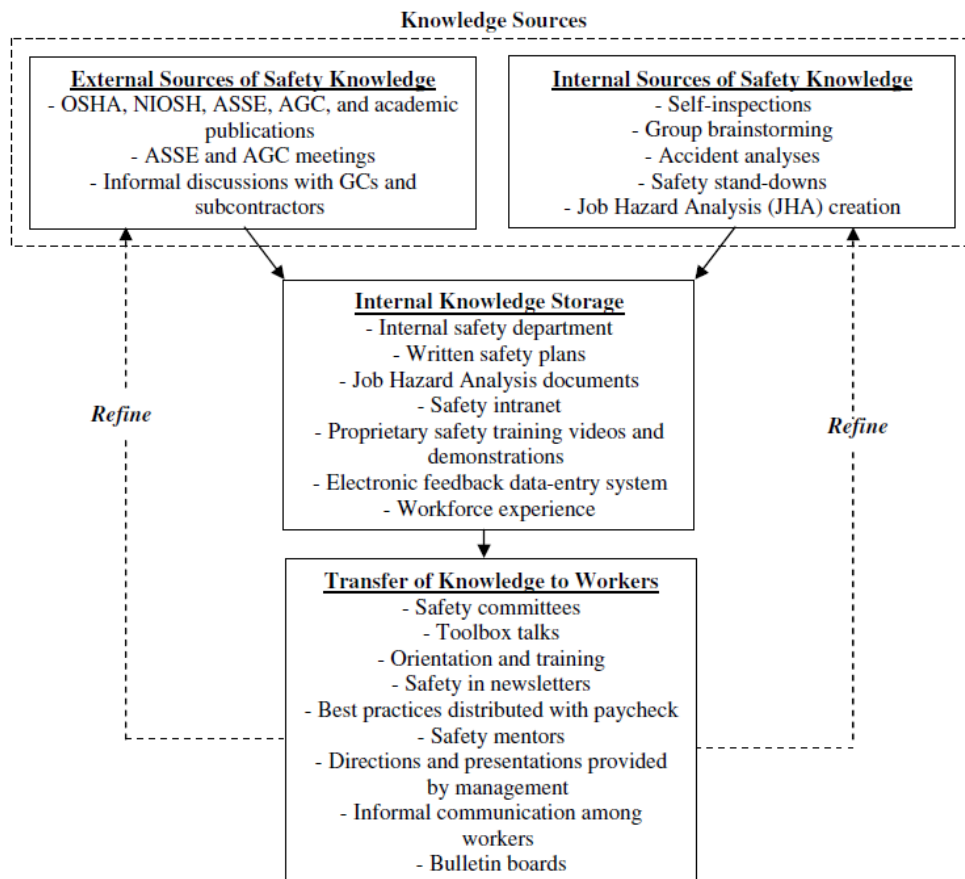
Yhteisöjen hyödyntämistä organisaation oppimisessa, hiljaisen tiedon jakamisessa ja turvallisuuden parantamisessa on hyödynnetty onnistuneesti muun muassa lääketeollisuudessa. Niiden toimivuus perustuu siihen, että projektikohtaisten tavoitteiden sijaan yhteisöt toimivat koko organisaatiota koskevien haasteiden ratkaisemiseksi ja muodostavat näin kunkin osa-alueen asiantuntijaryhmiä. Esimerkiksi lääkeyritys Pfizerillä on kahdenlaisia yhteisöjä, komiteoita (*councils*) ja verkostoja (*networks*) jotka toimivat lääketurvallisuuden parantamiseksi. Kukin komitea on muodostettu tuomalla yhteen tietyn aihealueen parhaat ja kokeneimmat osaajat. Verkostot taas koostuvat komiteoista poiketen täysin vapaaehtoisista ja toimivat enemmän käytännön tekemisen tasolla. Näin ne tuovat myös uusia näkökulmia ja toimivat myös vertaistukiryhmien tavoin. Yhteisöjen päätehtävänä voidaan nähdä projekteilla toimivien tiimien tukeminen kutakin osaamisaluetta koskevissa päätöksissä. Yhdistämällä organisaation sisältä jo löytyvää tietoa, yhteisöt ovatkin osittain korvanneet perinteisiä asiantuntija- ja konsulttirooleja (McDermott & Archibald 2010)

Hallowellin tutkimukset amerikkalaisten rakennusyritysten turvallisuustiedon johtamisesta paljastivat, että useimmilla rakennusyrityksillä oli lukuisia tapoja kerätä juuri näkyvää turvallisuustietoa, mutta tiedon taltiointi ja jakamiskeinot olivat puutteelliset. Tämä johti siihen, että kriittinen päätöksentekoa tukeva tieto oli vaikeasti löydettävissä eikä saavuta työntekijöitä oikea-aikaisesti. Tutkimukseen osallistuneesta yhdestätoista yrityksestä vain yhdellä oli käytössään hiljaisen tiedon keräämistä ja jakamista edistävä järjestelmä, jossa onnettomuuksia ja läheltä piti-tilanteita käytiin läpi kokoneiden työntekijöiden ja asiantuntijoiden kesken ja syntyneitä reaktioita ja mielipiteitä hyödynnettiin ennaltaehkäisevien ohjeiden laatimiseksi. (Hallowell 2012)

Tutkimusten pohjalta Hallowell kehitti rakennusalan turvallisuustiedon johtamiseen mallin, joka koostu kolmesta osasta, *tiedon keräämisestä, tiedon taltioinnista ja tiedon jakamisesta*. Malli on esitetty kuvassa 13. Tiedon kerääminen voidaan edelleen jakaa *ulkoiseen* ja *sisäiseen* tiedon keräämiseen. Ulkoisia tietolähteitä ovat muun muassa kansallisten ja kansainvälisten järjestöjen, korkeakoulujen, akateemikkojen ja yhteistyökumppa-

neiden tapaamiset, seminaarit ja julkaisut. Sisäisiä tietolähteitä ovat esimerkiksi tarkastukset ja auditoinnit, onnettomuustutkinnat, työvaiheista laaditut turvallisuussuunnitelmat, turvallisuuskokoukset ja aivoriihet. (Hallowell 2012)

Jotta kerättyä tietoa voidaan hyödyntää, tulee se kyetä varastoimaan. Hallowellin mukaan erityisesti hiljaisen tiedon varastoiminen on tärkeää, sillä muutoin se menetetään työntekijän vaihtaessa projektia tai työnantajaa. Tiedon taltiointiin mallissa hyödynnetään sisäisiä tietovarastoja joita ovat muun muassa erilaiset rekisterit yleisimmille vaaroille ja toimenpiteille, työturvallisuussuunnitelmille ja tapaturmatutkinnoille, koulutusmateriaalit ja videot tai esimerkiksi yhteinen työturvallisuuden intranet. Tiedon jakaminen mahdollistaa varastoidun tiedon löytämisen ja hyödyntämisen oikea-aikaisesti. Tutkimuksessa ne yritykset joilla oli käytössään useita tiedonjakotapoja ja hyödynsivät lisäksi hiljaisen tiedon jakamista tukevia menetelmiä kuten turvallisuuskeskusteluja ja mentorointia pärjäsivät muita paremmin. Muita tunnistettuja tiedonjakokanavia olivat esimerkiksi koulutukset, parhaiden käytäntöjen jakaminen, aamupalaverit, ilmoitustaulut ja turvallisuusaiheiset uutiset. (Hallowell 2012)



Kuva 13. Turvallisuustietojohtamisen malli rakennusyrityksessä (Hallowell 2012)

3.5.6 Käyttäytymiseen perustuva työturvallisuus

Behaviour Based Safety (BBS) on suuntaus työturvallisuusjohtamisessa, joka keskittyy poistamaan vaarallisia toimintatapoja ja vaikuttamaan vallitsevaan kulttuuriin tunnistamalla selkeitä kehityskohteita työntekijöiden käyttäytymisessä ja vaikuttamaan niihin ihmislähtöisin keinoin. BBS perustuu käyttäytymistutkimuksista saatuihin havaintoihin siitä, että toiminnan seuraukset (*consequences*) kuten palaute, tunnustukset ja palkitseminen ohjaavat ihmisten käyttäytymistä (*behaviour*) enemmän kuin henkilön saamat esitiedot (*antecedents*) kuten tiedotus, koulutus tai ohjaus, sillä jälkimmäisillä pyritään itseasiassa vaikuttamaan käyttäytymisen sijaan ihmisten asenteisiin. (HSA 2012) Kuitenkin asenteilla on havaittu olevan verrattain pieni merkitys todelliseen toimintaan nähden, sillä työntekijä jolla on joukon positiivisin asenne henkilökohtaisiin suojaimiin saattaa käytännössä olla se, joka käyttää niitä itseasiassa vähiten ja vastaavasti turvallisuuden tärkeyttä painottava esimies saattaa palkita työntekijöitä hyvästä tuottavuudesta, vaikka se on todellisuudessa saavutettu ottamalla turvallisuuden kannalta merkittäviä riskejä. Asenteiden onkin havaittu kuvaavan ennemminkin sitä, miten haluaisimme asioiden tapahtuvan, kun taas tekemiämme päätöksiä määrittää se, mitä kulloinkin näemme toimintamme välittömiksi seurauksiksi (Cooper 1994). Ratkaisua edellä kuvattuun ongelmaan kutsutaan BBS:ssä ABC-malliksi, jossa turvallisuusongelmien ratkaiseminen lähtee siitä, että turvallisista toimintatavoista tulee tehdä haluttavampia kuin epäturvallisista. BBS antaa tähän useita työkaluja, jotka ovat 1) käyttäytymismallin vahvistaminen, 2) palautteenanto ja 3) tavoitteiden asettamisen yhdistäminen annettuun palautteeseen. (HSA 2012)

Käyttäytymismallin vahvistamisella tarkoitetaan tapahtumaa, jossa käyttäytymisen seuraukset tekevät kyseenomaisen käyttäytymisen todennäköisemmäksi jatkossa. Käyttäytymismallin vahvistaminen voidaan edelleen jakaa positiiviseen ja negatiiviseen vahvistamiseen. Negatiivinen vahvistaminen perustuu toiminnan negatiivisiin seurauksiin, kuten sakkoihin tai rangaistuksiin. Koska negatiivinen vahvistaminen perustuu seurausten välttämiseen se ei kuitenkaan yksistään motivoi toimimaan normaalia paremmin vaan ainoastaan vaatimusten asettamalla minimitasolla. (HSA 2012). Tutkimuksissa on myös havaittu, että toimiakseen rangaistusmuotoisen vahvistamisen tulee seurata toimintaa paitsi välittömästi, myös jatkuvasti. Valvontaan perustuva rangaistusten antaminen ei siksi pysty kokonaan estämään epätoivottua käyttäytymistä, sillä valvova osapuoli ei välttämättä ole aina paikalla toiminnan tapahtuessa (Cooper 1994). Toisaalta toiminnan epätoivottujen seurausten korostaminen sattuneiden onnettomuuksien ja tapaturmien kautta on nähty potentiaalisena psykologisena vaikutuskeinona madaltaa työntekijöiden riskinottotasoa.

Positiivisessa vahvistamisessa käyttäytymiseen liitetään jokin palkinto, jonka saavuttamiseksi toimija pyrkii ylittämään itsensä ja toimimaan keskimääräistä paremmin. (HSA 2012). Sosiaaliset palkinnot kuten tunnustus ja kehuminen joissa osoitetaan työntekijän panos tärkeäksi ja merkitykselliseksi yrityksen toiminnan kannalta ovat osoittautuneet muita menetelmiä paremmiksi. Sen sijaan palkinnon sitominen materiaaliin hyötyihin

saattaa jopa vähentää halukkuutta toimia oikein, mikäli henkilö ei koe saavutettavaa palkintoa itselleen mieluisaksi tai hyödylliseksi (Cooper 1994). Toisaalta palkintojen sitominen rahaan on todettu parantavan toimintaa vain hetkellisesti, sillä työstä saatavan rahallisen korvauksen määrän voidaan nähdä vaikuttavan motivaatioon lähinnä negatiivisesti, mikäli työntekijä kokee korvauksen olevan liian pieni. Korvauksen määrän kasvattamisen ei sen sijaan ole havaittu lisäävän motivaatiota pitkällä aikavälillä, mikäli työn tuomat mahdollisuudet henkilökohtaiseen kehitykseen, vastuun kasvamiseen ja haasteisiin eivät samalla muutu. BBS:n mukaan onnistuneessa turvallisuusjohtamisessa pyritäänkin tunnistamaan tekijöitä, jotka työntekijät kokevat palkitseviksi ja hyödyntämään niitä haluttujen käytösmallien edistämiseksi (HSA 2012).

BBS korostaa palautteenannon merkitystä välineenä, jolla jaetaan tietoa käyttäytymisestä sekä sen vaikutuksista ja edistetään kommunikointia ja motivaatiota. Palautteenanto jakautuu edelleen positiiviseen ja rakentavaan palautteeseen, jossa positiivisella palautteella osoitetaan mahdollisimman selkeästi ja tarkasti mikä toiminta oli esimerkillistä ja miksi, ja rakentavalla palautteella täydennetään tai osoitetaan kehityskohteita toiminnassa parempien lopputulosten aikaansaamiseksi. Yhdistämällä palautteenannon järkeviin ja saavutettavissa oleviin muuta korkealle tähtääviin tavoitteisiin sekä mittaamalla tavoitteiden saavuttamista voidaan BBS:n mukaan vaikuttaa merkittävästi työntekijän motivaatioon ja edistää turvallisuuskäyttäytymisen muutosta. (HSA 2012)

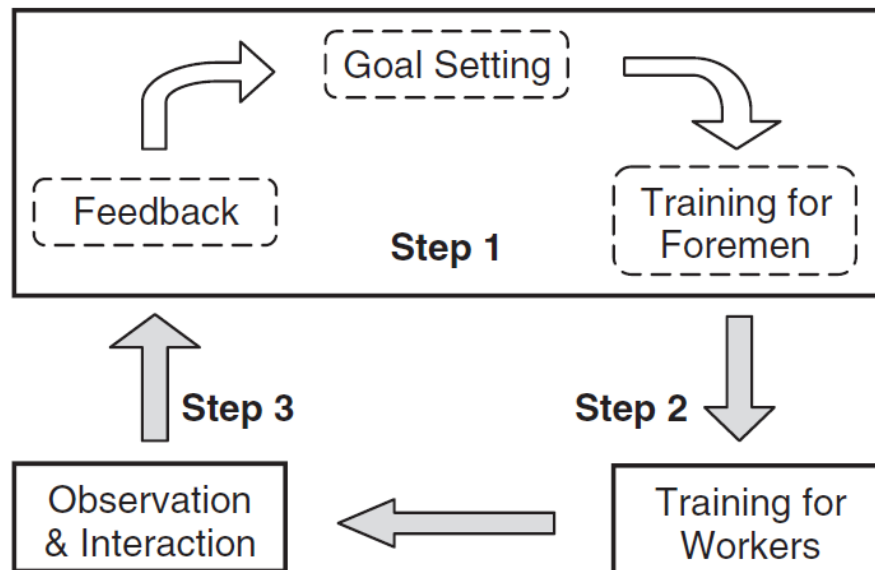
BBS:n oppeja sovelletaan erityisissä BBS-ohjelmissa, jossa vapaaehtoinen joukko työntekijöitä ja esimiehiä pyrkii yhdessä tunnistamaan kehityskohteita turvallisuudessa ja löytämään niihin ratkaisuja turvallisista toimintatavoista. Näistä turvallisuuden kannalta kriittisistä toimintatavoista luodaan tarkastuslista, jonka avulla toiminnan onnistumista pyritään mittaamaan säännöllisesti, esimerkiksi viikkotasolla. Mittaajina hyödynnetään työntekijöitä, jolloin mittaus perustuu vertaisarviointiin ja sillä on positiivinen vaikutus paitsi mitattavaan myös mittaajaan itsensä. Mittaajia säännöllisesti vaihtamalla edelliset mittaajat voivat toimia uusien mittaajien tukena ja mittaamisesta tulee yhteinen toimintatapa (HSA 2012)

BBS-ohjelmassa korostetaan välittömän palautteen merkitystä, jossa korostuu toiminnan seurauksista keskusteleminen ja mitattavien henkilöiden kuunteleminen. Mittauksien tulokset esitetään visuaalisessa ja helposti havaittavassa muodossa kaikkien osapuolten nähtävillä. Löytyneisiin ongelmakohtiin tulee suhtautua rakentavasti ja objektiivisesti sekä osoittaa työntekijöiden panoksen merkitys niiden löytymisessä. Mittauksista saatua tietoa hyödynnetään realististen uusien tavoitteiden asettamisessa. Halutusta käyttäytymisestä palkitaan työntekijöitä ja yhdessä asetettujen tavoitteiden saavuttamista juhlistetaan. (HSA 2012)

Käyttäytymiseen perustuvat turvallisuusjohtamisohjelmat on yhdistetty muun muassa lääketeollisuudessa, valmistavassa teollisuudessa, öljyteollisuudessa ja kaivosalalla jopa

40-75% laskuun tapaturmataajuuksissa (HSA 2012). Tulokset rakennusalalla ovat kuitenkin olleet vaihtelevia, sillä pysyvien muutosten aikaansaaminen on havaittu haasteelliseksi johtuen rakennusalalla jatkuvasti muuttuvasta toimintaympäristöstä ja aliurakointiin perustuvista urakkamalleista. Työntekijöiden vaihtaessa työvaiheita tai työmaita sitouttaminen, mittaaminen ja palkitseminen katkeavat, mikä tekee toiminnan jatkuvasta kehittämisestä haastavaa (Zhang & Fang 2012). BBS-ohjelmien toimivuutta tutkittaessa on myös havaittu, että koska ne perustuvat alhaalta ylöspäin johtamiseen, ohjelmat eivät toimi, mikäli alaiset eivät luota esimiehiinsä. Useat asiantuntijat ovatkin osoittaneet mielipiteensä siitä, että vaikka käyttäytymiseen perustuvat menetelmät ovat tehokkaita poistamaan niin kutsuttuja ”arkisia” tapaturmia toiminnan tasolla, ohjelmilla ei voida vaikuttaa sellaisiin tekijöihin joihin työntekijöillä ei ole vaikutusmahdollisuuksia. Niinpä BBS-ohjelmilla ei voida korvata organisaatiotasosta turvallisuusjohtamista ja johdon roolia turvallisen työn edellytysten mahdollistajana. (Hopkins 2006) (Baram & Schoebel 2007).

Käyttäytymiseen perustuvasta työturvallisuusjohtamisesta on esitetty muutamia rakennusalalle sovellettuja malleja, jotka yrittävät ratkoa edellä mainittuja haasteita. Muun muassa Zhangin ja Fangin esittämä *Supervisory-Based Intervention Cycle* pyrkii ottamaan huomioon sekä työnjohdon roolin ja vastuut, että rakennustyön muuttuvan ja aliurakka-painotteisen luonteen. Se esittää kolmiosaisen jatkuvan toimintakehän, jonka *ensimmäisessä* osassa pääurakoitsijan ja aliurakoitsijan työnjohto käyvät läpi aiemman BBS mittausjakson tuloksia työmaan työturvallisuudesta vastaavan työnjohtajan johdolla. Tuloksia ei yksilöidä henkilötasolle, vaan urakoitsijoiden toimintaa vertaamalla pyritään tuottamaan sosiaalista vertaispainetta, jonka jälkeen uudelle mittausjaksolle asetetaan kaikkien osapuolten yhdessä hyväksymät tavoitteet. Tämän jälkeen työnjohdon kanssa käydään avoin keskustelu parhaista toimintatavoista sekä mahdollisista haasteista tavoitteisiin pääsemiseksi. Kehän *toisessa* vaiheessa kunkin urakoitsijan työnjohto jalkauttaa ensimmäisen osan tiedot työntekijöille osana päivittäistä käskynjakoa, esittämällä aikaisemman mittausjakson tulokset, osoittamalla kehityskohteet ja uudet valitut tavoitteet, sekä keskustelemalla työntekijöiden kanssa tavoitteisiin pääsemisestä. *Kolmannessa* vaiheessa pääurakoitsijan turvallisuudesta vastaava työnjohtaja kiertää työmaan tarkastuslistan kanssa läpi osana viikkotarkastusta ja poikkeamia havaitessaan keskustelee työntekijöiden kanssa siitä, miksei turvallisia toimintatapoja noudatettu. Mittausjakson päätyttyä kehä alkaa alusta ja edellisen jakson tulokset sekä työntekijöiltä saatu palaute käydään läpi. SBIC:ssä mittausjakson kesto ei ole sidottu, vaan on riippuvainen työmaavaiheesta ja urakoitsijatilanteesta. (Zhang & Fang 2012) SBIC on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Supervisory-Based Intervention (Shang & Fang 2012)

Choudhry esittää, että pääurakoitsijalla on mahdollisuus vaikuttaa työmaan kokonaisturvallisuuteen vastuuttamalla BBS-mittausten tekemistä aliurakoitsijoille. Clouthuryn mallissa tarkastuslistan laatimisen jälkeen kaikille työntekijöille jaetaan kirjalliset ohjeet siitä, millaisia riskejä tarkastuslistalla oleviin toimintatapoihin liittyy ja miten halutun turvallisuustason saavuttamiseksi tulee toimia. Mittauksien tulokset esitetään kaikille työntekijöille näkyvillä olevilla paikoilla, kuten työmaan infotauluilla. Mittauksia jatketaan niin kauan kunnes jokin mittaroitava asia on saavuttanut 100%:sen turvallisuuden tason, jonka jälkeen sen tilalle valitaan uusi mitattava toimintatapa ja laaditaan sen saavuttamiseksi uudet ohjeet. (Choudhry 2014)

3.5.7 Kulttuuriin perustuva työturvallisuus

Turvallisuuskulttuuri on organisaatiokulttuurin erikoistapaus, jolla organisaatiokulttuurin tavoin ei ole olemassa tarkkaa määritelmää. Turvallisuuskulttuurilla voidaan nähdä koelmana niitä ideoita, ajatuksia ja uskomuksia jotka organisaation jäsenet jakavat keskenään vaaroista, riskeistä ja tapaturmien seuraamuksista. Toisaalta turvallisuuskulttuuri voidaan nähdä organisaation ominaisuutena ja kykynä ymmärtää millaista on turvallinen toiminta, millaisia vaaroja organisaation toimintaan liittyy ja miten niitä ehkäistään. Jälkimmäinen määritelmä mahdollistaa myös turvallisuuskulttuurin mittaamisen. Organisaatiokulttuurin tavoin turvallisuuskulttuuri on dynaaminen ja jatkuvassa muutoksessa ja siinä voi ilmetä myös erilaisia ammattiryhmiin tai alueelliseen jakautumiseen perustuvia alakulttuureja. Reimanin mukaan kaikki kulttuurit perustuvat perustehtävän ympärille, jolla tarkoitetaan yleistä tehtävää tai missiota jota varten organisaatio on olemassa. Turvallisuuskulttuurin perustehtävänä voidaan nähdä turvallisuuden edistäminen. Kulttuurin ja käyttäytymisen suhdetta voidaan luonnehtia kaksijakoiseksi, sillä ne ovat jatkuvassa vuorovaikutuksessa keskenään. Turvallisuuskulttuuriin liittyy olennaisena osana myös

organisaation arvot, sillä vallitseva turvallisuuskulttuuri on sidoksissa käyttäytymiseen juuri yksilön arvomaailman kautta. (Reiman et. al. 2008)

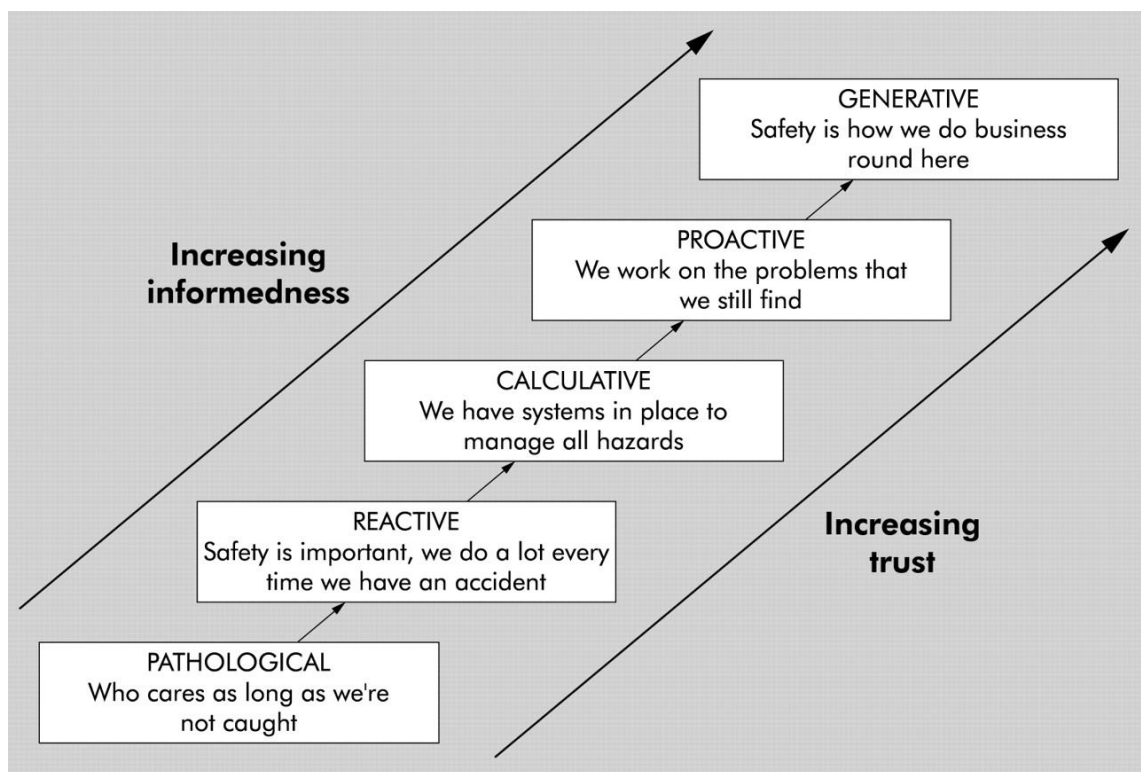
Kiinnostus turvallisuuskulttuuriin ja siihen perustuvaan työturvallisuusjohtamiseen nousi tiettävästi esiin ensimmäistä kertaa esille Chernobylin ydinonnettomuuden jälkeen, jolloin onnettomuustutkinta nimesi teknisiin ja käyttäytymiseen liittyvien syiden lisäksi koko organisaatiota koskettavia syitä, jotka liittyivät yleiseen asennoitumiseen turvallisuutta kohtaan. (Reiman et. al. 2008) Turvallisuuskulttuurin perustuva työturvallisuusjohtaminen korostaa johdon esimerkkiä ja asenteita turvallisuuden edistäjänä mutta näkee samalla turvallisen toiminnan koko organisaation yhteisenä vastuuna. Siihen yhdistetään tyypillisesti myös parhaiden toimintatapojen jakaminen ja turvallisuusymmärryksen kehittäminen koko organisaatiossa. Turvallisuuskulttuuriin liittyvää tutkimusta onkin kutsuttu turvallisuuden kolmanneksi aikakaudeksi (Hale & Hovden 1998). Turvallisuuskulttuuriin perustuvia turvallisuusohjelmia kuten ”Safety First” ja ”Zero Incident” on kuitenkin samalla kritisoitu siitä, että ne ovat lähinnä ideaalisia ja abstrakteja eivätkä tarjoa käytännön ratkaisuita itse tekemisen tasolla. Koska turvallisuuskulttuurin voidaan nähdä koskettavan kaikkea yrityksen toimintaa, on siitä tullutkin trendisana jolla ei ole selkeää merkitystä. (Reiman et. al. 2008)

Hudson tunnistaa yritysten turvallisuuskulttuurin kehityksessä viisi erilaista vaihetta joiden myötä organisaation turvallisuustietoisuus ja luottamus kasvavat. Tämä kehitys on esitetty kuvassa 15. Vaiheet ovat: (Hudson 2003)

1. Patologinen: Turvallisuus nähdään ongelmana, joka johtuu työntekijöiden toiminnasta. Suhtautumien turvallisuuteen on välinpitämätön ja turvallisuustyön ajureina toimivat liiketoiminnalle syntyvien kustannusten laskeminen sekä halu välttää säännösten rikkomisesta koituvat rangaistukset.
2. Reaktiivinen: Organisaatio suhtautuu tapaturmiin vakavasti mutta toimenpiteet ovat korjaavia ja niihin ryhdytään vasta onnettomuuksien synnyttyä.
3. Laskelmoiva: Turvallisuustyötä hallitaan ohjausjärjestelmällä, jonka avulla kerätään suuria määriä tietoa vaaroista ja niiden hallintatoimenpiteistä. Turvallisuutta johdetaan ylhäältä alaspäin.
4. Proaktiivinen: Turvallisuustyö on ennakoivaa ja siinä hyödynnetään toiminnasta kerättyä tietoa, mutta sille asettavat haasteita vaarat joita ei osata ennalta tunnistaa. Turvallisuusjohtamisessa hyödynnetään alhaalta ylöspäin johtamista.
5. Generatiivinen: Turvallisuuteen osallistutaan kaikilla organisaation tasoilla ja se on erottamaton osa yrityksen toimintaa. Organisaatio suhtautuu turvallisuuteen huolehtivasti ja välittäen.

Edistynyt turvallisuuskulttuuri on Hudsonin mukaan sellainen jossa: (Hudson 2003)

1. Kaikki organisaation tasot ovat tiedotettuja turvallisuudesta ja sen kulloisestakin tasosta. Turvallisuustietoisuus perustuu yksilöiden haluun etsiä ja jakaa tietoa ja sen mahdollistavat kommunikointia tukevat tiedonjakokanavat ja -järjestelmät.
2. Koko organisaatiossa vallitsee keskinäinen luottamus. Luottamus perustuu kokemukseen oikeudenmukaisesta kohtelusta sekä tiedon avoimuuteen ja läpinäkyvyyteen.
3. Organisaatio on joustava ja haluaa oppia muutoksesta. Toiminnassa kohdatut haasteet, mahdollisuudet sekä läheltä piti -tilanteet nähdään tilaisuuksina oppia toimimaan turvallisemmin ja niitä jaetaan aktiivisesti koko organisaatiossa.
4. Organisaatio palkitsee onnistumista muttei suhtaudu turvallisuuteen pysyvänä tai oikeudenmukaisena tilana, vaan varautuu jatkuvasti uusiin ja odottamattomiinkin haasteisiin jopa siellä missä ne vaikuttavat epätodennäköisimmiltä.



Kuva 15. Turvallisuuskulttuurin kehitys (Hudson 2003)

Käytännön keinot vaikuttaa turvallisuuskulttuuriin perustuvat usein turvallisuuskulttuuriohjelmiin joilla pyritään vaikuttamaan ihmisten käyttäytymiseen ylhäältä alaspäin. Ne lähtevät perinteisesti kyselyiden ja haastatteluiden pitämisestä joilla pyritään kartoittamaan organisaation turvallisuuskulttuurin nykytilaa ja vertaamaan sitä parhaisiin käytäntöihin. Kyselyiden laajuus ja aihealueet voivat vaihdella henkilökohtaisten suojaimien saatavuudesta aina yksilöiden tärkeimmäksi kokemiin turvallisuusarvoihin ja niitä voidaan myös toteuttaa erilaisille kohderyhmille työntekijöistä keskijohtoon. Tuloksien perusteella pyritään pitämään erilaisia työpajoja ja ratkaisuihin tähtääviä kehityskeskuste-

luja joiden perusteella ylin johto vahvistaa ja sitoutuu toimenpiteisiin, joilla turvallisuuden merkitystä korostetaan puutteellisilla alueilla organisaation toiminnassa. (Dejoy 2005)

DeJoy näkee turvallisuuskulttuuriohjelmien haasteena sen, että vaikka ne pyrkivät koskettamaan koko organisaatiota tuottavat niiden tarjoamat menetelmät kuten haastattelut hyvin subjektiivista tietoa päätöksenteon tueksi. Kuitenkin toimenpiteistä päätetään tyyppillisesti korkealla tasolla organisaatiossa ja ne harvoin tarjoavat konkreettisia menetelmiä työympäristöjen vaarojen poistamiseen. Ohjelmien riskinä on myös se, että työntekijöiden vaikuttamismahdollisuudet jäävät pieniksi ja tuloksia on vaikea mitata ja arvioida. (Dejoy 2005) Turvallisuuskulttuuriin muutokseen tähtäävät ohjelmat on myös koettu haasteelliseksi etenkin projektiperusteisessa liiketoiminnassa, jossa tuotanto on pilkottu pieniin osakokonaisuuksiin joita suorittavat erilliset toimijat. Tällöin projektien lyhytaikainen kesto ja työvoiman vaihtuvuus asettavat erityishaasteita kulttuuriin vaikuttamiselle ja vahvistamiselle. Siksi onkin esitetty, että projektiliiketoiminnassa turvallisuuskulttuuria tulisi lähestyä mikrokulttuurien kautta, joissa koko organisaatiota koskevista parhaista käytännöistä valitaan hyödynnettäväksi juuri ne jotka palvelevat parhaiten kulloistakin projektia. (Mathis 2014)

Aikaisemmissa luvuissa esitettyjä työturvallisuusjohtamissuuntauksia on vertailtu taulukoissa 2 ja 3. Taulukoihin on kuvattu lyhyesti suuntauksien taustavaikutukset, perusperiaatteet ja menetelmät. Lisäksi suuntauksia on vertailtu sekä työturvallisuusjohtamisen että rakennusalalle soveltumisen näkökulmasta haasteiden ja mahdollisuuksien kautta. Vaikka suuntauksien välillä voidaan nähdä tietynasteista vastakkainasettelua, lähestyvät kaikki suuntaukset kuitenkin samaa ongelmaa eri näkökulmista. Kirjallisuuskatsauksen perusteella yksikään suuntauksista ei osoittautunut rakennusalalle sopimattomaksi, ja koska suuntaukset täydentävät toisiaan päästään parhaaseen lopputulokseen todennäköisimmin yhdistelemällä elementtejä useammasta suuntauksesta.

Työturvallisuusjohtamissuunnaukset	Vaikutteet	Peruseriaatteet	Menetelmät	Vahvuudet	Heikkoudet	Mahdollisuudet rakennusosalalle	Haasteet rakennusosalalle
Tuotantosuunnitteluun perustuva	-	Työturvallisuutta on mahdollista parantaa nimillä se osaksi normaalia tuotantosuunnittelua ja valvontaa	Aikataulu-, resurssi-, kalusto-, logistiikka ja työvähesuunnittelu	Lainsäädännön velvoitteiden täytyminen	Ei anna työkaluja työntekijöiden toimintaan vaikuttamiseen, jolloin riskinä on tuotantoympäristön vaarojen korostuminen	Tuotantopaineiden aiheuttamien etu- ja resurssiiritojen välttäminen ja vaikutusmahdollisuudet työkuormaan ja virhealtiuteen	Rakennussuunnittelulla merkittävä vaikutus tuotantoympäristön turvallisuuteen, mutta suunnittelijoiden ymmärrys ja kommunikaatio vaarantekijöistä ja niiden poistamisesta puutteellista
Lean-ajatteluun perustuva (<i>Lean Safety</i>)	Toyota Production System	Tapaturmat ja läheiltä piti -filantteet synnyttävät hukkaa prosessissa. Vähentämällä työväheisiin kuluva aikaa, siirtymä, työvälineitä ja materiaaleja voidaan vähentää myös työympäristön vaaroja ja niille altistumista	Kanban, Gemba, Kaizen, 6S	Läpinäkyvyyden, vuoroittamisen ja vaaroista kommunikoinnin kasvaminen	Väärin ymmärrettynä saattaa johtaa työn kuormittavuuden kasvuun ja rasitusperäisten sairauksien ja tapaturmien lisääntymiseen	Rakennusosalalle sovellettu Last Planner yhdistetty myös tapaturmantaajuuden laskuun	Riskien ja hukan tasapainottaminen lyhyellä aikavälillä kustannusparannuksissa ja aikataulunhallinnallisesti haastavassa ympäristössä
Systeemiajatteluun perustuva (SE)	Systeemitheoria, Systemiturvallisuus, <i>Normal Accident Theory (Perrow 1984)</i>	Teknologian kehityksessä sosiotekniset systeemit ajautuvat väijäämättä korkeamman riskin tilaan. Parantamalla osatekijöiden luotettavuutta ei voida merkittävästi parantaa kokonaisturvallisuutta. Systeemiä on mahdollista saada turvallinen vähentämällä sen kompleksisuutta ja riippuvuuksuhteita	Systeemin kuvaaminen hierarkkisen prosessina. Toiminnan reunaehtojen määrittäminen sekä tarkkaan valittujen kontrollien, palautekanavien ja mittareiden asettaminen.	Kokonaisvaltainen holhittinen malli, joka huomioi sekä teknologian että ihmisten toiminnan kokotoimintaympäristössä	Ei esitä käytännön menetelmiä turvallisuuden parantamiseksi vaan keskittyy turvallisuuteen systeemitasolla	-	Toimialan korkea alitrukoituste, vaihtelevat hankemuodot ja kirjavat sopimuskäytännöt lisäävät toiminnan kompleksisuutta, vaikeuttavat systeemin kuvaamista ja asettavat haasteita palautekanavien toimivuudelle.

Työturvallisuusjohtamissuunnaukset	Vaikutteet	Peruseriaaiteet	Menetelmät	Vahvuudet	Heikkoudet	Mahdollisuudet rakennusallalle	Haasteet rakennusallalle
Resilienssiin perustuva (RE)	<i>High Reliability Organization (Laporte et al. 1986)</i>	Turvallinen toiminta on mahdollista korkeista riskeistä ja kompleksisuu-desta huolimatta. So- sioteknisiin systeemiin liittyy aina variaatiota, joka mahdollistaa sekä epäoivottun että odotukset ylittävän lopputuloksen	Ymmärryksen kasvatta- minen siitä miten työ to- dellisuudessa tehdään. Organisaation kyvyk- kyiden kasvattaminen vastaamaan variaation mukanaan tuomiin haas- teisiin ja tarttumaan mahdollisuuksiin	Painotuksen siirtäminen ennakkosuunnittelusta tilannetietoisuuden ja harkintakyvyn lisäämi- seen sekä positiivisten ja negatiivisten poik- keamien tarkasteluun	Edellyttää henkilöstön kyvykkyyden kasvatta- mista tai johtaa reaktiivi- seen toimintatapaan	Projekti-kohtaisen ja vai- keasti ennakoitavan vaihtelun hyödyntämi- nen toiminnan kehittä- miseksi	Haasteisiin ja mahdollii- suuksiin tarttuminen yli projektien, alalla vallit- seva matala ilmoitus- kulttuuri, sekä niukat re- sursit henkilöstön ky- vykkyyden kasvattami- seen
Tietojohdantamiseen perus- tuva (KM)	Tietojohdantamistutkimus	Työturvallisuutta on mah- dollista parantaa luomalla edellytykset turvallisuus- tiedon syntymiselle, va- rastoimille ja oikea-aikai- selle hyödyntämiselle. Hiljaisen ja näkyvän tie- don virtaaminen sekä yh- distäminen keskenään.	Sisäiset ja ulkoiset tieto- lähteet, tiedon taltiointi sekä jakaminen. Yhtei- söjen ja verkostojen hyödyntäminen innovaa- tioiden synnyssä.	Tiedon analysointi ja hyödyntäminen päätök- senteon tukena, tiedolla johtaminen	Korostaa koulutuksen merkitystä, vaikka todel- lisuudessa yksilö usein toimii saaduista esite- doista poikkeavasti	Oikea-aikaisen tiedon saavuus ja hyödyntä- minen nopeista toimin- taympäristön muutok- sista huolimatta	Lyhyen aikavälin tavoit- teet, tiedon hyödynnettä- vyyksiä yli projektien, työ- voiman korkeaa vaihtu- vuus, tiedon siirtyminen lukuisten sidosryhmien välillä
Käyttämiseen perus- tuva (BBS)	Käyttäytymispsykologia	Toiminnan seuraukset kuten palaute, tunnus- tukset ja palkitseminen vaikuttavat turvallisuus- käyttäytymiseen eneni- män kuin saadut esite- dot. Kulttuuriin vaikut- taminen alhaalta ylös- päin	Työntekijöiden osallista- minen tavoitteiden aset- tamiseen ja toiminnan mittaamiseen, tulosten visualisointi, palautteen- anto ja onnistumisista palkitseminen	Toiminnan mittaaminen ja tuloksien todennetta- vuus helppoa, osallis- tava ja vapaaehtoisuu- teen perustuva, yhdis- tetty toistuvasti tapatur- matajuuksien laskuun	Ei huomioi ympäristöä johtuvia vaaroja, riskinä työntekijöiden syyllistä- minen ja edellyttää kor- keaa luottamusta, keskit- tyy ongelmiin toiminnan tasolla eikä korvaa organi- saatiotasoisista turvallisuus- johtamista ja johdon roo- lia	Rakennusallalle oikein sovellettuina mahdolli- suus saavuttaa muita toi- miaoloja vastaavia tulok- sia	Vaikutusmahdollisuus- sien rajallisuus aliura- koituissa urakkamal- leissa, toiminnan jatku- vuuden katkeaminen
Kulttuuriin perustuva	Organisaatiokulttuuritut- kimus, Chemobylin on- nettomuustutkimus (1986)	Kulttuuriin vaikuttami- nen ylhäältä alaspäin, johdon sitoutuminen ja esimerkillä johtaminen	Kulttuuritutkimukset ja haastattelut, toiminnan vertaaminen parhaisiin käytäntöihin, työpajat, johdon määrittämät toi- menpiteet ja turvalli- suusohjelmat	Kokonaisvaltainen ja koko organisaatiota osallistava, edistää hyviä toimintatapoja	Riippuvainen rajauk- sesta, tavoitteet usein abstrakteja ja tulokset subjektiivisia ja vaike- asti mitattavia, riskinä toimenpiteiden jääminen yllätosalle	Parhaiden käytäntöjen soveltaminen projekti- kohtaisesti	Kulttuuriin vaikuttami- sen haasteet lyhykestoi- sissa ja lukuisia osapuo- lia sisältävissä projek- teissa

3.6 Työturvallisuuden mittarit ja indikaattorit

Turvallisuustoiminnan tavoitteita on kyettävä mittaamaan, sillä ainoastaan toimintaa, jonka vaikutusta kyetään arvioimaan, voidaan ohjata ja johtaa onnistuneesti (Leppänen 2006). Käytettävien mittareiden lähtökohtana tulisi olla aina organisaation strategia ja ne tulisi valita niin että ne tukevat toimialan tarpeita ja tuottavat tietoa toiminnan kehittämistä varten. Hyvien mittareiden piirteitä ovat muun muassa: (Tappura et. al. 2010) (Young & Lunsford 2017)

- objektiivisuus ja luotettavuus
- yksinkertaisuus, selkeys ja tarkkuus
- helppo kommunikoidavuus ja jaettavuus sekä henkilöstölle että ulkopuolisille osapuolille
- soveltuvuus eri kohderyhmille ja liiketoiminnan osa-alueille
- hyödynnettävyys pitkän aikavälin arvioissa
- hyödynnettävyys päivittäisessä johtamisessa

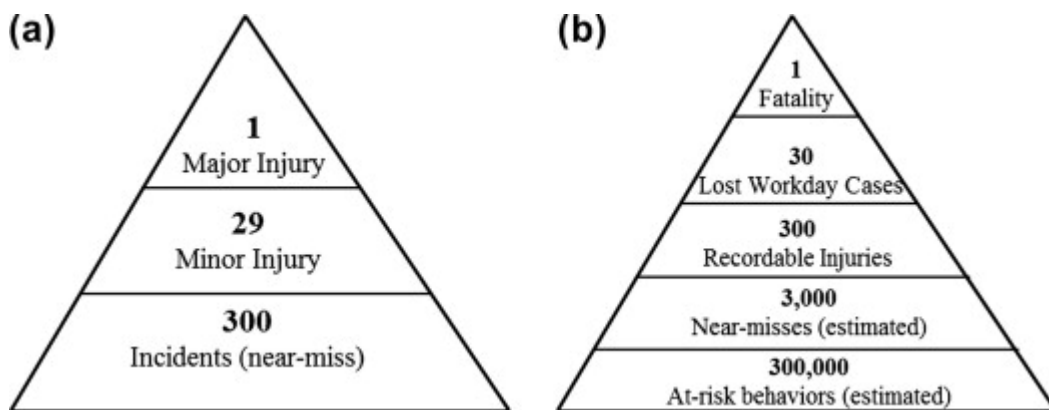
Turvallisuusmittarit voidaan jakaa laahaaviin eli jälkikäteisiin mittareihin ja ennakoiviin mittareihin. Laahaavat mittarit ovat luonteeltaan reaktiivisia ja perustuvat poikkeamien kirjaamiseen, kun toiminnassa on jo tapahtunut jokin epätoivottu tapahtuma. Laahaavia työturvallisuusmittareita ovat esimerkiksi: (Tappura et. al. 2010)

- omalle henkilöstölle tai aliurakoitsijoille sattuneiden tapaturmien määrä
- tapaturmataajuus suhteessa tehtyihin työtunteihin
- tapaturmaesiintyvyyden suhteessa henkilöstön määrään
- tapaturmapoissaolopäivien määrä
- tapaturmien vakavuus suhteessa poissaolopäivien määrään
- tapaturmapoissaoloprosentti
- tapaturmien aiheuttamat kustannukset

Perinteiset turvallisuusmittarit eivät useinkaan mittaa toiminnan onnistumista systeemitasolla, vaan painottaessaan mittaamisen helppoutta ne kohdistuvat pääosin toiminnan tasolle. Tällöin tullaan mitanneeksi onnettomuuksien aktiivisia syitä, joiden seuraukset ovat usein välittömiä ja johtuvat poikkeamista yksilöiden toiminnassa. Sen sijaan latenteja piileviä syitä, jotka voivat olla juurtuneet organisaation toimintatapoihin ja rutiineihin ei huomioida. (Tilcsik & Clearfield 2017) Esimerkiksi tapaturmataajuus ei kerro suoraan mitään siitä, miten turvallista eri osapuolten toiminta on, vaan mittaa itseasiassa toteutuneiden riskien lukumäärää. Hollnagelin mukaan turvallisuuden mittareiden tulisi olla sellaisia, että ne mittaisivat turvallisen toiminnan lisääntymistä, eivätkä tehtyjen virheiden vähenemistä (Hollnagel 2017) Laahavien mittareiden haasteena on myös se, että koska ne perustuvat historiallisiin tietoihin ei niiden perusteella voida perusteellisesti arvioida tulevaa toiminnan tasoa. Niitä ei myöskään voida suoraan hyödyntää ennaltaehkäisevien

toimenpiteiden määrittämiseen, sillä niiden avulla saatava tieto kertoo aiempien toimenpiteiden epäonnistumisesta yleisellä tasolla. (Hinze et. al 2012)

Muun muassa Heinrich sekä myöhemmin Massimore ovat esittäneet arvionsa vakavien tapaturmien suhteesta työolosuhteissa tapahtuviin lievempiin tapaturmiin ja läheltä piti-tilanteisiin korostaen ennakoivan turvallisuustyön merkitystä. (Heinrich et. al 1980) (Massimore 2007) Heinrichin ja Massimoren tapaturmakolmiot on esitetty kuvassa 16. Tapaturmakolmioita on kritisoitu muun muassa siitä, että ne ohjaavat turvallisuustoimintaa keskittymään pieniin onnettomuuksiin, joiden juurisyillä kuitenkin on harvoin tekemistä vakavien ja kuolemaan johtavien onnettomuuksien kanssa. Toisaalta niiden kuvaamaa jakaumaa voidaan hyödyntää mittaamaan vallitsevaa turvallisuuskulttuuria tilastollisin keinoin.



Kuva 16: Vakavien tapaturmien suhde läheltä piti -tilanteisiin (Heinrich et. al. 1980) (Massimore 2007)

Ennakoivat mittarit ovat proaktiivisia mittareita, joiden avulla voidaan ennakoida toiminnan kehitystä ja määrittää toimenpiteitä jo ennen riskien toteutumista ja epätoivottujen tapahtumien syntyä. Siinä missä tapaturmien seuraaminen on laahaava mittari, voidaan läheltä piti -tilanneilmoitukset nähdä joko laahaavina tai ennakoivina mittareina riippuen näkökulmasta. 1) Mikäli läheltä piti -tilanne käsitetään tapahtumana, jossa ainoa tekijä joka esti tilannetta johtamasta henkilövahinkoon oli onni, on läheltä piti -tilanteiden seuraaminen laahaava mittari. Tällöin se kertoo turvallisuudenhallintatoimenpiteiden epäonnistumisesta ja johtaa toimenpiteisiin joissa tapahtuma tutkitaan perinteisin tapaturmatutkiminnan keinoin selvittämällä tilanteeseen johtaneet juurisyöt ja määrittämällä toimenpiteet joilla estetään tilanteen toistuminen. 2) Toisaalta läheltä piti -tilanne voidaan nähdä tapahtumana, jossa vakavampi onnettomuus pystyttiin välttämään. Tällöin se voidaan nähdä ennakoivana mittarina, joka mittaa turvallisuudenhallintatoimenpiteiden onnistumista tapaturmien estämiseksi ja tilanteet pyritään tutkimaan, jotta saadaan selville mikä

henkilöiden toiminnassa ja olosuhteissa estivät vakavamman onnettomuuden toteutumisen. Tällöin läheltä piti -tilanteet ovat ennakoiva mittari.

Ennakoivat mittareilla seurataan yleensä tekijöitä, joilla on olemassa suora tai epäsuora syy-seuraussuhde tapaturmiin ja ne voivat olla määrällisiä tai laadullisia. Niitä on kuvattu myös positiivisiksi mittareiksi, sillä laahaavien mittareiden sijaan ne kertovat siitä mitä ihmiset tekevät, eikä keskity siihen mitä he eivät ole tehneet. Ennakoivat mittarit onkin laahaavien mittareiden sijaan mahdollista kohdistaa eri turvallisuuden *sidosryhmiin* organisaation kaikilla tasoilla ja niillä voidaan mitata ylimmän johdon lisäksi esimerkiksi keskijohdon, työntekijöiden, työnjohdon, aliurakoitsijoiden, tilaajien, valvojien ja suunnittelijoiden toimintaa. Ennakoivia rakennusalalle soveltuvia mittareita ovat esimerkiksi: (Tappura et. al 2010) (Hinze et. al 2012)

- Turvallisuushavaintojen määrä
- Turvallisuuskierroksien määrä ja osallistumisaste rooleittain
- Työturvallisuusauditointien määrä
- Työturvallisuuskoulutuksien määrä ja henkilöstön koulutusaste
- Työmaalla pidettävien turvallisuuskokousten määrä ja osallistumisaste rooleittain
- Työilmapiiri ja työntekijätyytyväisyyskyselyt
- Henkilöstön osallistumisprosentti turvallisuuskomiteoihin rooleittain
- Työkykyä ylläpitävä TYKY-toiminta
- Laadittujen työturvallisuussuunnitelmien määrä
- Tehtyjen vastaanotto- ja käyttöönottotarkastusten määrä

Tehokas turvallisuusmittaristo sisältää tyypillisesti sekä ennakoivia että laahaavia mittareita (Tappura et. al. 2010). Onnistuneen mittariston edellytyksenä voidaan pitää myös johdon sitoutumista käytettäviin mittareihin ja aktiivista seurantaa (Hinze et. al. 2013) Jotta mittareilla voidaan aidosti vaikuttaa päivittäiseen johtamiseen, tulee niiden olla läpinäkyviä, reaaliaikaisia ja mahdollisimman visuaalisesti ja helposti esitettävissä ja saatavissa. Niiden tulee lisäksi tarjota roolipohjaista ja personoitua tietoa, sekä olla sidottu ilmoitukseen, mikäli toiminnan taso poikkeaa ennalta määritetyistä turvarajoista. Nykyään on alettu puhua myös trendiin perustuvista ennustavista eli prediktiivisistä mittareista, jolloin ilmoitukset perustuvat tilastolliseen mahdollisuuteen rajojen ylittymisestä tulevaisuudessa.

Työturvallisuusindeksi

Työturvallisuusindeksi on yhdistelmäindeksi, jossa työturvallisuuden kannalta tärkeimmät ennakoivat mittarit on yhdistetty yhdeksi kuvaajaksi. Työturvallisuusindeksi voidaan räätälöidä omanlaisekseen organisaation eri tasojen ja roolien mukaan, ja siksi siihen tu-

levien mittareiden valinnassa tulisikin hyödyntää henkilöitä joita mittaus koskee. Indeksien pääpaino ei myöskään ole siitä saatavissa luvuissa tai eri ryhmien indeksien vertaamisessa, vaan muutoksen ja kehityksen suunnan kuvaamisessa. (Tappura et. al 2010)

TR-mittari

TR-mittari on suomalainen talonrakennusalalla käytetty turvallisuusmittari, joka korvaa lakisääteisen työmaan viikkotarkastuksen. TR-mittarin maa- ja vesirakennusalalle sovellettua versiota kutsutaan MVR-mittariksi. TR-mittaus toteutetaan rakennustyömaan turvallisuuskierroksena, jonka aikana tehdään havaintoja työmaan työympäristöstä ja työmaalla työskentelevien toiminnasta. havainnot kirjataan *kunnossa* tai *ei-kunnossa* periaatteella ennalta määritettyyn kategorisointiin perustuen. Näistä edelleen lasketaan TR-prosentti vähentämällä löytyneiden puutteiden lukumäärä kaikkien havaintojen lukumäärästä ja jakamalla tämä koko havaintomäärällä. TR-mittauksen hyvänä puolena voidaan pitää sitä, että se pyrkii mittamaan työmaan kokonaisturvallisuuden tasoa huomioimalla myös positiivisen turvallisuustoiminnan. Koska turvallisuuskierrokselle osallistuu myös työntekijöiden edustaja, osallistaa menetelmä työntekijöitä vaarojen tunnistamiseen ja arviointiin sekä edistää työnjohdon ja työntekijöiden välistä turvallisuuskeskustelua ja näkökulmien vaihtoa. Kierroksen aikana tehtyjä positiivisia havaintoja ei kuitenkaan osoiteta kenellekään, vaan menetelmä keskittyy puutteiden korjaamiseen. Samalla menetetään kuitenkin positiivisesta vahvistamisesta saatavat hyödyt.

TR-kierros on kerran viikossa tapahtuva kierros, joka alan yleisen tavan mukaan toteutetaan ennalta sovittuna ajanhetkenä. Tämä mahdollistaa sen, että työmaahenkilöstö ehdollistuu kierrokseen ja pyrkii poistamaan työympäristössä olevia vaaroja juuri ennen kierrosta tai käyttäytymään sen aikana normaalia turvallisemmin esimerkiksi pukeutumalla henkilökohtaisiin suojaimiin välttääkseen huonon tuloksen. TR-kierroksella ei voidakaan korvata päivittäistä työympäristön havainnointia ja poikkeamiin puuttumista. Mittaustapaa voidaan myös pitää hyvin subjektiivisena ja mikäli sen hoitaa työmaalla toistuvasti sama henkilö on vaarana tutulle työympäristölle sokeutuminen ja tuloksen henkilöityminen. Työmaan ulkopuolisen henkilön suorittama TR-kalibrointi, työmaan sisäinen kiertävä mittausvuoro tai kahden työmaan keskenään suorittama ristiin mittaus ovatkin hyviä tapoja mittauksen tasokkuuden varmistamiselle. Kalibrointituloksen eroavaisuutta työmaan suorittamasta mittauksesta voidaankin pitää itsessään eräänlaisena turvallisuuden mittarina.

3.7 Rakennusalan työturvallisuusjohtamisen yhteenveto

Rakennusala on yksi vaarallisimpia toimialoja jolla työturvallisuuden eteen tehdyistä ponnisteluista huolimatta kuolemaan johtavien tapaturmien määrää ei kuitenkaan ole saatu laskettua. Rakennustyömaa on dynaaminen muuttuva toimintaympäristö, joka

koostuu useista toimijoista. Rakennustyötä tehdään vaativissa olosuhteissa ja pitkälle alirakoiduissa urakkamalleissa tiedonkulku ja aikatauluhaasteet ovat arkipäivää ja riskinotto yleistä. Siinä missä ensimmäiset onnettomusteoriat kuvasivat tapaturmien syntyä lineaarisina ja välittömiä syitä korostavina malleina, kuvaavat nykyaikaiset rakennusalalle sovelletut teorit rakennustyömaata vuorovaikuttavana sosioteknisenä systeeminä, jossa työntekijä altistuu toiminnan johdosta työympäristön vaaroille ja onnettomuudet syntyvät vasta työntekijän tehdessä virheen tai mikäli työympäristössä tapahtuu jokin äkillinen muutos.

Onnettomuuksien syntyä pyritään estämään hallintatoimenpiteillä, joiden leviämässä on ollut suuressa merkityksessä lainsäädäntö. Eurooppalaisten direktiivien ja suomalainen työturvallisuuslain lisäksi suomalaista rakennusala säätelee etenkin asetus rakennustyön turvallisuudesta, joka määrittelee muun muassa hankeorganisaation työturvallisuusroolit ja vastuut. Pelkästään lainsäädännön asettamia vaatimuksia noudattamalla ei kuitenkaan päästä työturvallisuudessa tiettyä astetta pidemmälle ja siksi yritykset toteuttavat työturvallisuusjohtamista työturvallisuusjohtamisjärjestelmien avulla. Järjestelmät perustuvat usein standardeihin ja ne saavat vaikutteita vallitsevista työturvallisuusjohtamissuuntauksista ja menetelmistä.

Tässä tutkimuksessa tunnistettiin seitsemän erilaista työturvallisuusjohtamissuuntausta, jotka painottavat eri tekijöitä tapaturmien ehkäisemisessä. Tuotantosuunnitteluun perustuva työturvallisuusjohtaminen korostaa työturvallisuussuunnittelua osana rakennushankkeella tehtävää taloudellista, aikataulullista ja laadullista suunnittelua, mutta painottaessaan valvonnan roolia se ei anna käytännön välineitä työntekijöiden toimintaan vaikuttamiseen. Lean-ajatteluun perustuva työturvallisuusjohtaminen näkee tapaturmat ja onnettomuudet yhtenä hukkana ja sen sisältämät menetelmät lisäävät prosessien läpinäkyvyyttä ja osapuolten välistä vuorovaikutusta. Systeemiajatteluun perustuva työturvallisuusjohtaminen pyrkii poistamaan toiminnan kompleksisuutta ja riippuvuussuhteita, sekä asettamaan selkeitä kontroleja ja viestintäkanavia hierarkkisten rakenteiden välille. Resilienssiin perustuva työturvallisuusjohtamissuuntaus näkee, että turvallinen työskentely on mahdollista kompleksisuudesta huolimatta ja painottaa tilannetietoisuutta ja kohdattujen poikkeamien valjastamista toiminnan kehittämiseen. Tietojohtamiseen perustuva työturvallisuusjohtaminen pyrkii edistämään hiljaisen ja näkyvän turvallisuustiedon virtaamista ja verkostojen hyödyntämistä, kun taas käyttäytymiseen perustuva BBS pyrkii vaikuttamaan työntekijöiden toimintaan yhteisten tavoitteiden asettamisella, palautteenannolla ja palkitsemisella. Kulttuuriin perustuva työturvallisuusjohtaminen taas muuttaa käyttäytymistä ylhäältä alaspäin esimerkillä johtamisen ja parhaiden käytäntöjen jakamisen kautta. Kuitenkin jotta työturvallisuutta voidaan kehittää, tulee sitä kyetä myös mittaamaan. Työturvallisuuden mittareiden tulisi olla sellaisia, että ne mittaisivat tehtyjen virheiden vähenemisen sijaan turvallisen toiminnan lisääntymistä. Esimerkiksi perinteisen TR-mittarin haasteena on esimerkiksi se, että on vain yksittäisen ajanhetken kuvaus työmaan turvallisuuden tasosta.

4. DIGITALISAATIO JA TYÖTURVALLISUUS

4.1 Digitalisaatio ilmiönä

Digitalisaatio on terminä monimuotoinen, ja sen merkitys on vaihdellut eri vuosikymmeninä. Yleisesti digitalisaatiolla on tarkoitettu digitaalisten ratkaisujen yleistymistä tai tarkemmin analogisen tiedon muuttamista digitaaliseen muotoon. Digitalisaation juuret voidaan nähdä sijoittuvan jo 30-luvulle ensimmäisen tietokoneen keksimiseen, mutta varsinaisesti sen voidaan nähdä alkaneen vaikuttaa ihmisten arkeen 70-luvulla esimerkiksi taskulaskinten ja viihde-elektroniikan alkaessa yleistyä (Schoenherr 2004). Tämän *kolmanneksi teolliseksi vallankumoukseksi* eli *digitaaliseksi vallankumoukseksi* kutsutun aikakauden renessanssina pidetään kuitenkin 80-lukua, jolloin nähtiin tietoliikenne- viestintä- ja informaatiotekniikan nousu. Digitaalisen vallankumouksen nähdään synnyttäneen myös kokonaan uuden aikakauden ihmiskunnan historiassa, *Informaatioaikakauden*.

2010-luvulla on kuitenkin alettua puhua uudelleen digitaalisesta vallankumouksesta, *neljännestä teollisesta vallankumouksesta*. Sen voidaan nähdä olevan ensimmäisen digitaalisen vallankumouksen suora perillinen, mutta se omaa tiettyjä erityispiirteitä, jotka erottavat sen omaksi aikakaudekseen. Neljäs teollinen vallankumous eli *Industry 4.0* pitää sisällään digitaalisen maailman sulautumisen fyysisen maailman kanssa ja sen keihäänkärkiteknologioina pidetään esineiden internetiä, tekoälyä ja nanoteknologiaa. Useiden asiantuntijoiden mukaan elämme paraikaa murrosta kolmannen ja neljännen teollisen vallankumouksen välimaastossa. (Schwab 2017) (McAfee & Brynjolfsson 2016)

Taannoisessa konsulttitalo Accenturen ja Oxford Economicsin tekemässä tutkimuksessa selvitettiin, miten syvälle digitalisoituminen on edennyt koko maailman valtioiden talouteen. Digitalisoitumisastetta kuvaavan DDI-indeksin (*Digital Density Index*) määrittelyssä käytettiin viittäkymmentä erilaista indikaattoria neljällä eri osa-alueella, joita olivat:

- *Making Markets* Digitalisaation kasvu olemassa olevilla markkinoilla ja uusien digitaalisten markkinoiden synty
- *Running Enterprises* Digitaalisten teknologioiden käyttö yrityksissä ja yritysten pääliiketoiminnoissa
- *Sourcing Inputs* Digitaalisten työkalujen käyttö resurssien kuten maa-alueiden, kiinteistöjen, pääoman ja lahjakkuuksien etsimisessä ja hyödyntämisessä
- *Fostering Enablers* Muutokset instituutioissa ja sosioekonomisissa ympäristöissä digitalisaation hyödyntämiseksi

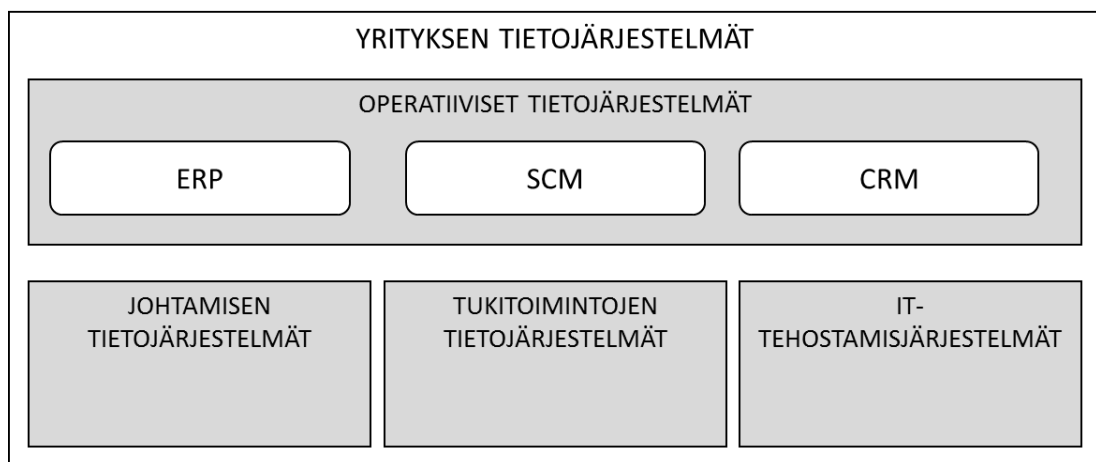
Digitalisoitumisastetta kuvaavassa taulukossa Suomi sijoittui sijalle kuusi Alankomaiden, Yhdysvaltojen ja Ruotsin pitäessä kolmen kärkeä. Mikä tärkeintä, Accenture ennusti,

että digitaalisia menetelmiä hyödyntämällä maailman kymmenen suurinta taloutta pystyvät kasvattamaan bruttokansantuotettaan yhteensä 1,36 biljoonalla Yhdysvaltain dollarilla vuodesta 2015 vuoteen 2020 mennessä (Accenture 2015).

Ensimmäisen digitaalisen vallankumouksen myötä informaatioteknologian (IT) kehittyessä yritykset ryhtyivät digitalisoimaan liiketoimintojaan. Vuosikymmenten saatossa yrityksiin onkin muodostunut lukuisia määrän erilaisia IT-ratkaisuja ja tietojärjestelmiä, joiden luokittelu on ollut vaikeaa paitsi toimialakohtaisten eroavaisuuksien vuoksi, myös siksi että liiketoimintojen haasteita on yritetty ratkaista joko yhdellä tai useammalla järjestelmällä. Erään luokittelun mukaan järjestelmät voidaan kuitenkin jakaa neljään luokkaan joita ovat (Tiirikainen 2010):

- *Operatiiviset tietojärjestelmät*
- *Tukitoimintojen tietojärjestelmät*
- *IT-tehostamisjärjestelmät*
- *Johtamisen tietojärjestelmät*

Operatiiviset tietojärjestelmät voidaan edelleen nähdä jakaantuvan toiminnanohjausjärjestelmiin, joista käytetään lyhennettä ERP (Enterprise Resource Planning), toimitusketjun hallintajärjestelmiin SCM (Supply Chain Management) sekä asiakkuuksien hallintajärjestelmiin CRM (Customer Relationship Management). Tukitoimintojen tietojärjestelmät pitävät sisällään erilaiset hallinnon, henkilöstöpalveluiden, viestinnän ja kehityspalveluiden hyödyntämät järjestelmät. Yrityksen IT-arkkitehtuuria ylläpitävät sekä järjestelmien välistä tietoa siirtävät järjestelmäkokonaisuudet luetaan IT-tehostamisjärjestelmien alle. Yrityksen tärkeimpänä tietojärjestelmänä voidaan kuitenkin pitää johtamisen tietojärjestelmiä, joiden tavoitteena on päätöksentekoa helpottavan tiedon tuottaminen yritysjohdon tarpeisiin. Keräämällä, yhdistelemällä ja analysoimalla muista järjestelmistä kootua dataa johtamisen tietojärjestelmät luovat edellytykset tiedolla johtamiselle. (Tiirikainen 2010) Yrityksen tietojärjestelmien jaottelu löytyy kuvasta 17.



Kuva 17: Yritysten tietojärjestelmät (muokattu lähteestä Tiirikainen 2010)

Johtamisen tietojärjestelmät ovat järjestelmistä vanhimpia ja ensimmäisiä niistä kehitettiin jo 60-luvulla, ennen informaatioaikakautta. Teknologian kehittyessä neljännen teollisen vallankumouksen myötä digitalisaatio on kuitenkin tullut yhä lähemmäksi operatiivista toimintaa ja IT:n sijasta onkin alettu puhumaan OT:stä, operatiivisesta teknologiasta (*operational technology*). Toisaalta toimintaympäristön muutos on synnyttänyt aivan uudenvälisen tarpeen paitsi digitalisoida liiketoimintaprosesseja, myös muodostaa kokonaan uusia digitaalisiin ympäristöihin soveltuvia liiketoimintamalleja. Samalla itse digitalisaation määritelmä onkin muuttunut. Esimerkiksi konsulttitalo Gartner määrittelee sen näin:

Digitalization is the use of digital technologies to change a business model and provide new revenue and value-producing opportunities; it is the process of moving to a digital business. (Gartner 2017)

Dell Technologiesin teettämän tuoreen tutkimuksen mukaan yritykset kokevat painetta digitalisoitua joka puolelta. Suurimpina ulkoisina syinä pidetään asiakkaiden kasvaneita vaatimuksia, mutta myös kumppaneiden ja kilpailijoiden digitalisoituminen luo tarpeen oman toiminnan kehittämiseksi. Sisäisiksi vaikuttimiksi mainitaan muun muassa olemassa olevien IT-järjestelmien vanhanaikaistuminen, operatiivisen toiminnan tehostaminen sekä sijoittaja- ja rahoitusmarkkinoiden asettamat vaatimukset. Samainen tutkimus pyrki myös selvittämään yritysten digitaalista muutosvalmiutta DTI-indexillä (*Digital Transformation Index*) jonka tulokset muistuttavat läheisesti Everett Rogersin jo 50-luvulla esittämää teoriaa *Diffusion of Innovations* innovaatioiden leviämisestä sosiaalisissa systeemeissä. (Rogers 2003) Koska digitalisaatio vaikuttaa sekä liiketaloudellisiin että sosiaalisiin toimintoihin, voidaan se laajuutensa puolesta nähdä omaavan sekä teknis-taloudellisen että yhteiskunnallisen innovaation piirteitä.

Digitaalisten investointien lisääntyessä yritysmaailmassa useat tutkimukset ovat huomanneet, että investointien määrän lisäksi aivan yhtä tärkeässä asemassa on se, miten digitalisoitumista osataan suunnitella ja ennen kaikkea johtaa. Digitaalisuus onkin muodostunut niin keskeiseksi osaksi liiketoimintaa, että on tullut tarve yhdistää se osaksi yritysten strategiaa. Näin yritysten johtamiseen on tullut aivan uusi näkökulma, digitaalinen liiketoimintastrategia (*Digital strategy*), joka pitää sisällään tuotteiden ja palveluiden digitalisoimisen sekä niihin sisältyvän informaation valjastamisen tuottamaan yritykselle lisäarvoa. Digitaaliselle liiketoimintastrategialle on myös ominaista ylittää perinteiset yritys- ja toimialarajat ja se muodostaa ekosysteemin hankinnasta aina asiakkaaseen saakka. (Bharadwaj et al. 2013)

Massachusetts Institute of Technology ja konsulttitalo Capgeminin yhteistyössä tekemässä tutkimuksessa pyrittiin selvittämään, mitkä tekijät synnyttävät yrityksistä digitaalisia menestyjiä. Kaksi vuotta kestänyt tutkimus kattoi yli 400 suurta yritystä ja arvioi yritysten digitaalista kypsyyttä (Digital maturity) kahdella toisiinsa kytköksissä olevalla

mittarilla, *digitaalisella intensiteetillä* (Digital Intensity) jolla kuvattiin yrityksen tekemien teknologisten investointien määrää ja *muutosjohtamisen intensiteetillä* (Transformation Management Intensity) joka mittasi yrityksen kyvykkyyttä digitaalisen muutoksen johtamiselle. (Capgemini 2013)

Tämän jälkeen tutkimus luokitteli yritykset neljään ryhmään. *Aloittelijat* (Digital Beginners) olivat niitä yrityksiä, jotka olivat tehneet sekä vähiten digitaalisia investointeja että omasivat huonoiten kykyä digitaalisen muutoksen johtamiseen. Tutkijat toteavat, että jotkut yritykset voivat sijoittaa itsensä tähän ryhmään tarkoituksella, mutta todennäköisempää on, että nämä yritykset joko eivät ole vielä ymmärtäneet toimintaympäristönsä muutosta ja digitalisaation mahdollistamia etuja, tai että yritys on tehnyt jo pieniä investointeja muttei sillä ole kykyä tai suunnitelmaa muutoksen loppuun viemiseksi. Seuraava ryhmä, *Trenditietoiset* (Digital Fashionistas) koostuu niistä yrityksistä jotka ovat ottaneet käyttöönsä jo suuren määrän sellaisia digitaalisia työkaluja jotka ovat muodikkaita ja pinnalla. Vaikka tällaisten yritysten tekemien digitaalisten investointien määrä on suuri, investointien taustalta ei löydy digitaalista strategiaa eikä työkalujen tarjoamaa tietoa tai ominaisuuksia osata hyödyntää oikein. Niinpä sovellusten käyttö jää pinnalliseksi eikä siitä saada hyötyjä lisäarvon tuottoon tai tiedolla johtamiseen.

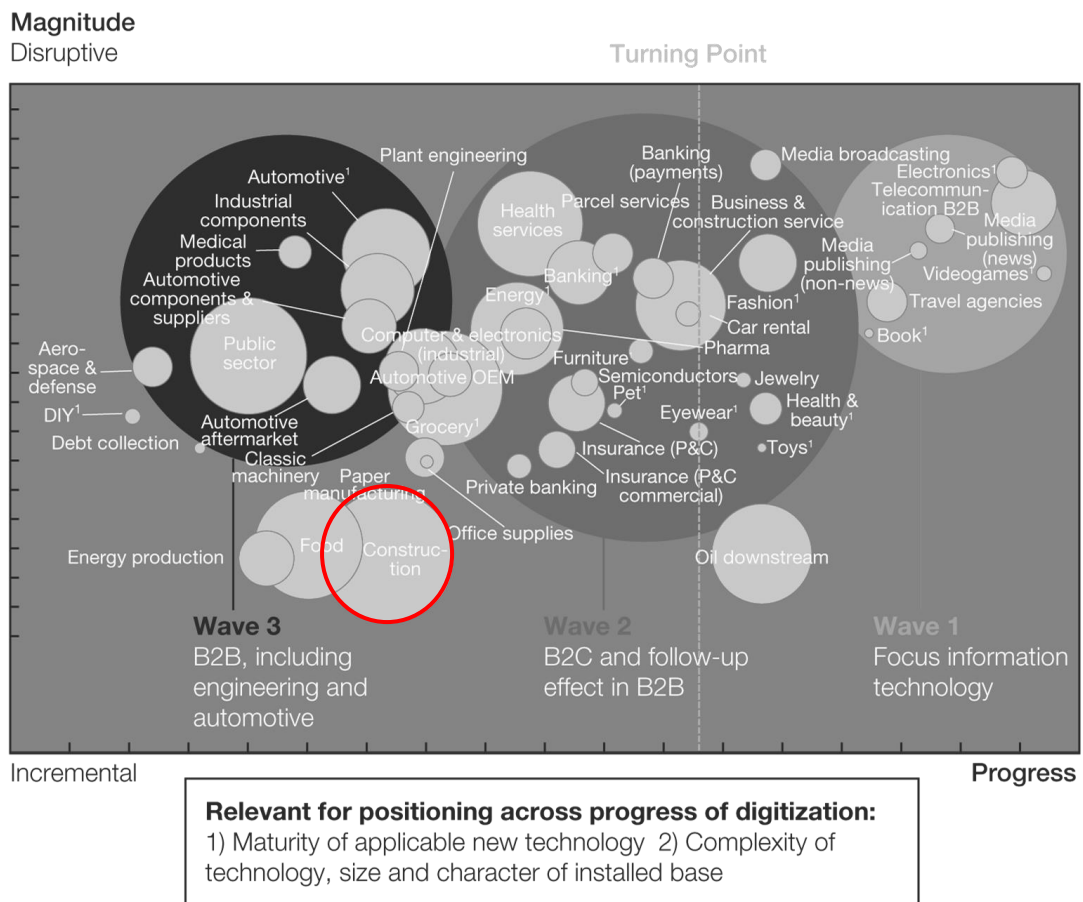
Kolmas ryhmä *Konservatiiviset* (Digital Conservatives) koostuu ryhmästä yrityksiä jotka ymmärtävät selkeän päämääräasettelun, johtamistapojen ja yrityskulttuurin merkityksen investointien hallinnassa. Nämä yritykset ovat kuitenkin skeptisiä digitaalisia trendejä kohtaan ja omaksuvat työkaluja hitaasti, jolloin yritysten hidas reagointikyky johtaa siihen, että ne menettävät tai myöhästyvät sellaisista digitaalisista mahdollisuuksista joihin nopeammat kilpailijat pääsevät ketterämmin käsiksi. Viimeinen ryhmä *Edelläkävijät* (Digirati) ovat digitaalisen muutosjohtamisen mestareita, jotka ymmärtävät huolellisen hallinnoinnin ja suunnitelmallisuuden merkityksen, osaavat ennen kaikkea hyödyntää digitaalisilla työkaluilla tuotettavaa tietoa, rakentaa digitaalista kulttuuria ja ennakoita tulevaisuuden muutoksia investoidakseen potentiaalisimpiin digi-investointeihin. (Capgemini 2013)

Tutkimus paljastaakin, että ne yritykset jotka ovat digitaalisesti kypsimpiä, omaavat paitsi suuremman liikevaihdon, myös suurimman kannattavuuden ja markkina-arvon. Tämä johtuu useista syistä. Digitaalisiin ratkaisuihin investoiminen eli digitaalinen intensiivisyys mahdollistaa hukan poistamista päällekkäisiä ja useaan kertaan tehtäviä työvaiheita poistamalla ja niiden tekoaikaa lyhentämällä. Tämä kasvattaa tuottavuutta. Pelkästään digitaalisiin työkaluihin investoimalla digi-muodikkaat yritykset kykenevät tuottavat aineellisilla ja aineettomilla resursseillaan peräti 16% enemmän liikevaihtoa kuin konservatiiviset yritykset. Toisaalta omaamalla kyvykkääseen muutosjohtamiseen tarvittavat taidot voidaan kasvattaa yrityksen tulosta suunnitelmallisten ja loppuun vietyjen investointien kautta. Niinpä konservatiiviset ja edelläkävijät yritykset ovat muita 9-26% kannattavampia. (Capgemini 2013)

4.2 Rakennusalan digitalisoituminen

Capgeminin tutkimuksessa havaittiin, että digitaalinen kypsyyks on jossain määrin riippuvaista toimialasta. Edelläkävijöitä löytyi eniten korkean teknologian aloilta, sekä pankki- ja vakuutusaloilta. Eniten digitaalisten ratkaisuiden aloittelijoita löytyi valmistavan teollisuuden, lääketeollisuuden ja pakattuja kuluttajatuotteita valmistavilta aloilta, joskin jälkimmäisin näistä oli tasaisesti jakaantunut kaikkien neljän ryhmän välille. (Capgemini 2013)

McKinsey konsulttitalo on jakanut toimialojen digitalisoitumisen kolmeen aaltoon (Arora et al. 2017). Digitaalisuuden aallot ja toimialojen sijoittuminen on esitetty kuvassa 18. Kuvaaja on rakennettu niin että vaaka-akselilla kuvataan alojen digitaalista kehitystä, niin että mitä edistyneempiä teknologioita alalla hyödynnetään, sitä oikeammalle se akselilla sijoittuu. Pystyakselilla sen sijaan on kuvattu digitaalisten innovaatioiden vaikutusta alaan niin, että alat jotka ovat herkimpiä digitalisaation tuomille disruptiivisille eli markkinoille uusia tuotteita, palveluita tai liiketoimintamalleja tuoville innovaatioille on esitetty pystyakselilla ylempänä. Alat joiden digitaalinen kehitys on inkrementaalista eli digitalisaatio muuttaa tuotteita tai luo uusia liiketoimintamalleja asteittain ja hitaasti on esitetty akselilla alempana. (Arora et al. 2017)

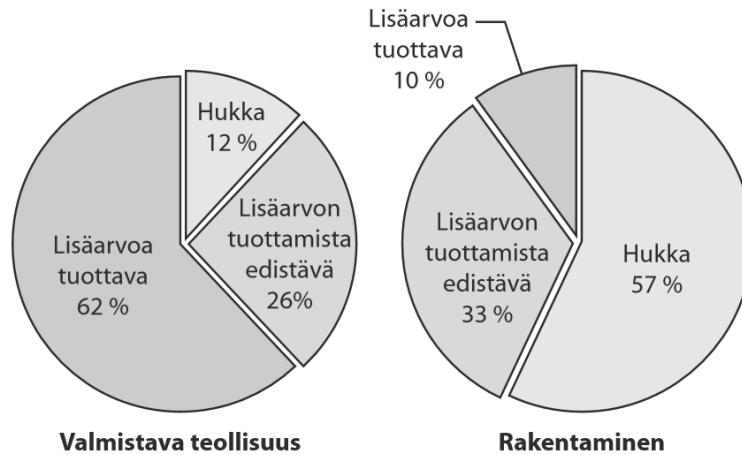


Kuva 18. Toimialojen digitalisoitumisen kolme aaltoa (Arora et al. 2017)

Ensimmäisen aallon yritykset ovat teknologiaintensiivisiä yrityksiä joiden tuotteet ovat herkimpiä digitaalisille muutoksille. Koska tuotteiden hyödyntämät digitaaliset alustat ja työkalut ovat jatkuvassa muutoksessa, myös tuoteinnovaatio on luonteeltaan disruptiivista ja markkinoille kehitettävät uudet ratkaisut korvaavat jatkuvasti vanhoja tuotteita. Tällaisia aloja ovat esimerkiksi viihde-elektroniikka-, matkapuhelin- ja videopeliteollisuus. Toiseen aaltoon kuuluvat toimialat koostuvat palvelualalle ja asiakastoimintaan erikoistuneista yrityksistä, kuten terveystalot, vakuutus-, sijoitus- ja pankkitoiminta. Näiden alojen monimuotoiset organisaatorakenteet ja monipuoliset palveluvalikoimat hidastavat radikaalien innovaatioiden läpilyömistä, jolloin myös digitaalinen muutos on hitaampaa. Kolmanteen ja viimeiseen aaltoon kuuluvat ne liiketoiminta-alat jotka omaavat pisimmät ja raskaimmat toimitusketjut ja jotka ovat säilyneet käsityöpainotteisina. Toisaalta juuri toimitusketjujen digitalisoinnilla odotetaan tuottavan suuria hyötyjä näiden yritysten liikevaihtoon lähivuosina. Kolmannen aallon aloja ovat muun muassa auto-teollisuus, komponenttiteollisuus, lääketeollisuus, elintarviketeollisuus sekä rakennusteollisuus. (Arora et al. 2017).

Vaikka toimialat voidaan jaotella digitalisoitumisen asteen, kypsyyden ja digitaalisten innovaatioiden vaikuttavuuden mukaan erilaisiin ryhmiin, todellisuudessa alojen sisäinen vaihtelu on suurta. Yksi Capgeminin laaja-alaisen tutkimuksen löydöistä olikin se, että digitalisaation hyödyntäminen korkealla tasolla ei ollut toimiala-rajoittunutta, vaan edelläkävijöitä löytyi jokaiselta toimialalta ja juuri digitaaliset edelläkävijät keräsivät myös suurimmat hyödyt alasta riippumatta (Capgemini 2013).

Rakentamista on perinteisesti pidetty konservatiivisena ja muutosvastarintaisena alana. Toimialana rakentaminen on yksiä vanhimpia aloja ja etenkin rakennustuotantoa leimaa projektiluontoinen, pääomapainotteinen, kompleksinen ja ympäröiville olosuhteille altis toiminta, joka aiheuttaa haasteita automatisoiduille prosesseille. Eräs rakennusalalle ominainen tunnusluku on korkean tapaturmataajuuden lisäksi ollut alhainen tuottavuus. Yhdysvaltain rakennusinstituutin tekemän tutkimuksen mukaan peräti 57% rakennustyöstä on hukkaa ja vain 10% on lisäarvoa tuottavaa, kun taas muussa valmistavassa teollisuudessa hukkaan menevä määrä oli vain 12% ja lisäarvoa tuottavien toimintojen osuus työstä jopa 62% (Construction Institute USA 2004). Kuvaajat on esitetty kuvassa 19.



Kuva 19. Hukan määrä rakentamisessa ja valmistavassa teollisuudessa (Koskenvesa 2011, lähteestä Construction Institute USA 2004)

Rakennustyön tuottavuuden kehitystä on tutkittu vuosien saatossa erilaisilla mittareilla joiden tulokset ovat vaihdelleet tuottavuuden laskusta hillittyyn kasvuun. Osa tutkimuksista onkin kyseenalaistanut teollisiin prosesseihin tarkoitettujen mittareiden soveltuvuuden mittamaan rakennusalaan, mutta selvää on, että paitsi itse tuottavuus myös tuottavuuden kehitys on ollut muita aloja merkittävästi jäljessä (Koskenvesa 2011). Matalan tuottavuuden syinä on pidetty muun muassa projektien koon ja monimuotoisuuden kasvua, sekä sääntelyn lisääntymistä. Toisaalta syyksi on esitetty alalla toimivien toimijoiden suurta määrää ja sirpaloituneisuutta. Sekä projektien suunnittelu, että toteutus ovat usein pilkottuja useisiin hintakilpailuun perustuviin ali- ja sivu-urakoihin, joiden keskinäinen viestintä on huonoa. Myös materiaalien ja tavarantoimittajien lukuisuus ja rakentamisen aikana jatkuvasti muuttuva ympäristö aiheuttaa logistiikalle haasteita. Niinpä kustannus- ja aikatauluviivälykset ovat alalle enemmän sääntö kuin poikkeus. (Tucker 1986) (Kanerva & Haapasalo 2005)

Tuottavuuden parantamiseksi on ehdotettu useita keinoja kuten sääntelyn helpottaminen, urakkamallien ja suunnitteluprosessien kehittäminen sekä hankinta- ja tavarantoimitusketjujen virtaviivaistaminen. (Barbosa et al. 2017). Toisaalta esimerkiksi Lean-ajattelun soveltuvuutta projektiluontoisen rakennusalan toimintaympäristöihin on kyseenalaistettu, sillä rakentamisen prosessien on todettu olevan huonosti ennustettavia, jäykkiä ja päällekkäisiä johtuen projektiorganisaatioiden moninaisista riippuvuussuhteista (Dubois & Gadde 2002). Yleisesti hyväksyttävimpinä kehityskohteina onkin pidetty projektiorganisaatioiden sisäisen ja keskinäisen tiedonsiirron parantamista ja projektinjohdon päivittäisen raportoinnin helpottamista (Tucker 1986).

Vaikka digitaalisilla teknologioilla on monia mahdollisuus vastata edellä mainittuihin ongelmiin ja nostaa alan tuottavuutta, on niitä hyödynnetty toistaiseksi rakennusalan yrityksissä vähäisesti ja kehitys ollut erityisesti muihin toimialoihin verrattuna hidasta. Kon-

sulttitalo Pricewaterhouse Coopersin tekemän tutkimuksen mukaan rakennusala oli vähiten digitalisoitunut ala vuonna 2012. Aikaisemmin mainitussa McKinseyn uudemmassa tutkimuksessa rakennusala sijoittui digitaalisen kehityksen asteikolla muihin aloihin verrattuna hiukan paremmin, mutta alana se oli yksi inkrementaalisimpia (Arora et al. 2017). Tämä kertoo siitä, että digitalisaatio ei ole muuttanut rakennusalan liiketoimintamalleja tai tuotteita merkittävästi.

Ballanin ja El-Dirabyn mukaan rakennusalan digitalisoitumisen haasteena ei ole ollut niinkään itse tietotekniset järjestelmät, vaan niiden soveltumattomuus rakentamisen erityistarpeisiin. Koska sovellukset eivät ole kyenneet tuottamaan käyttäjilleen lisäarvoa ovat kokeilut jääneet lyhytikäisiksi ja päättyneet aikaisiin kehitysvaiheisiin, joissa sovel-luskehitykselle tyypillisesti sovellusten käytettävyyden on ollut vielä matalalla tasolla mutta investoidut kustannukset korkeita (Ballan & El-Diraby 2011). Jotta digitaalisten työkalujen hyödyt voidaan valjastaa rakennusalan käyttöön, tulee alakohtaiset erityispiirteet tunnistaa.

Rakennusalan laajat projektiorganisaatiot sisältävät useita rooleja, joilla kullakin on omat tietotarpeensa. Siksi digitaalisten järjestelmien haasteeksi tulee oikean tiedon tunnistaminen ja jakaminen oikeille henkilöille. Kukin rooli ja roolin järjestelmästä tarvitsema tieto tulee pystyä määrittämään ja tunnistamaan, myös roolien vaihtuessa. Lukuisat roolit ja projektiorganisaatioiden hierarkkinen rakenne aiheuttavat myös sen, että tiedon tyyli ja tiedonsiirtotapa saattaa vaihdella merkittävästi riippuen siitä keiden välillä tietoa vaihdetaan. Esimerkiksi työntekijöiden ja työnjohdon välinen viestintä on usein suullista ja saattaa sisältää puhekielistä termistöä, kun taas viranomaisten tai asiakkaiden suuntaan tapahtuva viestintä voidaan käydä sähköpostien ja puheluiden välityksellä virallisempaan sävyyn. (Ballan & El-Diraby 2011).

Projektiliiketoiminnalle on myös ominaista se, että syntyvä tieto on vahvasti sidottua projektin erityispiirteisiin ja valmiusasteeseen. Projektin eri vaiheista syntyy erilaista tietoa ja koska projektit ovat yksilöllisiä, syntyvän tiedon yleistettävyyden ja hyödyntäminen muissa hankkeissa on vaikeaa ja tietoa menetetään hankkeiden vaihtuessa. Lisäksi muuttuva ja uniikki toimintaympäristö johtavat siihen, että syntyy tarve esittää tieto visuaalisessa muodossa, kuten valokuvilla, luonnoksilla tai suunnitelmiin tehtävillä piirroksilla. (Ballan & El-Diraby 2011).

Koska useita osapuolia sitova ja muuttuvassa ympäristössä tapahtuva projektitoiminta on omiaan synnyttämään odottamattomia ja nopeaa reagoitua vaativia tilanteita, tulee järjestelmien käyttöliittymien olla sujuvia ja tarjota työkaluja nopeaan ja osallistavaan viestintään. Myös ikääntyvä väestö aiheuttaa käyttöliittymien helppokäyttöisyydelle haasteita. (Ballan & El-Diraby 2011) Toisaalta tilastojen perusteella rakennusosalalla työskentelee enemmän nuoria kuin muilla teollisuuden aloilla, minkä osaltaan voi olettaa helpottaa uusien teknologian omaksumista (Tilastokeskus 2014).

Rakentaminen työmaaolosuhteissa asettaa käytettävälle laitteistolle erityisvaatimuksia. Koska toiminta on hajaantunutta ja luonteeltaan liikkuvaa, tulee laitteiston pystyä kulkemaan mukana työmaalle. Ulkona tapahtuva ympärivuotinen työskentely altistaa laitteiston vaihteleville kosteus-, lämpötila-, isku- ja pölyrasituksille. Käyttäjien pitää pystyä käyttämään laitteistoa tehokkaasti vallitsevista olosuhteista huolimatta. Verkon yli tapahtuvalle tiedonsiirrolle vaikeuksia asettavat maaston muotojen, rakennuksien, sekä etäisyyksien asettamat haasteet verkkojen kantavuudelle.

Rakentaminen mielletään perinteisesti pitkälle käsityöpainotteiseksi alaksi ja siksi digitaalisten välineiden käyttöönotto vaatii kulttuurin muutosta. Toisaalta ongelmia saattaa syntyä, kun digitaalisia toimintamalleja yritetään viedä yli perinteisten organisaatorajojen. Rakennusalalla on lukuisia pieniä toimijoita, ja kaikilla ali- ja sivu-urakoitsijoilla tai tavarantoimittajilla ei välttämättä ole intressejä tai resursseja lähteä käyttämään tai omaksumaan yhtenäisiä tai yritysten tiedonsiirron rajapintoja rikkovia järjestelmiä. Myöskin rakennusalalle ominaisen kustannuskeskeisen johtamistavan on todettu hidastavan innovaatiokulttuuria ja uusien teknologioiden kokeilua. (Ballan & El-Diraby 2011)

Rakennusalan digitalisoitumisen haasteita on koottu taulukkoon 4 ja ne jaettu niin ikään neljään ryhmään: *Tiedolle kohdistuvat haasteet, Käyttöliittymälle kohdistuvat haasteet, Laitteistolle kohdistuvat haasteet* sekä *Organisaatioille kohdistuvat haasteet*.

Taulukko 4. Rakennusalan digitalisoitumisen haasteet

Tiedolle kohdistuvat haasteet	Tiedon käyttäjät	Laajat projektiorganisaatiot joissa on useita sidosryhmiä
	Tiedon oleellisuus	Monipuolisten sidosryhmien tietotarpeen kannalta oleellisen tiedon tunnistaminen ja suodattaminen
	Tiedon tyyli	Sidosryhmistä riippuvaa tiedon esitystavan vaihtelua kuten <i>formaalia</i> asiakkaiden ja viranomaisten kanssa tapahtuvaa, <i>informaalia</i> projektin osapuolten välillä tapahtuvaa
	Tiedon talteenotto	Tiedon välitystapa rooli- ja tilanneriippuvaista
	Tiedon uniikkisuus	Projektien yksilöllisyydestä johtuva tiedon suuri vaihtelu ja yleistettävyyden vaikeus
	Tiedon visuaalisuus	Projektien yksilöllisyydestä ja muuttuvasta ympäristöstä syntyvä tarve esittää asiat visuaalisessa muodossa kuten valokuvien, luonnoksien ja piirustuksien
Käyttöliittymälle kohdistuvat haasteet	Tiedon siirtymisen nopeus	Projektimuotoinen ja muuttuvassa ympäristössä tapahtuva toiminta synnyttää vaihtelevia ja odottamattomia tilanteita jotka vaativat nopeaa reagoitokykyä
	Ikääntyvä väestö	Digitaalisten ratkaisujen käyttäminen on iäkkäimmille ihmiselle haastavampaa
Laitteistolle kohdistuvat haasteet	Etäisyydet	Projektitoiminnan hajaantunut ja liikuteltavuutta vaativa luonne
	Verkköjen kattavuus	Syrjäiset sijainnit, maanmuotojen ja rakenteiden aiheuttavat haasteet
	Käyttöympäristö	Ympärivuotisen ulkotiloissa työskentelyn aiheuttamat kosteuden ja lämpötilojen aiheuttamat raskaudet ja kulutus
Organisaatiorakenteille kohdistuvat haasteet	Organisaatorakenteet ylittävä toiminta	Alihankinta- ja tavarantoimittajaketjujen osallistaminen, pienten toimijoiden käytössä olevien resurssien niukkuus
	Käsityökulttuuri	Digitaalisten ratkaisujen integroiminen perinteiseen käsityöläiskulttuuriin
	Kustannuskeskeinen johtamistapa	Pääomapainotteinen kustannuskeskeinen johtamistapa joka ei tue kokeilu- ja innovaatiokulttuuria tai uusien liiketoimintatapojen hyödyntämistä

4.3 Digitalisaatio ja työturvallisuus

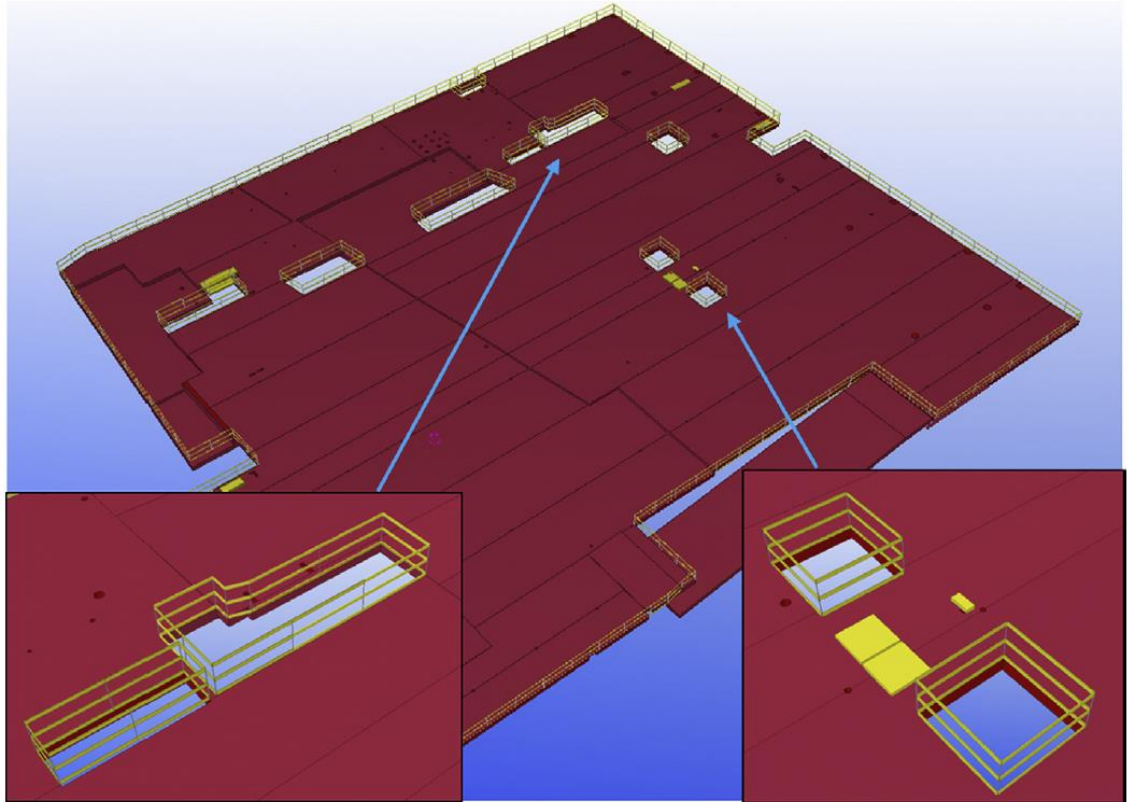
Vaikka rakennusalan digitalisoituminen onkin ollut hidasta, on digitaalisten trendien joukosta tunnistettavissa ainakin 10 selkeää suuntausta, jotka tulevat paitsi oleellisesti muuttamaan rakennustuotannon operatiivista toimintaa, myös tuomaan merkittäviä mahdollisuuksia työturvallisuuden parantamiselle ja työturvallisuusjohtamisen tehostamiselle. Lisäksi esimerkiksi tekoäly on teknologia, joka läpi leikkaa miltei kaikkia muita teknologisia trendejä, eikä sitä käsitellä seuraavissa luvuissa erillisenä teknologiana.

4.3.1 Tietomallinnus

Tietomalli (*Building Information Model*) (BIM) on rakennukseen, rakennuksen geometriaan ja rakennusosiin liittyvien tuotetietojen kokonaisuus jossa rakennus kuvataan kolmiulotteisena mallina (Sulankivi et. al. 2009). Malli voi sisältää kohteena olevan rakennuksen lisäksi esimerkiksi tontin sekä muuta ympäristöä. Tietomallinnusohjelmistoilla tehtävä tietomallintaminen on pitkään nähty ensisijaisesti rakennussuunnittelun työkaluna, mutta mallinnusteknologian kehittymisen myötä sen hyötyjä on alettu soveltaa myös rakennustuotannossa. Tuomalla aikataulutieto ja rakentamisjärjestys osaksi perinteistä 3D-mallia on alettu puhua 4D-malleista ja lisäämällä tähän edelleen kustannustieto 5D-malleista. (Koskenvesa & Sahlstedt 2013) Käsitteistö on kuitenkin edelleen kirjavaa ja tietyissä yhteyksissä 5D-mallinnus saattaa pitää sisältää myös esimerkiksi rakentamisvaiheen jälkeisiä ylläpidon aikaisia tietoja joista on käytetty myös nimitystä 6D-malli tai jopa 7D-malli. Siksi voikin olla selkeämpää puhua esimerkiksi *suunnittelumallista*, *tuotantomallista* ja *ylläpitomallista*, jolloin tuotantomallilla tarkoitetaan tuotantosuunnitteluun käytettävää tietomallia joka pitää sisällään esimerkiksi rakennustyömaan aikataulutuksen, kustannukset, resurssienhallinnan sekä rakennusaikaisia työmaaobjekteja kuten nostureita, telineitä ja suojia. Koska tietomalli luo visuaalisessa muodossa kommunikotavissa olevan alustan merkittävälle osalle rakennushankkeen aikana kertyvää tietoa, ovat sen mahdollisuudet myös työturvallisuuden näkökulmasta laajat. Sulankiven ja Kiviniemen mukaan tietomallinnuksella voidaan vaikuttaa ainakin rakennustyömaan 1) vaarojen tunnistamiseen ja analysointiin 2) olosuhteiden seurantaan 3) kommunikointiin ja yhteistyöhön sekä 4) koulutukseen ja tietoisuuden kasvattamiseen (Sulankivi & Kiviniemi 2014).

Toistaiseksi turvallisuustekijöiden tarkastaminen malleista on ollut pitkälti käsityötä ja perustunut visuaaliseen arviointiin. Mallien tarkastamiseen on kehitetty myös sääntöpohjaisia tarkastusohjelmia jotka käyvät mallin läpi automatisoidusti ja ilmoittavat huomautuksistaan puutteista. Esimerkiksi rakennusyriitys Turner on hyödyntänyt jo vuodesta 2010 asti Solibrin tarkastusohjelmaa joka tarkastaa tuotantomallin perustuen yhteensä 137:ään turvallisuussääntöön, jotka koskevat esimerkiksi putoamisvaarallisia reunoja ja aukkoja, suojaetäisyyksiä, kulkuteitä, nostoalueita ja materiaalien varastointia (Barista 2015). Tarkastusohjelmien ja visuaalisen tarkastelun tuloksia on edelleen mahdollista hyödyntää

tietomallipohjaisessa työturvallisuussuunnittelussa, aluesuunnittelussa ja toimenpiteiden määrittelyssä. Esimerkiksi VTT:n Turva-BIM tutkimuksessa kehitettiin työmaakomponenttikirjasto, jota hyödyntämällä voidaan suunnitella, visualisoida ja aikatauluttaa työmaan putoamissuojaukset (Sulankivi & Kiviniemi 2014). Mikäli ohjelmien tunnistamille poikkeamille määritetään ennalta myös toimenpiteet, on turvallisuussuunnittelua mahdollista automatisoida niin, että ohjelma lisää tarvittavat tarvikkeet paikalleen hyödyntämällä valmista tuotekatalogia, sekä laskee myös menekit ja kustannukset (Zhang et. al. 2013). Esimerkki automatisoidusta putoamissuojauksuunnitelmasta on esitetty kuvassa 20.



Kuva 20. Automatisoitu BIM-pohjainen putoamissuojauksuunnitelma (Zhang et. al. 2015)

Valmiiden mallien tarkastamiseen perustuvan työturvallisuussuunnittelun huonona puolelta voidaan pitää sitä, ettei sillä voida merkittävästi ohjata itse rakennussuunnittelua, vaan pyritään lähinnä löytämään keinoja toteuttaa jo suunnitellut rakenteet turvallisesti. Zhangin mukaan esimerkiksi telineiden ja kaiteiden suunnittelu tulisikin viedä osaksi rakennussuunnittelijan työtä, jolloin suunnittelija esittäisi mallissa useita toteutusehdotuksia, joista toteutuksesta vastaava saisi valita sopivimman ratkaisun. Tällöin suunnittelijan laatimaa mallia voitaisiin käyttää suoraan varsinaisessa tuotantos suunnittelussa (Zhang et. al. 2013). On myös mahdollista, että parametripohjaisen algoritmeihin perustuvan rakennussuunnittelun lisääntyminen luo mahdollisuuksia turvallisuustekijöiden huomioimiseen yhä aikaisemmin osana automatisoitua suunnitteluprosessia.

Sulankivi et. al. näkevät tietomallipohjaisen vaarojen tunnistuksen ja työturvallisuussuunnittelun haasteena suunnittelupohjaisten ohjelmistojen käytettävyyden ja soveltuvuuden tuotannon tarpeisiin. Esimerkiksi erilaisten näkymien tuottaminen ja hallinta tulisi olla riittävän helppoa ja nopeaa. Toistaiseksi BIM-työkalujen käyttäminen on kuitenkin vaatinut koulutusta, osaamista ja investointeja ohjelmistoihin, mikä voi osaltaan rajata pois pieniä toimijoita ja alirakoitsijoita. Lisäksi suunnittelua tukemaan tarvittavia tuotantokomponenttikirjastoja ja sääntöpohjaisia tarkastusohjelmia tulee vielä kehittää (Sulankivi et. al. 2009) (Sulankivi & Kiviniemi 2014).

4.3.2 Virtuaalitodellisuus

Virtuaalitodellisuus (*virtual reality*) (VR) on tietokonesimulaatiolla tuotettu keinotekoinen ympäristö, jonka avulla pyritään tuottamaan henkilölle mahdollisimman immerssiivinen eli todentuntuinen kokemus virtuaalisesta tilasta (Sacks et. al. 2013). Visuaalinen ympäristö tuotetaan tyypillisesti pelimoottorilla joko hyödyntämällä tietokoneella tuotettua kolmiulotteista mallia, todellisesta ympäristöstä kerättyä 3D-kuvamateriaalia tai niiden yhdistelmää, jota tehostetaan erilaisilla ääniärsykkeillä, liikkeentunnistimilla sekä mahdollisuudella vuorovaikuttaa interaktiivisesti virtuaalisen ympäristön kanssa.

Varsinainen kokemus virtuaalisesta ympäristöstä voidaan luoda usealla eri tavalla. CAVE:lla (*cave automatic virtual environment*) tarkoitetaan virtuaalista oppimistilaa, joka voidaan toteuttaa joko vierekkäisillä näytöillä tai heijastamalla kuvaa huoneen pinnoille asetetuille valkokankaille. Syvyysvaikutelman aikaansaamiseksi tilassa olevien henkilöiden tulee kuitenkin käyttää esimerkiksi stereoskooppisia 3D-laseja. Toinen suositaan kasvattanut tapa on tuoda kuva suoraan henkilön näkökenttään kasvoille asetettavilla virtuaalitodellisuuslaseilla, jotka riittävän prosessointitehon aikaansaamiseksi yhdistetään tietokoneeseen. Niin kutsutut mobiilivirtuaalitodellisuuslasit hyödyntävät kuvan prosessoinnissa ja näyttämässä älypuhelimia. Teknologia mahdollistaa langattomuuden, mutta kokemus on jäänyt tyypillisesti virtuaalitodellisuuslaseja heikommaksi. Esimerkkejä erilaisista virtuaalitodellisuuslaseista on esitetty kuvassa 21. Virtuaalitodellisuusteknologian kehitys on ollut nopeaa, mutta siihen edelleen liittyviä haasteita ovat muun muassa ihmissilmälle soveltuvan resoluution ja tarkennuksen saavuttaminen, prosessointiteho, laitteiston paino ja liikuteltavuus sekä käytöstä johtuva simulaatiopahoinvointi. (Salomaa 2016)



Kuva 21. Langalliset VR-lasit (HTC 2018) ja langattomat mobiili-VR-lasit (Samsung 2018)

Virtuaalitodellisuuslaitteistoa voidaan käyttää hyväksi rakennusalalla erityisesti tietomallien visualisoinnissa, suunniteltujen ratkaisuiden arvioinnissa ja osallistavassa suunnittelussa. Virtuaalitodellisuus ikään kuin mahdollistaa pääsyn rakennukseen jo ennen rakennustöiden alkua ja tukee näin myös ennakoivaa työturvallisuussuunnittelua. Koska VR-teknologialla pyritään luomaan mahdollisimman todentuntuinen kokemus, voidaan sen avulla visuaalisesti tunnistaa sellaisia vaaranpaikkoja, joita ei kyetä havaitsemaan tietomallista perinteisin menetelmin. Virtuaalinen ympäristö on myös mahdollista jakaa hankkeen eri osapuolien kanssa, vaikka henkilöt olisivat fyysisesti eri paikoissa, mahdollistaen näin joustavamman yhteistyön osapuolten välillä.

Virtuaalitodellisuutta voidaan hyödyntää työturvallisuuskoulutuksessa sekä opetuksessa, että oppimisen varmistamisessa. Sen avulla on mahdollista simuloida tilanteita, jotka olisivat liian vaarallisia tai riskialttiita todellisissa ympäristöissä. Le et. al. esittämän rakennuksen tietomallipohjaisen virtuaalisen oppimisalustan avulla voidaan opettaa muun muassa onnettomuuksien juurisyysanalyysiä, vaarojen tunnistusta sekä turvallisia työtapoja työturvallisuuspelien avulla (Le et. al. 2014). Li & Kang kehittivät kaivosteollisuuteen soveltuvan virtuaalisen oppimisympäristön, jossa uudet työntekijät suorittavat turvallisuuskoulutuksen jälkeen virtuaalisen kierroksen kaivoksessa. Kierroksen aikana ohjelma simuloi todellisia vaara- ja hätätilanteita kuten kaivoksen tulvimista, sortumista tai tulipalon syttymistä, joilla testataan työntekijöiden oppimista. (Li & Kang 2014) Virtuaaliopetuksen on myös havaittu olevan perinteisiä opetusmenetelmiä tehokkaampia. Israelin teknologiainstituutin toteuttamassa tutkimuksessa kohderyhmänä käytettiin rakennustyöntekijöiksi opiskelevia henkilöitä ja opetusmateriaalin aihealueet koostuivat rakennustyömaan yleisistä työturvallisuussäännöistä, sekä paikallavalu- ja telinetyöskentelyn työturvallisuudesta. Oppimista testattiin kokeella, joka toistettiin kuukauden kuluttua opetustapahtumasta. Virtuaalitodellisuutta hyödyntävää opetusta saaneet henkilöt saivat verrokkiryhmää parempia tuloksia sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä. Tutkimus myös vahvisti yhteyden interaktiivisuuden ja oppimisen välillä, sillä ne oppilaat jotka saivat mahdollisuuden vuorovaikuttaa virtuaalitodellisuuden kanssa, menestyivät kokeissa muita paremmin. (Sacks et. al. 2013)

4.3.3 Laserkeilaus ja fotogrammetria

Tietomallien avulla on mahdollista tunnistaa suunniteltuihin rakenteisiin ja niiden muodostamaan työympäristöön liittyviä vaaroja. Sekä visuaalinen että automatisoitu vaarojen tunnistus kuitenkin perustuu mallinnettuihin rakenteisiin ja tuotantokomponentteihin, eikä sillä voida huomioida sellaisia tekijöitä joita ei ole sisällytetty malliin (Zhang et. al. 2013). Rakennustyömaa on kuitenkin muuttuva toimintaympäristö jonka olosuhteita voi olla hankala tai peräti mahdoton huomioida malleissa oikea-aikaisesti.

Laserkeilaukseen ja fotogrammetriaan perustuvilla menetelmillä on mahdollista luoda mittatarkkoja kolmiulotteisia malleja olemassa olevista rakenteista ja tontista rakennushankkeen eri vaiheissa. Ne soveltuvat näin työvaiheiden etenemisen seurantaan, piiloon jäävien rakenteiden taltiointiin sekä lopullisen As Built -mallin laatimiseen. Työturvallisuuden näkökulmasta mallit mahdollistavat esimerkiksi laadukkaammat lähtötiedot työmaan tietomallipohjaisen työturvallisuussuunnittelun ja aluesuunnittelun pohjaksi. Vastaavasti mallintamalla alue jossa on tapahtunut lähetä piti -tilanne tai tapaturma, voitaisiin tehostaa jälkikäteen suoritettavaa tutkintaa.

Laserkeilaus (LiDAR, LADAR) eli 3D-laserskannaus on elektro-optiseen mittaukseen perustuva menetelmä jossa mittauslaite muodostaa mittauspisteelle paikkatiedon sitomalla sen tunnettuun koordinaatistoon. Laserkeilain voi tehdä jopa miljoona mittausta sekunnissa tuottaen kolmiulotteisen mittauspisteiden verkon jota kutsutaan myös piste-pilveksi. Keilauslaitteisto voidaan kiinnittää joko maahan kiinteälle jalustalle, jolloin puhutaan maakeilauksesta, tai ilma-alukseen kuten lennokkiin jolloin puhutaan ilmakeilauksesta. Laserkeilaukselle on tyypillistä katvealueiden syntyminen ja kattavan aineiston saamiseksi mitattava alue tulee keilata useaan kertaan. Menetelmä ei myöskään sovellu valoa läpäiseville pinnoille kuten rakennuksen ikkunoille ja muille laseille. (Laurila 2012) Keilauksella tuotettu tieto on kuitenkin erittäin mittatarkkaa ja yhdistämällä keilaimeen kamera saadaan kerättyä myös väritietoa mallia varten.

Fotogrammetria on menetelmä, jonka avulla valokuvista on mahdollista muodostaa kolmiulotteisia malleja hyödyntämällä koneellista kuvantulkintaa. Laserkeilauksesta poiketen fotogrammetrisen mallin katvealueet eivät esiinny aukkoina vaan venyminä ja vinoutumina mallissa. Malli onkin sitä tarkempi mitä useammasta kuvasta se koostuu, sillä menetelmä vaatii valokuvien osittaista limittämistä riittävän mittatarkkuuden saavuttamiseksi. Suurempi kuvien määrä kuitenkin lisää vastaavasti kuvien prosessointiaikaa ja valmiin mallin kokoa. (Agarwal et. al. 2016) Yksinkertaisia 3D-malleja on mahdollista muodostaa mukana kannettavilla 360° panoraamakuvaa tuottavilla videokameroilla ja jopa nykyaikaisilla älypuhelimilla (Micheletti et. al. 2015).

Molempien menetelmien haasteena voidaan pitää niihin kuluvaan aikaan ja siksi niiden käyttämistä työmaan eri vaiheissa tulee miettiä. Kevyiden kuvauslennokkien (*drone*)

yleistymisen myötä niitä on alettu hyödyntää rakennustyömaiden kuvaamisessa, laserkeilauksessa ja fotogrammetriassa. Lennokeilla on mahdollista kerätä kustannustehokkaasti ja nopeasti tietoa laajoilta ja avoimilta alueilta, mutta ne soveltuvat huonosti rakennusten sisällä tehtäviin kuvauksiin ja keilauksiin. Kuvauslaitteisto voidaan kiinnittää myös pyörillä tai teloilla liikkuviin kuvausrobotteihin (*rover*), jotka toimivat joko radio-ohjatusti tai automatisoidusti myös normaalin työajan ulkopuolella. Esimerkit kuvauslennokista ja kuvausrobotista on esitetty kuvissa 22 ja 23. Laitteisto on myös mahdollista asentaa nosturiin, jolloin se soveltuu erityisesti rakennuksen runkotöiden mallintamiseen.



Kuva 22. Rakennustyömaalle soveltuva kuvausrobotti (Doxel 2018)



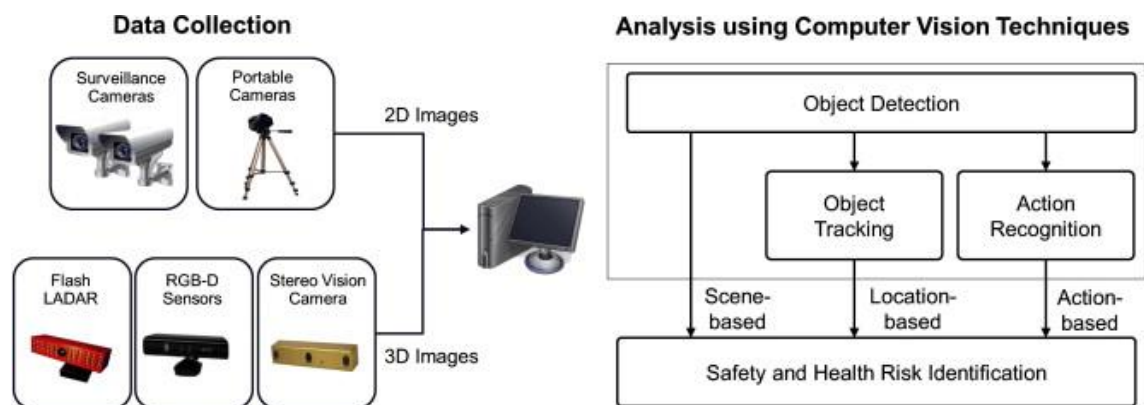
Kuva 23. Rakennustyömaalle soveltuva kuvauslennokki (Coulter Construction Inc. 2018)

4.3.4 Tietokonenäkö

Tietokonenäöllä (*computer vision*) tarkoitetaan tekoälyä hyödyntävää teknologiaa, joka pyrkii analysoimaan ja tunnistamaan digitaalisia kuvia ja tuottamaan niistä halutunlaista tietoa. Tietokonenäköä on hyödynnetty teollisuudessa esimerkiksi vikojen ja puutteiden tunnistamiseen, tuottavuuden arviointiin ja automatisoituun dokumentointiin (Davies

2017). Kasvojen tunnistukseen kykenevää tekoälyä hyödyntämällä on teoriassa mahdollista saada reaaliaikainen tieto työpaikalla olevista henkilöistä ja silmän liikkeitä seuraamalla voidaan arvioida muun muassa henkilön vireyttä ja huomiointikykyä. Menetelmä soveltuu myös paikannukseen ja sen hyötyinä voidaan pitää muun muassa sitä, että toisin kuin muut paikannusmenetelmät, teknologia ei vaati erillisiä tunnisteita. (Zhang et. al 2017). Tietokonenäön suurimmat hyödyt työturvallisuudessa tulevat kuitenkin vaarojen ja vaarallisen toiminnan automaattisesta tunnistamisesta valokuvista ja videomateriaalista. Esimerkiksi automaattisesti ohjautuvien autojen vaarojen tunnistus on eräs tunnetuimpia tietokonenäön turvallisuussovellutuksia.

Tietokonenäön hyödyttäminen rakennustyömaan vaarojen tunnistaminen voidaan jakaa Seon et. al. mukaan *tilannesidottuun*, *sijaintisidottuun* ja *toimintasidottuun* riskien tunnistamiseen. *Tilanteeseen sidotussa* riskientunnistamisessa tekoäly tunnistaa vaaroja staattisista tilanteista perustuen yksinkertaiseen kuvantunnistukseen. Tällaisia vaaroja ovat esimerkiksi henkilösuojaimien puuttuminen ja materiaalien vääränlainen varastointi. *Sijaintiin sidotussa* riskientunnistamisessa tekoäly arvioi vaaroja perustuen tunnistamansa kohteiden sijaintiin ja siirtymiin hyödyntämällä kohteen seuranta. Seuraamalla kohteita järjestelmä voi ennakoita esimerkiksi työntekijän siirtymisen vaara-alueelle tai työkonoiden törmäysriskin. *Toimintaan sidotussa* riskientunnistuksessa järjestelmä taas pyrkii tunnistamaan poikkeamia objektien tavassa liikehtiä havaitakseen esimerkiksi epäergonomia työtarkoituksia tai epävakaa materiaalinoston. (Seo et. al. 2015) Seo et. al esittämä järjestelmä on esitetty kuvassa 24.



Kuva 24. Tietokonenäköön perustuva rakennustyömaan vaarotentunnistusjärjestelmä (Seo et. al. 2015)

Tietokonenäköön perustuva tunnistus sopii hyvin laajoille avoimille alueille, mutta muiden valoon perustuvien teknologioiden tavoin sen tarkkuus kärsii kirkkaista valonlähteistä ja varjoista. Tunnistus toimiikin paremmin kolmiulotteisesta kuvamateriaalista, sillä se antaa enemmän geometrisiä vihjeitä, helpottaa kohteen erottamista taustasta, mahdollistaa tarkemman liikeradan arvioinnin sekä on vähemmän herkkää valojen ja varjojen vaikutuksille. Kuitenkin koska useimmat olemassa olevat 3D-järjestelmät ovat usein kiinteitä, kustannuksiltaan korkeita laitteita, muodostuvat teknologian haasteeksi kapeiden ja

ahtaiden sisätilojen synnyttämät katvealueet. Paras lopputulos saavutetaankin yhdistämällä useampia tekniikoita. Seon et. al. esittämässä rakennustyömaan tietokonenäköön perustuvassa reaaliaikaisessa vaarojentunnistusjärjestelmässä 3D-kuvamateriaalia kerätään hyödyntämällä paitsi stereokameroita myös laserkeilausta ja värisensoreita. Saatua 3D-materiaalia edelleen täydennetään lisäksi valvontakameroilta ja siirrettäviltä kameroilta saatavalla 2D-materiaalilla. (Seo et. al. 2015).

Tietokonenäön hyödyntämisen suurimpana rajoitteena voidaan pitää sen mahdollistavan tekoälyn kykyä tunnistaa vaaroja ja vaarallisia tilanteita riittävällä tarkkuudella ja etenkin mahdollisuus virheellisiin tulkintoihin. Lisäksi riittävän kattavan materiaalin aikaansaamiseksi ja katvealueiden välttämiseksi työmaalla vaadittaisiin suuri määrä kuvanmateriaalia keräävää laitteistoa. Teknologian hyödynnettävyyttä tulisikin pohtia työvaihe- ja työalajikohtaisesti valvontaa täydentävästä ja tietoa kerryttävästä näkökulmasta. Tietokonenäköä on kuitenkin mahdollista yhdistää muiden teknologioiden kanssa parempien tulosten aikaansaamiseksi. Muun muassa Zubal et. al. tutkivat lämpökameroiden hyödyntämistä tekoälypohjaisessa vaarojen tunnistamisessa teollisissa ympäristöissä jossa esiintyy kuumia pintoja (Zubal et. al. 2016) Esimerkiksi rakennusyritys Skanska on hyödyntänyt vuodesta 2016 asti Smartvid.io:n kehittämää syväoppimista käyttävää VINNIE tekoälyä, joka osaa tunnistaa kuva, video- ja äänimateriaalin perusteella yleisimpiä rakennustyömaan objekteja kuten rakennuskoneita sekä ihmisiä ja lisätä materiaaliin tunnisteita havaitsemistaan turvallisuuspuutteista. Yhdistämällä video- ja kuvamateriaalin keräämisen osaksi mobiilityökaluilla suoritettavia työturvallisuuskierroksia, tarkastuksia ja auditointeja Skanska on onnistunut tehostamaan paitsi vaarojen tunnistusta, myös osoittamaan kehitysohjelmiensa turvallisuuskehitystä ja jakamaan parhaita käytäntöjä tunnisteiden avulla projektien ylitse. (Smartvid.io 2018)

4.3.5 Langattomat sensorit

Sensori eli anturi on laite, mittaväline tai niiden osa, jonka avulla voidaan mitata ympäristöä ja havaita siinä tapahtuvia muutoksia. Sensoreilla voidaan mitata muun muassa lämpötilaa, painetta, äänen voimakkuutta tai kemiallisten yhdisteiden pitoisuuksia. Eri-tyisesti langattomien sensortechnologioiden ja niin kutsuttujen sensoriverkkojen (*Wireless sensor network*) (WSN) räjähdysmäinen kasvun myötä on alettu puhua IoT:stä, esineiden internetistä (*Internet of Things*), jolla yleisesti tarkoitetaan jokapäiväisten laitteiden ja esineiden yhdistymistä verkkoon ja vuorovaikuttamista keskenään. (Xia et. al. 2012)

Sensortechnologialla on olemassa lukuisia työturvallisuuteen ja työterveyteen vaikuttavia sovelluksia, joiden avulla voidaan huomata työympäristössä vallitsevia ulkoisia vaaroja, vaarallisesta toiminnasta kuten huonosta ergonomiasta johtuvia riskejä, sekä havaita läheltä piti -tilanteita ja tapaturmia. Teknologian avulla saatavaa tietoa voidaan hyödyntää myös ennakkosuunnittelussa ja koulutuksessa. Rakennustyömaille soveltuva sensorteck-

nologia voidaan karkeasti jakaa esimerkiksi *puettaviin sensoreihin*, jotka kiinnitetään esimerkiksi työntekijän iholle tai yhdistetään vaatteisiin ja henkilökohtaisiin suojaimiin, *kiinteisiin sensoreihin* jotka on yhdistetty laitteisiin, työkaluihin tai materiaaleihin, sekä *mobiilisensoreihin*. Kiinteiden sensoreiden etuna voidaan pitää sitä, että koska järjestelmiä ei tarvitse suunnitella yhtä kevyiksi, voidaan mittalaitteet varustaa suuremmilla akuilla tai yhdistää kiinteisiin virtalähteisiin. Toisaalta kulkiessaan jatkuvasti työntekijän mukana, mahdollistavat puettavat sensorit henkilökohtaisen ja fyysistä kontaktia vaativan mittaamisen. Lisäksi useimmat nykyaikaiset mobiililaitteet sisältävät joukon erilaisia sensoreita kuten kiihtyvyyksimittarin, magnetometrin, ilmanpainemittarin ja valoisuusmittarin jotka ovat suoraan erilaisten turvallisuusapplikaatioiden hyödynnettävissä.

Sekä puettavien että kiinteiden sensoreiden avulla voidaan havaita ympäristöstä johtuvia altistuksia ja vaaroja. Näitä ovat muun muassa liian korkea tai liian alhainen työskentelylämpötila, riittämätön valon määrä ja liian korkea äänenvoimakkuus. Muun muassa Arslan et. al. ovat tutkineet sensoriverkkojen hyödyntämistä parantamaan korkeassa lämpötilassa ja ilmankosteudessa tehtävän rakennustyön turvallisuutta (Arslan et. al. 2014). Vastaavasti SmartSite niminen startup-yritys on kehittänyt rakennustyömaalle sijoitettavia ja helposti siirrettäviä etäluettavia mittalaitteita, joiden avulla voidaan mitata työntekijöiden altistumista melulle, UV-säteilylle ja ilmassa oleville haitallisille partikkeleille (Kolodny 2016).

Puettavilla biometrisillä sensoreilla voidaan mitata esimerkiksi henkilön sykettä, verenpainetta, hengitystiheyttä ja kehon lämpötilaa. Saatujen tietojen avulla voidaan edelleen arvioida henkilön rasittuneisuutta, kuormitusta, vireyttä sekä yleistä terveydentilaa ja tunnistaa esimerkiksi hätätilanne tai sairauskohtaus. Paine- ja kiihtyvyyssantureilla voidaan mitata altistumista tärinälle ja havaita esimerkiksi henkilön törmääminen, puristuminen, kompastuminen. Useat tutkimukset ovat selvittäneet muun muassa mobiilisensoreiden soveltumista henkilön putoamisen havaitsemiseen. (Zhang et. al. 2017) Liikettä ja asentoja mittaavat sensorit mahdollistavat myös työasentojen ja ergonomian mittaamisen. Järjestelmien avulla voidaan paitsi havaita rasituksia ja verrata työskentelyä olemassa oleviin suosituksiin, myös löytää kokonaan uusia parempia tapoja tehdä työtä. Esimerkiksi Reflex on Kineticin kehittämä vyöhön kiinnitettävä laite, joka seuraa muun muassa kehon kiertymistä, kumartumista sekä kurottamista. Järjestelmä ilmoittaa työntekijälle reaaliajassa, mikäli toiminta on epäergonomista ja mahdollistaa toiminnan seuraamisen mobiiliapplikaation kautta. Sovelluksen avulla voidaan myös asettaa tavoitteita, joiden saavuttamisesta voidaan palkita (Hessman 2018) Sensoreista saatavaa tietoa voidaan hyödyntää myös työmenetelmien ja työkalujen valinnassa. Henkilöitä mittaavien sensoreiden haasteena voidaan nähdä tietosuojakäytäntöjen asettamat reunaehdot. Aikaisemmat koikeilut ovatkin perustuneet lähinnä vapaaehtoisuuteen. Muun muassa rakennusyritys Vinci on käyttänyt ViSafen puettavia sensoreita arvioidakseen uusien laastialustojen ergonomisuutta. Heriot-Wattin yliopiston kehittämää AT-BAN järjestelmää taas on käytetty ergonomisten työskentelyasentojen opetuksessa ja koulutuksessa. (Cousins 2017)

Laitteisiin ja työkaluihin yhdistetyillä sensoreilla voidaan saada etänä tietoa työkalujen ja koneiden käyttöasteesta, kulumisesta ja altistumisesta olosuhteille. Saatua tietoa on mahdollista hyödyntää huoltotarpeen määrittämisessä laitteiden äkillisen tai vaarallisen rikkoutumisen estämiseksi. Sormenjälkitunnistimien avulla voidaan pitää kirjaa laitteita käyttäneistä työntekijöistä, sekä rajoittaa esimerkiksi käyttökoulutusta ja pätevyyskysymyksiä tarvitsevan vaarallisen laitteen käyttöä vain tietyille henkilöille. Materiaaleihin sijoitetuilla sensoreilla voidaan tarkkailla muun muassa rakenteiden kosteutta, lämpötilaa ja sekä geometrisiä muutoksia. Esimerkiksi betonirakenteiden lujutta ja muodonmuutoksia reaaliaikaisesti seuraamalla voidaan määrittää turvallinen muotinpurku-aika, sekä havaita vaarallinen taipuma ja halkeilu ennen rakenteiden pettämistä (Mita et. al. 2010).

Langattomien sensoriteknologioiden haasteina voidaan nähdä verkon kantavuuteen lisäksi antureiden kestävyys ja mittaustarkkuus haastavissa olosuhteissa. Riittävien mittaustulosten aikaansaamiseksi tarvittavia mittalaitteita voidaan tarvita myös suuria määriä. Lisäksi erityisesti puettavissa sensoriteknologioissa tulee huomioida mittauslaitteiston synnyttämä tilantarve ja niistä aiheutuva lisäpaino, sekä rajoitteet esimerkiksi liikkuvuudelle tai kastumiselle. Langatonta sensoriteknologiaa valittaessa tulisi huomioida käytettävän laitteiston lisäksi myös vaadittavien ohjelmistojen toimivuus. Zhang et. al mukaan erityisesti mobiililaitteisiin perustuvien sensoriteknologioiden kehitys on vaikuttanut rakennusalan näkökulmasta lupaavalta niin sensorien teknisen toteutuksen kuin ohjelmistojen yksinkertaisuuden osalta. (Zhang et. al. 2017)

4.3.6 Reaaliaikaiset paikkatietojärjestelmät

Reaaliaikainen paikkatietojärjestelmä (*Real-time locating systems*) (RTLS) on yleisnimitys järjestelmille, joiden avulla voidaan automaattisesti tunnistaa esineiden kuten koneiden, työkalujen ja laitteiden sekä ihmisten sijainti ilman merkittävää viivettä. Sisäpaikannusjärjestelmillä (*Indoor positioning systems*) (IPS) tarkoitetaan erityisesti sisätiloihin soveltuvia paikannusjärjestelmiä. Erilaisia paikkatietojärjestelmiä voidaan käyttää myös vaarojen ja vaarallisen toiminnan tunnistamisessa ja ennakoimisessa, onnettomuuksien havaitsemisessa sekä hyödyntää koulutuksessa ja työturvallisuussuunnittelussa.

Varsinainen paikannus voidaan toteuttaa useilla eri teknologioilla, joista Li et. al. tunnisti rakennusosalalle parhaiten soveltuvimmiksi muun muassa GPS, WLAN, RFID, UWB ja Cricket menetelmät (Li et. al 2016) Lisäksi Zhang et. al tunnistaa edellisten lisäksi Zig-been joka on suosittu teknologia erityisesti Aasiassa (Zhang et. al. 2017). Edellä mainittujen lisäksi muutamat tuoreet tutkimukset ovat testanneet myös Bluetooth teknologiaan perustuvien järjestelmien toimivuutta. (Park et. al 2015) (Zhao et. al. 2017) Rakennusosalalle soveltuvien paikannusjärjestelmien kehitys on nopeaa, ja uusia menetelmien hyödyntämismahdollisuuksia tutkitaan jatkuvasti. Teknologian kehittymisen myötä menetelmien tarkkuuden sekä kustannus- ja energiatehokkuuden odotetaan kasvavan. Koska rakennustyömaa on jatkuvasti muuttuva toimintaympäristö, tulee merkittävää roolia hyö-

dynnettävän teknologian valinnassa näyttelemään järjestelmien langattomuus, yksinkertaisuus ja asentamishelpous. Myös erilaisten rakennusmateriaalien, rakenteiden ja sijainnin vaikutus kantamaan ja menetelmien häiriöalttiuteen ja tarkkuuteen tulee huomioida.

Esimerkiksi maata kiertävään satelliittiverkoston perustuvien GPS järjestelmien signaali ulottuu heikosti sisätiloihin, jolloin järjestelmä soveltuukin parhaiten avotiloissa olevien työkoneiden, laitteiden ja materiaalien seurantaan. Langatonta Wi-Fi lähiverkkoa hyödyntävä WLAN-paikannus taas on riippuvainen olemassa olevan verkon vahvuudesta ja vaatii lisäksi verkkoon kytketyn laitteen kuten matkapuhelimen ja tabletin. Useilla eri radiotaajuusalueilla toimiva RFID-etälukumenetelmä on herkkä metallien aiheuttamille häiriöille. Järjestelmä koostuu RFID-lukijoista sekä RFID-tunnisteista eli *tägeistä*, jotka voivat olla joko passiivisia tai aktiivisia. Aktiiviset tägit mahdollistavat merkittävästi suuremman kantaman ja tietomäärien siirtämiseen, mutta vaativat oman virtalähteesä. UWB on muihin radiotaajuusteknologioihin verrattuna erityisen tarkka paikannusmenetelmä sisätiloissa, mutta tyypillisesti tarkkuus huononee tilojen koon kasvaessa ja menetelmä on herkkä tilassa sijaitsevien esteiden vaikutuksille. Sekä RFID-lukijat että UWB-lähettimet vaativat kiinteään LAN-yhteyden riittävän paikannustarkkuuden saavuttamiseksi, mikä rajoittaa teknologioiden käyttöä työmaaolosuhteissa. (Zhang et. al. 2017) (Lee et. al. 2012).

Bluetooth teknologiaan perustuva BLE mahdollistaa pienten datamäärien siirtämisen erityisen matalalla energian kulutuksella. Järjestelmä koostuu mukana kuljetettavista tai materiaaleihin kiinnitettävistä Bluetooth-majakoista (beacon) joita voidaan lukea suoraan suurimmalla osalla nykyaikaisista mobiililaitteista. Teknologian tarjoama järjestelmän yksinkertaisuus, hyvä kantama ja kustannustehokkuus ovat merkittävästi lisänneet kiinnostusta BLE:n hyödyntämisestä sisäpaikannusjärjestelmänä. (Park et. al 2015) *Zigbee* on yksinkertainen ja kustannustehokas lyhyen kantaman langaton sensoriverkkoteknologia, johon perustuva paikannus soveltuu erityisen hyvin käytettäväksi suljetuissa tiloissa, kuten tunneleissa ja kaivoksissa. *Cricket* taas on yläääniaaltoihin perustuva kehittynyt sisäpaikannusjärjestelmä, joka mahdollistaa erittäin tarkan sijaintitiedon keräämisen seinä- tai kattopintoihin kiinnitettävien lähettimien ja mukana kuljetettavien vastaanottimien avulla. Ääniaaltojen merkittävin rajoite on kuitenkin se, että ne eivät läpäise rakenteita. Cricket käyttääkin radioaaltoihin perustuvaa paikannusta niillä alueilla, joihin ääniaallot eivät ulotu. (Li et. al 2016) (Zhang et. al 2017) Koska eri paikannusmenetelmien soveltuvuudessa erilaisiin rakennustuotantoympäristöihin on kuitenkin merkittäviä eroja, on todennäköistä, että parhaisiin tuloksiin päästäänkin yhdistämällä useampia eri tekniikoita. (Li et. al 2016)

Paikkatiedon lisäksi RTL-järjestelmät mahdollistavat liikeratojen seuraamisen, jonka avulla voidaan ennakoida ja varoittaa työntekijöitä ja työkoneenkuljettajia mahdollisista yhteentörmäyksistä tai puristumisvaarasta. Työkoneiden ympärille voidaan määrittää myös suoja-alueita, jonka sisälle siirryttäessä järjestelmä antaa ilmoituksen. Järjestelmien

avulla voidaan havaita ja taltioida läheltä piti- tilanteita sekä automatisoida hätäilmoitukset yhteentörmäyksen tai puristumisen sattuessa. Useat tutkimukset ovat selvittäneet paikkatiedon hyödyntämistä esimerkiksi rakennusnostureiden ja kaivureiden turvallisuuden lisäämiseksi. Yhdistämällä paikkatietoa BIM-tietomallin kanssa on mahdollista visualisoida ja havainnollistaa objektien sijaintia ja liikeratoja, sekä määritellä ja rajata vaarallisia ja kiellettyjä alueita kuten nosto- ja purkupaikkoja. Henkilöiden siirtyminen vaaralliseksi määritellyille alueille voidaan ennakoida ja todentaa, sekä henkilöille voidaan lähettää automatisoituja varoitusilmoituksia. Järjestelmän avulla voidaan huomata henkilön tai työkoneneen putoaminen äkillisen ja nopean alas suuntaisen siirtymän perusteella, sekä havaita esimerkiksi mahdollinen sairauskohtaus, mikäli henkilö on lopettanut liikkumisen ja lähettää automaattinen hätäkutsu. Koska paikkatieto näyttelee erittäin tärkeää roolia suuronnettomuuksien tai tulipalojen sattuessa, voidaan sen avulla varmistaa evakuointitoimenpiteiden toimivuus. Paloharjoitusten aikana henkilöiden liikeradoista kerättyä tietoa onkin mahdollista hyödyntää esimerkiksi työturvallisuuskoulutuksissa ja kulku- sekä poistumisteiden suunnittelemisessa turvallisemmiksi. (Zhang et. al. 2017) (Zhao et. al. 2017)

Esimerkiksi rakennusyhtiö Skanska hyödyntää Yhdysvalloissa Redpointin kehittämää RFID-pohjaista sisäpaikannusjärjestelmää seuratakseen työntekijöiden sijaintia rakennustyömaalla. Ohjelma visualisoi sijaintitiedot järjestelmään vietyihin pohjakuviin ja tietomalleihin ja työnjohto voi seurata työntekijöiden sijaintia mobiililyökaluilla. Käyttöliittymä mahdollistaa myös vaarallisten alueiden rajaamisen, joiden sisälle siirtyessään työntekijät saavat sekä valo- että äänimerkin käyttämiensä erityisvalmisteisten varoitusliivien kautta. (Redpoint 2018)

4.3.7 Mobiiliteknologia ja pilvipalvelut

Erilaiset mobiililaitteet kuten älypuhelimet ja tabletit ovat olleet jo pitkään osa arkea. Langattomien tietoverkkojen kehitys sekä laitteiden prosessointitehon lisääntyminen ovat mahdollistaneet pilvipalveluiden, mobiililaitteisiin asennettavien sovellusten ja verkkopohjaisten applikaatioiden kasvun. Mobiiliteknologian hyödyntäminen on tullutkin oleelliseksi osaksi asiakasrajapinnan saavuttamisessa, mutta teknologialla on lukuisia sovelluksia, joilla voidaan helpottaa ja tehostaa tuotantoprosesseja ja työnkulkua.

Mobiiliratkaisuilla ja pilvipalveluilla on mahdollista parantaa rakennustuotannon työturvallisuutta ainakin 1) parantamalla tietojen, ohjeiden ja suunnitelmien saavutettavuutta työmaalla 2) helpottamalla työturvallisuustarkastusten ja havaintojen tekemistä ja puutteiden korjaamista 3) visualisoimalla syntyvää työturvallisuustietoa 4) parantamalla viestintää, osapuolten vuorovaikutusta sekä 5) mahdollistamalla parhaiden käytäntöjen jakamisen ja työturvallisuudesta keskustelun sosiaalisilla alustoilla.

Mobiililaitteet parantavat tiedon saavutettavuutta mahdollistamalla digitaalisessa muodossa laadittujen tai digitaaliseksi muutettujen turvallisuussuunnitelmien tarkastelun kentällä. Useat sovellukset mahdollistavat myös 3D-mallien tarkastelun, jolloin niiden avulla voidaan visualisoida esimerkiksi tietomallipohjaisia putoamissuojaussuunnitelmia. Lisäksi laitteilla on mahdollista päästä käsiksi esimerkiksi lainsäädäntöön sekä yrityksen ulkoisiin ja sisäisiin ohjeisiin ja dokumentteihin, kuten kemikaalien käyttöturvatiedotteisiin. (Sulankivi et. al. 2016) Ratkaisuilla voidaan vähentää turhiin siirtymiin ja tiedon etsimiseen kuluva aikaa, vähentää paperisten lomakkeiden määrää ja mahdollistaa eri osapuolten pääseminen käsiksi suunnitelmiin ja turvallisuusinformaatioon ajasta ja paikasta riippumatta.

Sähköisten tarkastuslomakkeiden sekä havaintojen tekemiseen tarkoitetuilla työkaluilla voidaan nopeuttaa ja helpottaa työturvallisuusraportointia sekä parantaa syntyvän datan laatua. Useat sovellukset kuten Procore, Fielwire ja Plangrid mahdollistavat esimerkiksi valokuvien liittäminen ja sijainnin merkitsemisen 2D-pohjakuviin osana raportteja tai havaintoja. Puutteet on edelleen mahdollistaa luokitella ja vastuuttaa ja niihin voidaan lisäksi merkitä esimerkiksi määräaika ja prioriteetti. Sovellukset voivat myös lähettää puutteista vastuuhenkilöille ilmoituksia tai muistutuksia ja korjaustoimenpiteiden etenemistä voidaan seurata. Lisäksi esimerkiksi suomalaiset Congrid ja Nordsafety sisältävät mahdollisuuden tehdä TR-mittaukset mobiilisti.

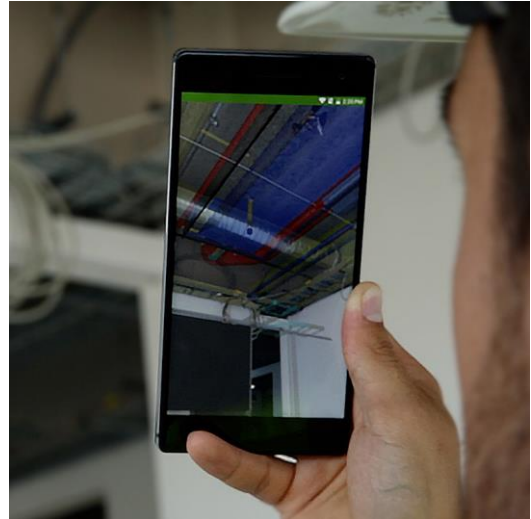
Työturvallisuusprosesseista syntyvää ajantasaista tietoa voidaan visualisoida, suodattaa ja personoida havainnollistamaan työturvallisuuden eteen tehtyjä toimenpiteitä, poikkeamien käsittelyä ja asetettujen tavoitteiden täyttymistä. Näin voidaan lisätä prosessien läpinäkyvyyttä luoda edellytyksiä turvallisuusaiheisille keskusteluille. Erilaisilla viestintäsovelluksilla voidaan parantaa myös työturvallisuusviestinnän tehokkuutta ja saavutettavuutta. Mobiililaitteisiin voidaan lähettää esimerkiksi erilaisia kohdennettuja työturvallisuusaiheisia tietoiskuja tai ajankohtaisia aiheita. (Sulankivi et. al. 2016) Hankkeen osapuolten vuorovaikutusta voidaan edelleen parantaa tuomalla projektin henkilöt saman sosiaalisen alustan alle, joka mahdollistaa joustavan keskustelun, ongelmien delegeoimisien, palautteen annon ja onnistumisten jakamisen.

Edellä mainittujen lisäksi mobiilisovelluksia voidaan hyödyntää esimerkiksi työntekijöiden digitaalisissa työluvista ja pätevyyksissä, vaarallisten työvaiheiden aloittamisen ja lopettamisen kuitaamisessa ja erilaisten turvallisuusmuistilistojen läpikäymisessä. Applikaatioilla voidaan myös esimerkiksi arvioida työntekijät vireystasoa. Esimerkiksi Prism on ennakoivaan väsymystason hallintaan kehitetty järjestelmä, jossa työntekijä tekee mobiililaitteella ongelmanratkaisutestin ennen työvuoron alkua tai pitkien vuorojen aikana. Sovellus arvioi tulosten perusteella työntekijän vireystasoa ja ehdottaa korjaavia toimenpiteitä kuten lepoa, nesteiden nauttimista ja tauon pitämistä tasoon perustuen. Samalla järjestelmä kerää dataa tehdyistä testeistä ja ilmoittaa työnjohdolle, mikäli työntekijän toimintavarmuus on merkittävästi heikentynyt. Sovelluksella on onnistuttu vähentämään tapaturmia jopa 35% kaksivuotisen tutkimuksen aikana (Predictive Safety 2018)

Kontio jakaa mobiililaitteisiin liittyvät riskit tietoon liittyviin ja ihmislähtöisiin riskeihin. Yhteistyötä ja verkostoja hyödyntävien sovelluksien edellytyksenä voidaan pitää sitä, että ne osallistavat mahdollisimman suurta joukkoa ihmisiä eri organisaation tasoilta ja joissain tapauksissa myös organisaation ulkopuolelta. Tämä aiheuttaa haasteita paitsi tietoturvallisuudelle, myös salassa pidettävän tiedon määrittelylle. Ihmislähtöisillä riskeillä tarkoitetaan vaaroja, joita syntyy mobiililaitteiden käytöstä itsestään, kuten huomiokyvyn kiinnittyminen toisaalle, joka saattaa johtaa esimerkiksi kompastumisiin, törmäämisiin ja virheiden tekemiseen. Kontion mukaan mobiililaitteiden kanssa työskentelyyn tulee määrittellä selkeät ohjeet ja esimerkiksi laitteiden kanssa kävelemistä tulisi välttää. (Kontio 2017) Lisäksi rakennustyömaan ääriolosuhteet kuten kosteus, pöly ja lämpötilaerot saattavat aiheuttaa haasteita mobiililaitteiden kestävyydelle, käytettävyydelle ja esimerkiksi akunkestolle.

4.3.8 Lisätty todellisuus

Lisättyllä todellisuudella (*augmented reality*) (AR) tarkoitetaan näkymää, jossa tietokoneella tuotettuja graafisia objekteja ja informaatiota lisätään todelliseen ympäristöön. Sitä voidaan siis pitää todellisen ympäristön ja virtuaalisen ympäristön yhdistelmänä. Lisätyn todellisuuden rinnalla esiintyy usein termi yhdistetty todellisuus (*mixed reality*) (MR) jolle tyypillistä on reaaliaikaisuus ja mahdollisuus vuorovaikuttaa virtuaalimaailman kanssa interaktiivisesti. Zaher jakaa lisätyn todellisuuden sovellukset *tunnisteita hyödyntävään* tai *tunnisteettomaan* teknologiaan (Zaher 2017). Tunniste voi olla esimerkiksi painettu symboli kuten QR-koodi, jonka lukemalla päästään käsiksi tunnisteeseen takana olevaan informaatioon. Tunnisteetta toimivissa järjestelmissä informaation näkyvyys taas perustuu esimerkiksi käyttöoikeuksiin, valikkorakenteisiin tai paikannujärjestelmästä saatavaan sijaintitietoon. Lisätty todellisuus voidaan tuottaa joko reaaliaikaista videokuvaa esittävän näytön kuten tabletin ja älypuhelimien avulla, projektiolla tai erityisillä AR-laseilla (Kipper & Rampolla 2012) Esimerkiksi Daqri on kehittänyt älykypärän, johon kuuluvat integroidut AR-lasit (Daqri 2018) AR-lasien etuna voidaan pitää sitä, että ne mahdollistavat erityisesti erilaisten ilmoitusten ja varoitusten visualisoinnin reaaliaikaisesti ja vapauttavat kädet muihin tehtäviin, jolloin näkymän kanssa vuorovaikuttamiseen voidaan hyödyntää esimerkiksi käsien liikkeen tunnistusta tai puheohjausta. Laseihin investointi aiheuttaa kuitenkin erillisiä kustannuksia. Esimerkkejä rakennusalalle soveltuvista ratkaisuista on esitetty kuvassa 25.



Kuva 25. Älykypärään integroidut AR-lasit (Daqri 2018) ja mobiililaitteella toimiva BIM-pohjainen AR-sovellus (Dalux 2018)

Lisätyn todellisuuden avulla on mahdollista tuoda rakennusprojektilla saatavissa oleva informaatio kuten tietomalli, suunnitelmat ja ilmoitukset osaksi henkilön näkökenttää. Teknologiaa voidaankin soveltaa paitsi suunnitelmien havainnollistamisessa ennen työn aloitusta, myös varsinaisessa työnohjauksessa ja oikeassa toimintaympäristössä tapahtuvaan koulutukseen. Työntekijä voi esimerkiksi tarkastella työohjeita ja tietomallipohjaista putoamissuojaussuunnitelmaa todellisessa koossa työkohteessa ja asentaa samanaikaisesti kaiteet suunnitelmien mukaan. (Luukkonen 2017) Vastaavasti työnjohtaja voi lisätä todellisuutta hyödyntämällä verrata toteutunutta työtä suunniteltoon.

AR-teknologia mahdollistaa myös ennalta tunnistettujen vaarojen ja vaaranpaikkojen, kuten putoamisvaarallisten alueiden tai eri sensoreilta saatavan reaaliaikaisen tiedon visuaaliseen korostamiseen. Sitä voidaankin käyttää myös jo piiloon jääneiden rakenteiden havaitsemisessa purku- ja kaivuuturvallisuuden parantamiseksi. Esimerkiksi Talmaki et. al. ovat tutkineet lisätyn todellisuuden hyödyntämistä kunnallistekniikkatöissä. Tutkimuksessa suunnitelmien perusteella mallinnetut kadunalaiset tekniikkaputket ja sähkö- ja telekaapelit heijastettiin kaivurinkuljettajan näkökenttään, jolloin riski osua vaarallisiin linjoihin kaivuutöiden aikana pieneni. (Talmaki et. al. 2010) Teknologian hyödynnettävyys on sitä parempaa mitä reaaliaikaisempaa tietoa ja laadukkaampia As-built malleja on saatavilla.

VR-teknologioiden tavoin AR on kehittyvä teknologia, jolla on vielä useita kehitystä vaativia haasteita. AR-sovellukset tukevat esimerkiksi toistaiseksi huonosti suurilla tietomalleilla ja rajoitteilla asettavat lisäksi pieni prosessointiteho, haasteet käytettävyydessä sekä AR-lasien rajoittunut näkökenttä ja paino. (Luukkonen 2017)

4.3.9 Robotisaatio

Automatisaation ja robotiikan lisääntyminen on ollut jatkuva trendi valmistavassa teollisuudessa ja kiinteissä tuotantolaitoksissa aina 60-luvulta alkaen. Sensoriteknologian ja tekoälyn kehittymisen myötä nykyaikaiset robotit kykenevät suoriutumaan monimutkaisista tehtävistä autonomisesti, kommunikoimaan ympäristönsä kanssa ja jopa ymmärtämään ihmisten toimintaa. Tämä on mahdollistamassa robottien tuomisen myös muuttuviin toimintaympäristöihin kuten rakennusalalle. (Li 2017)

Turvallisuuden näkökulmasta robotisaatiolla voidaan korvata tai avustaa manuaalisesti raskaita, toistuvia, epäergonomisia ja vaarallisissa olosuhteissa tehtäviä työvaiheita. Ennen varsinaisia robotteja, rakennustyömailla odotetaan lisääntyvän erilaiset avustavat järjestelmät. Esimerkiksi puettavalla robotiikalla (*wearable robotics*) voidaan kasvattaa henkilön kykyä nostaa, kantaa ja kannatella painavia esineitä ja työvälineitä, parantaa ergonomiaa sekä estää rasitusperäisten selkä- ja nivelsairauksien ja tapaturmien syntyä. Niin kutsuttujen eksoskeletonien eli moottoroitujen ulkoisten tukirankojen hyödyntämistä on tutkittu aiemmin sotilailta ja autoteollisuudessa. Nykyisten ratkaisujen kustannukset ovat vielä verrattain korkeita, mutta esimerkiksi Hong Kongilainen rakennusyritys Gammon on ostanut 10 Philipsin kehittämää *Assist Suitea* parantaakseen työmaidensa työturvallisuutta (Panasonic 2017)

Positiivisia kokemuksia ihmisiä korvaavista roboteista on saatu myös muun muassa kaivosteollisuudesta, jossa Sandvikin Automine-lastauskone toimii maan alla automaattisesti, mutta sitä valvotaan komentokeskuksesta. (Sandvik 2017) Toisaalta mikäli robotiikkaa ja ihmistä ei pystytä tehokkaasti erottamaan, voivat vakavien tapaturmien määrät kasvaa. Tutkimukset lisääntyneen automaation vaikutuksista Norjan huonekaluteollisuudessa havaittiin, että samalla kun tuotantolinjojen automatisointi on merkittävästi vähentänyt manuaaliseen työhön liittyvien pienten tapaturmien kuten käsihaavojen määrää, ovat vastaavasti koneiden huoltoon sekä vikojen korjaukseen liittyvät vakavat tapaturmat kuten raajojen amputaatiot lisääntyneet. (Hovden et. al. 2010) Työturvallisuuden varmistamista pidetäänkin yhtenä suurimpana esteenä automaation lisääntymiselle työmailla, sillä tämän hetkiset järjestelmät eivät kykene tunnistamaan ulkopuolisen ihmisen läsnäoloa riittävällä varmuudella.

Monen muun teknologian tavoin rakennustyömailla vallitsevat olosuhteet aiheuttavat haasteita myös robotiikan toimivuudelle. Vaihtoehtoisesti automaation tuomia etuja voidaan hyödyntää siirtämällä osa perinteisesti paikallarakennettavista rakenteista valmistettavaksi tuotantolaitoksiin ja kokoamalla ne työmaalla joko yksittäisistä elementeistä tai kokonaisista moduuleista. Menetelmien myötä ihmisen osuus rakentamisessa on pienehkössä, mutta toisaalta vaarojen luonne muuttuu koskemaan erityisesti kuljetuksia, raskaita nostoja ja asennusturvallisuutta. 3D-tulostaminen on kehittyvä teknologia, joka mahdollistaa geometrisesti haastavienkin rakenteiden tulostamisen ohuina kerroksina vir-

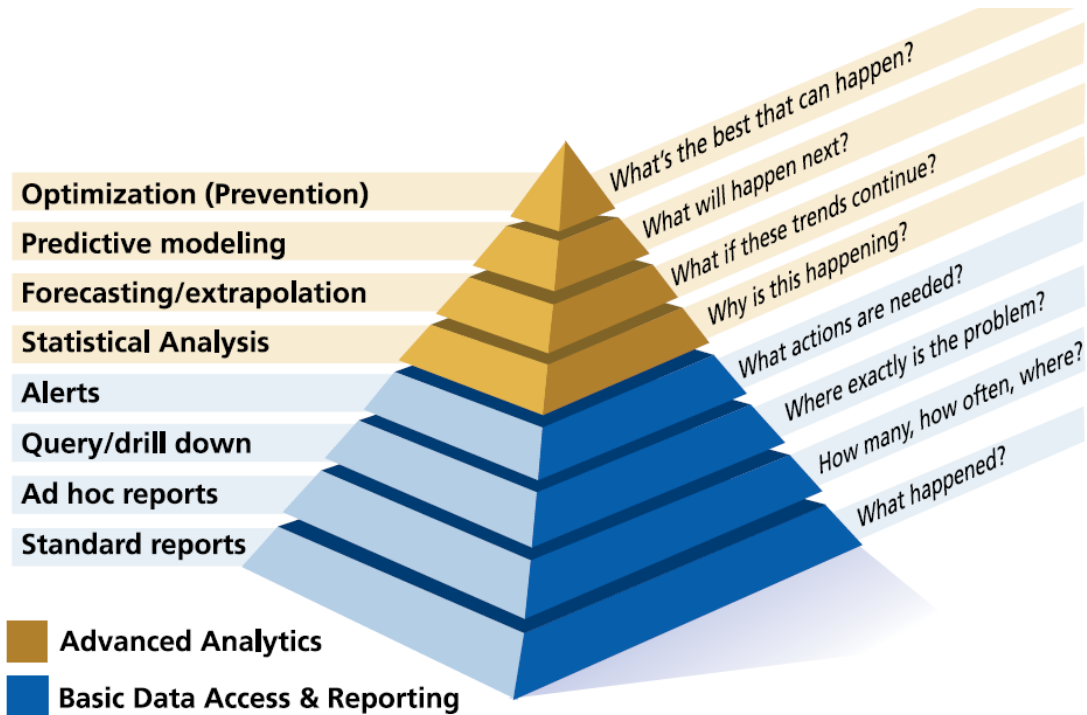
tuaalisen mallin perusteella. Menetelmää voidaan hyödyntää rakennuselementti- ja moduuliteollisuuden lisäksi kokonaisten rakennusten runkorakenteiden tulostamiseen betonimassasta paikan päällä. (Li 2017)

4.3.10 Big Data ja Analytiikka

Digitalisaation myötä syntyvän datan määrä on moninkertaistunut. Esimerkiksi jo vuonna 2013 arvioitiin, että jopa 90 % kaikesta maailmassa syntyneestä datasta oli syntynyt kahden edellisen vuoden aikana (SINTEF 2013). *Big Data* on nimitys, jota käytetään nykyaikaisista valtavista eri lähteistä syntyvistä tietomassoista ja niiden hyödyntämisestä esimerkiksi analytiikan keinoin (Bilal et al. 2016). Rakennusalalla syntyvää dataa voidaan hyödyntää esimerkiksi tiimien tehokkuuden kasvattamiseen ja materiaalihukan poistamiseen, mutta myös työturvallisuuden parantamiseen. (Agarwal et al. 2016)

Perinteinen työturvallisuusdata on koostunut esimerkiksi erilaisiin järjestelmiin syötetystä onnettomuusraportoinnista. Rakennustyömaiden digitalisoituessa muun muassa mobiilisovellukset, kamerat, sensorit ja erilaiset paikannusjärjestelmät alkavat synnyttää suuria määriä uudenlaista työturvallisuusdataa, jota voidaan yhdistää BIM-tietomallin lisäksi yritysten sisäisistä järjestelmistä kuten tuotannonohjausjärjestelmältä saatavaan aikataulu- ja kustannustietoon, HR-järjestelmistä saatavaan resurssitietoon ja ulkoisista järjestelmistä saatavaan tietoon kuten säätilaan. (pwc 2014) Kasvava datamäärä lisää prosessien läpinäkyvyyttä ja parantaa raportointia, mutta mahdollistaa myös kokonaan uudenlaisten työturvallisuusmittareiden syntymisen. Edistyneillä analytiikkatyökaluilla on mahdollista tutkia datamassoja ja löytää sellaisia olosuhteita ja tilanteita joissa tilastollisesti syntyy enemmän työturvallisuusriskejä tai onnettomuuksia. Tällaiset indikaattorit voivat olla projektiin liittyviä kuten esimerkiksi projektin koko, sijainti, vaihe ja urakka-malli (pwc 2014), olosuhteisiin liittyviä kuten vallitseva säätö sekä vuoden- tai vuoro-kaudenaika, työvaiheeseen liittyviä kuten käytetyt laitteet ja materiaalit, ja henkilöstöön liittyviä kuten työskennelleen tiimin koko, saatu koulutus ja työsuhteen kesto. (Fang et al. 2006)

Saatua tietoa voidaan hyödyntää ennakoivien mittareiden rakentamiseen, erilaisten simulaatioiden ajamiseen ja edelleen jopa projektien optimointiin mahdollisimman turvallisiksi asetetuissa kustannus- ja aikataulurajoissa. Eräs käytännön esimerkki analytiikan hyödyntämisestä on niin kutsuttu *red flag* malli. Siinä järjestelmä merkkää projektin, tiimin tai yksittäisen henkilön ”punaisella lipulla” jos sillä on yli 70% todennäköisyys kohdata kaksin- tai kolminkertainen määrä onnettomuuksia. Vastavuoroisesti mikä lippua ei ole, vallitsee 90% todennäköisyys ettei riskitaso kasva aikaisemmasta. (Predictive Solutions 2013) Datan hyödyntämistä kuvaava pyramidi on esitetty kuvassa 26.



Kuva 26. Datan ja Analytiikan hyödyntäminen (Predictive Solutions 2013)

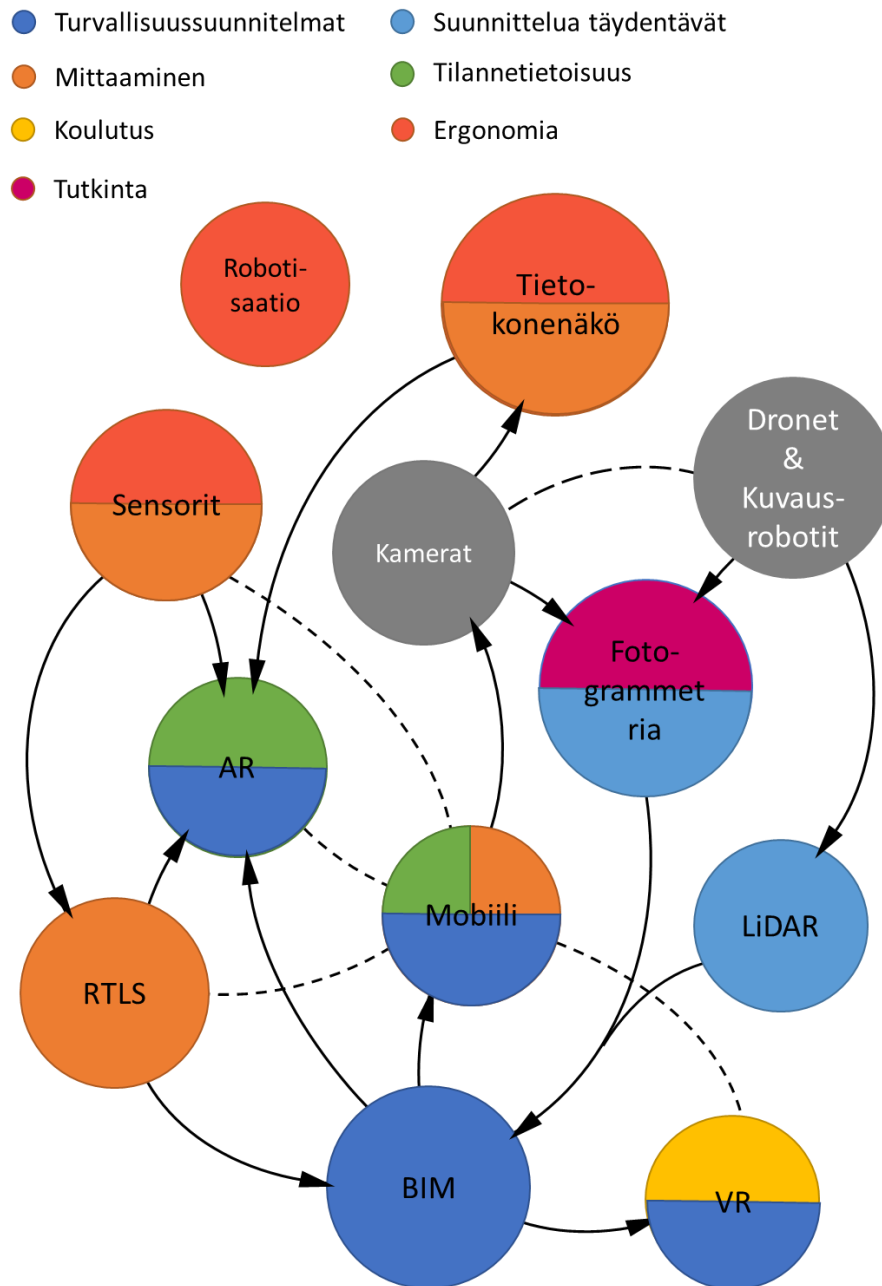
Suurten datamäärien haasteena voidaan pitää niiden koon lisäksi hyödyllisen tiedon tunnistamisen vaikeutta ja eri lähteistä kootun datan epäsäännöllisyyttä. Koneoppimiseen perustuvan tekoälyn avulla voidaan kuitenkin luokitella ja ryhmitellä dataa, etsiä siitä poikkeamia ja tunnistaa työturvallisuuden kannalta merkityksellinen data esimerkiksi vapaasta tekstistä. Esimerkiksi myös rakennusalalle tuotteita tekevä teräsvalmistaja SSAB on hyödyntänyt tekoälyä Suomen ja Puolan toimipaikkojen työturvallisuustietojen läpikäymisessä löytääkseen tapaturma-alttiita paikkoja tehtailtaan. (SSAB 2018)

4.4 Digitaalisten teknologioiden yhteenveto

Digitalisaatio on laaja-alainen ilmiö joka muuttaa niin markkinoita, instituutioita kuin yrityksien liiketoimintamalleja. Sitä voidaan pitää myös yhtenä neljännen teollisen vallankumouksen merkittävimpänä ajurina, jonka myötä digitaaliset teknologiat sulautuvat osaksi myös operatiivista toimintaa. Digitalisaatio kuitenkin muokkaa eri toimialoja eri tahdilla ja rakennusala onkin näytellyt digitalisoitumistilastoissa häntäpäätä. Rakennusalan haastavuutta on pyritty selittämään laajoilla ja lukuisia osapuolia osallistavilla projektiorganisaatioilla, projektikohtaisen tiedon yksilöllisyydellä sekä dynaamisella luonteella. Toisaalta rakennustyötä tehdään haastavissa olosuhteissa ja pitkään käsityöpainotteisena säilynyt ala vaatii myös kulttuurin muutosta.

Kaikki tunnistetuista kymmenestä teknologiasta olivat rakennusalalle soveltuvia ja niille löydettiin todellisia yritys-elämän käyttötapauksia. Teknologioiden välillä on kuitenkin merkittäviä eroja siinä, miten niillä voidaan parantaa työturvallisuutta. Siinä missä tietomallinnusta voidaan käyttää työturvallisuussuunnittelun työkaluna ovat fotogrammetria

ja laserkeilaus turvallisuussuunnittelua tukevia sovelluksia, joilla voidaan avustaa myös onnettomuustutkintaa. Sekä mobiililaitteet, VR että AR mahdollistavat suunnitelmien tarkastelun, mutta VR sopii etenkin hankkeen alkuvaiheessa tehtävän havainnollistamisen lisäksi koulutustarkoituksiin, kun taas AR soveltuu parhaiten suunnitelmien visualisointiin kentällä. Tietokonenäön, sensoriteknologian ja reaaliaikaisten paikannusjärjestelmien avulla voidaan mitata turvallisuutta, havaita poikkeamia sekä lisätä työntekijöiden tilantietoisuutta ilmoitusten avulla. Nämä ilmoitukset voidaan viedä osaksi työntekijän näkökenttää AR-teknologian avulla. Mobiilisovelluksilla on useita erilaisia käyttömahdollisuuksia, tarkastuslistojen ja havaintojen laatimisesta turvallisuustiedon jakamiseen. Robotiikan avulla voidaan helpottaa ja korvata raskaita ja vaarallisia töitä ja edistyneet analytiikkatyökalut mahdollistavat syntyvien datamäärien analysoinnin, syy-seuraussuhteiden löytämisen sekä ennustavien mittareiden rakentamisen. Eri digitaalisten teknologioiden turvallisuussovellusten välisiä riippuvuuksia on pyritty kuvaamaan visuaalisesti kuvassa 27. Nuolet kuvaavat teknologioiden välisiä informaatiovirtoja, kun taas katkoviivat tarkoittavat vaihtoehtoisia riippuvuuksia. Esimerkiksi AR tarvitsee taustalleen BIM mallin, mutta AR-laitteisto voi olla itsenäinen tai mobiililaitteeseen perustuva. Teknologioiden tuomia mahdollisuuksia ja haasteita on taas koottu tarkemmin taulukoihin 5 ja 6.



Kuva 27. Digitaalisten teknologioiden väliset riippuvuudet

Taulukko 5. Digitaalisten teknologioiden mahdollisuudet ja haasteet (5/10)

Teknologia	Kuvaus	Laitteisto ja ohjelmistot	Mahdollisuudet	Haasteet
Tietomalli (BIM)	Kolmiulotteisena mallina kuvattu rakennuksen tuotetietojen kokonaisuus joka voi sisältää myös aikataulu- ja kustannustietoa sekä rakennusaikaisia työmaaobjekteja	Tietomallinnukseen, mallin tarkastamiseen sekä tarkasteluun soveltuvat ohjelmistot	1) Vaarojen ja riskien tunnistus mallista visuaalisesti 2) sääntöpohjainen automatisoitu vaarojentunnistus 3) mallipohjainen putoamissuojaus- ja alue suunnittelu 4) kommunikoinnin ja yhteistyön paraneminen 5) työturvallisuustiedon yhdistäminen ja hyödyntäminen mallissa	1) Suunnittelupohjaisten ohjelmistojen soveltuminen tuotannon käyttöön 2) riittävä koulutus ja osaaminen 3) työmaakomponenttikirjastojen riittävyys 4) olemassa olevien sääntöpohjaisten tarkastusohjelmien tarkkuus
Virtuaalitodellisuus (VR)	Tietokonesimulaatiolla tuotettu virtuaalinen ympäristö jossa voidaan hyödyntää suunnittelu- ja toteutumamalleja	Pelimoottori, CAVE-tila tai VR-lasit	1) Immersiivisempi vaarojen tunnistaminen suunnitelmista 2) kokemusten jakaminen fyysisesti eri paikoissa olevien henkilöiden kanssa 3) tietomallipohjaisten turvallisuussuunnitelmien visualisointi 4) vaara- ja hätätilanteiden simulointi 5) perehdyttäminen, koulutus ja oppimisen vahvistaminen	1) Ihmissilmälle soveltuvan resoluution saavuttaminen 2) prosessointiteho 3) laitteiston paino ja liikuteltavuus 4) käytöstä johtuva simulaatiopahoinvointi
Laserkeilaus ja fotogrammetria	Tarkkojen 3D-mallien tuottaminen olemassa olevista rakenteista	<i>Laserkeilaus</i> : jalustoille, lennokkeihin ja robotteihin kiinnitettävät keilaimet <i>Fotogrammetria</i> : lennot, robotit, 360 kamerat ja älypuhelimet	1) Tarkemmat lähtötietomallit ja toteumamallit alue suunnittelun ja työturvallisuussuunnittelun tukena 2b) <i>Fotogrammetria</i> Läheltä piti -tilanteiden ja tapaturmien tapahtumapaikkojen taltiointi tutkinnan tueksi	1) Menetelmiin kuluva aika 2a) <i>Laserkeilaus</i> : soveltumattomuus kirkkaille pinnoille, vaatii kameran kerätäkseen väritietoa, katvealueet 2b) <i>Fotogrammetria</i> : tarkkuus riippuvainen kuvien määrästä ja laadusta
Tietokonenäkö	Tekoälyä hyödyntävä teknologia jonka avulla voidaan analysoida ja tunnistaa informaatiota digitaalisista 2D- ja 3D kuva- ja videomateriaalista	Tekoäly, valvonta ja videokamerat, stereo- ja 360 kamerat, keilaimet ja värisensorit, älypuhelimet	1) kasvojen tunnistukseen perustuva vireystason arviointi ja kulunhallinta 2) vaarojen ja vaarallisen toiminnan automaattinen tunnistaminen ja luokittelu 3) läheltä piti -tilanteiden ja tapaturmien havaitseminen ja taltioiminen 4) yhdistäminen muihin teknologioihin kuten mobiililaitteilla tehtäviin turvallisuushavaintoihin	1) Tekoälyn kyky tunnistaa vaaroja ja vaarallisia tilanteita riittäväällä tarkkuudella 2) Tulokintavirheet 3) Materiaalin keräämisen tarvittavan laitteiston määrä ja sijoittelu
Langattomat sensorit	Joukko verkkoon yhdistyviä anturiteknologioita joilla voidaan mitata ympäristöä ja havaita siinä tapahtuvia muutoksia	1) Työntekijän iholle tai vaatteisiin yhdistettävät puettavat sensorit 2) laitteisiin, työkaluihin ja materiaaleihin kiinnitettävät kiinteät sensorit 3) mobiililaitteista löytyvät sensorit	1) Ympäristöstä johtuvien altistusten havaitseminen 2) työntekijän vireys- ja rasitustilan mittaaminen 3) ergonomian mittaaminen ja kehittäminen 4) terveydentilan seuraaminen ja sairaskohtausten tunnistaminen 5) laitteiden käytön ja kulutuksen seuraaminen vaarallisen rikkoutumisen estämiseksi 6) materiaalien lujouden ja muodonmuutosten seuraaminen rakenteiden pettämisen estämiseksi	1) Verkkojen kantavuus 2) tarvittavien antureiden määrä ja sijoittelu 3) herkkyysohjeille

Taulukko 6. Digitaalisten teknologioiden mahdollisuudet ja haasteet (10/10)

Teknologia	Kuvaus	Laitteisto ja ohjelmistot	Mahdollisuudet	Haasteet
Reaaliaikaiset paikka-tietojärjestelmät (RTLS)	Joukko järjestelmiä, joiden avulla voidaan tunnistaa koneiden, esineiden ja ihmisten sijainti ilman viivettä	GPS, WLAN, RFID, UWB, Cricket, Zigbee, Bluetooth	1) Vaarallisiksi määrätyille alueille siirtymisen tunnistaminen ja ennakoiminen 2) yhteen törmäyksien tai puristumisen ennustaminen ja havaitseminen 3) putoamisen havaitseminen 4) evakuoitotoimenpiteiden varmistaminen ja kehittäminen	1) Tarvittavien lähettimien ja vastaanottimien määrä ja sijoittelu 2) kantavuus ja tarkkuus 3) häiriöalttius esteille ja eri rakennusmateriaalien vaikutuksille 4) eri menetelmien soveltuvuus erilaisiin toimintaympäristöihin
Mobiiliteknologia ja pilvipalvelut	Mobiililaitteisiin asennettavat sovellukset, pilvipalvelut ja verkkopohjaiset applikaatiot	Älypuhelimet, tabletit, ohjelmistot ja sosiaaliset alustat	1) Tietojen, ohjeiden ja suunnitelmien saavutettavuuden paraneminen 2) työturvallisuustarkastusten, havaintojen tekemisen ja puutteiden korjaamisen helpottuminen 3) kertyvän työturvallisuustiedon visualisointi 4) viestinnän ja osapuolten vuorovaikutuksen paraneminen ja 5) parhaiden käytäntöjen jakamisen ja työturvallisuuskeskustelun tehostuminen	1) Salassa pidettävän tiedon hallinta yhteistyötä tukevilla alustoilla 2) mobiililaitteiden käytön aiheuttama ympäristön havainnointikyvyn madaltuminen 3) laitteiden kestävyys ja käytettävyys ääriolosuhteissa
Lisätty todellisuus (AR)	Todelliseen ympäristöön yhdistetty näkymä johon voidaan lisätä graafisia objekteja ja informaatiota	Mobiilipohjainen AR-sovellus tai kypärään integroidut tai it-senäiset AR-lasit, AR-tunnisteet	1) työturvallisuussuunnitelmien ja ohjeiden visualisointi työkohteessa 2) vaarallisten alueiden, ilmoitusten ja varoitusten visualisointi työntekijän näkökenttään 3) piiloon jääneiden rakenteiden visualisointi purku- ja kaivuuturvallisuudessa 4) toteutuneiden työturvallisuusratkaisuiden vertaaminen suunniteltoon	1) Prosessointitehon rajoitukset suurilla malleilla 2) haasteet käytettävyydessä 3) AR-lasien rajoittunut näkökenttä ja paino
Robotisaatio	Robottien ja automaation lisääntyminen muuttuvissa toimintaympäristöissä	1) Puettavat eksoskeletoinit 2) ihmisiä avustavat tai korvaavat robotit 3) 3D-tulostimet	Raskaiden, toistuvien, epäergonomisten ja vaarallisten työvaiheiden avustaminen tai korvaaminen roboteilla	1) Korkeat investointikustannukset 2) olosuhteiden aiheuttamat haasteet robotiikan toimivuudelle 3) työturvallisuuden varmistaminen robottien ja ihmisten vuorovaikutuksessa
Big Data ja Analytiikka	Suurten datamäärien hyödyntäminen ja analysointi	Edistyneet analytiikkatyökalut	1) Projektiin, olosuhteisiin, työvaiheisiin ja henkilöstöön liittyvien uusien työturvallisuusindikaattorien löytäminen 2) työturvallisuusennusteet 3) työturvallisuussimulaatiot 4) optimointi	1) Datan suuri määrä 2) oleellisen tiedon tunnistaminen 3) datan epäsäännöllisyys ja laatu

5. RAKENNUSTUOTANNON DIGITAALINEN TYÖTURVALLISUUSJOHTAMISJÄRJESTELMÄ

Aiempien lukujen kirjallisuuskatsauksissa tunnistettiin ja vertailtiin seitsemää kansainvälistä työturvallisuusjohtamisen suuntausta, sekä kymmentä rakennusalan digitalisaation ja työturvallisuuden kannalta oleellista teknologiaa. Tässä luvussa esitellään kirjallisuuskatsauksen perusteella laadittu holistinen ja modulaarinen konsepti, jonka avulla rakennusliike voi johtaa työturvallisuutta digitaalisia teknologioita hyödyntäen. Konsepti on yleistason kuvaus uudenlaisen työturvallisuusjohtamisjärjestelmän periaatteista ja sitä ei ole suunniteltu korvaamaan, vaan täydentämään soveltuvien osin tilaajajärjestyksen olemassa olevaa työturvallisuusjohtamisjärjestelmää.

5.1 Konseptin esittely

Rakennustuotannon digitaalisen työturvallisuusjohtamisjärjestelmän konsepti pyrkii löytämään ratkaisuja ainakin seuraaviin ongelmiin:

”Ennakoiva työturvallisuussuunnittelu on vaikeaa, sillä rakennuslalle tyypillisessä projektiliiketoiminnassa on paljon tunnistamattomia riippuvuuksia ja sidosryhmiä ei osallisteta tarpeeksi”

”Laadukkaasta työturvallisuussuunnittelusta huolimatta työmaa on muuttuva toimintaympäristö, jossa edellytysten varmistaminen ja tilannetietoisuuden korostaminen ovat vaikeaa”

”Turvallisen toiminnan määrittelemisen ja mittaamisen on haastavaa. Turvallinen toiminta voi olla ristiriidassa tuottavuuden kanssa, toimintaan vaikuttamiseen ei ole selkeitä mallia ja alalla suositaan laahaavia mittareita ennakoivien sijaan”

”Työturvallisuuteen liittyvä tietotaito on siiloutunutta, eikä osaamista hyödynnetä riittävästi projektien yli”

Konsepti pyrkii parantamaan sekä projektilla että koko päätoteuttajaorganisaatiossa tapahtuvaa kommunikointia, yhteistyötä ja vaarojen tunnistamista, lisäämään saatavilla olevan turvallisuustiedon oikea-aikaisuutta, parantamaan työntekijöiden tilannetietoisuutta sekä antamaan uusia työkaluja työturvallisuuden mittaamiseen ja kehittämiseen.

Konsepti korostaa työntekijöiden hiljaisen tiedon hyödyntämistä, tavoitteellista turvallisuustoimintaa ja onnistumisista palkitsemista, parhaiden käytäntöjen jakamista sekä turvallisuus- ja innovaatiokulttuurin edistämistä kaikilla organisaation tasoilla.

Konseptin haasteina ja rajoitteina voidaan nähdä sellaiset urakkamuodot, joissa pääurakoitsija tulee mukaan hankkeeseen myöhäisessä vaiheessa, tai projekti on pitkälle ali- tai sivu-urakoitua ja koostuu pienistä toimijoista joilla ei ole kyvykkyyttä teknologisiin investointeihin. Tällöin projektilla vallitsevaan turvallisuuskulttuuriin vaikuttaminen, yhteisiin tavoitteisiin sitouttaminen ja teknologian hyödyntäminen voivat osoittautua ongelmallisiksi. Edellä mainittuihin tekijöihin ei voida suoraan vaikuttaa työturvallisuusjohtamisella vaan työturvallisuusnäkökulmat tulisi huomioida urakkatarjouksia jättäessä sekä kumppanuuksia kehittäessä. Tarvittaessa pääurakoitsijan tulee tarjota käytettävät ohjelmistot ja mahdollisesti myös tarvittava laitteisto aliurakoitsijoiden käyttöön.

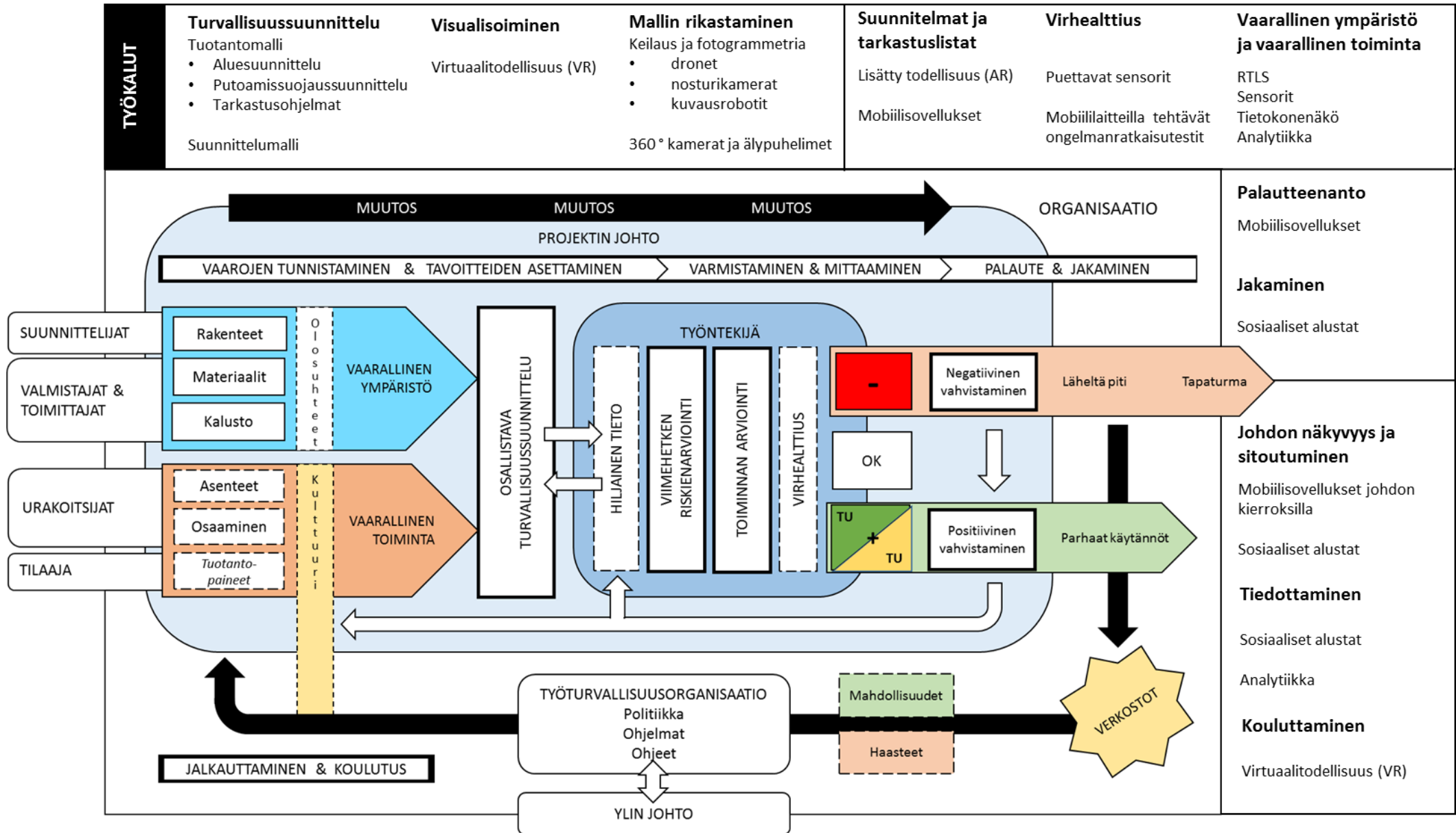
Konsepti koostuu kahdesta osasta, *työturvallisuusjohtamisen konseptista*, sekä *digitaalisten työkalujen konseptista*. Työturvallisuusjohtamisen konseptissa esitetään uusi toimintamalli rakennustuotannon projektiliiketoiminnan työturvallisuusjohtamiselle. Mallin laatimisessa on noudatettu luvussa 3.3 esitettyä Li ja Guldemundin kuvausta työturvallisuusjohtamisen eri tasoista. Tämän konseptin pääpaino on *projektitasolla*, jossa työturvallisuusjohtamisjärjestelmän teoreettisena perustana toimii Mitropouloksen et. al. rakennusalle esittämä onnettomuusteoria. Onnettomuusteorian ympärille on koottu elementtejä luvussa 3.6 esitetyistä työturvallisuusjohtamissuuntauksista joista vahvimmin edustettuna ovat resilienssiin, tietojohdamiseen, käyttäytymiseen ja kulttuuriin perustuvat suuntauksat ja menetelmät. *Organisaatiotasolla* konseptin vaikutteet ovat työturvallisuusjohtamisjärjestelmästandardeissa ja se noudattaa jatkuvan kehityksen periaatteita. Varsinainen järjestelmän auditointiprosessi on rajattu tämän konseptin ulkopuolelle, mutta konsepti ottaa kantaa digitalisaation tuomiin mahdollisuuksiin auditoinnin tehostamisessa.

Työturvallisuusjohtamisen konsepti koostuu neljästä vaiheesta jotka ovat *Vaarojen tunnistaminen ja tavoitteiden asettaminen*, *Edellytysten varmistaminen ja toiminnan mittaaminen*, *Palaute ja jakaminen* sekä *Jalkauttaminen ja koulutus*. Digitaalisten työkalujen konseptin muodostavat joukko digitaalisia ratkaisuita jotka tukevat ja tehostavat varsinaisen työturvallisuusjohtamisen konseptin eri vaiheita. Konsepti sisältää elementtejä jokaisesta luvussa 4 esitetyistä digitaalisista teknologioista lukuun ottamatta robotisaatiota, joka on sisällytetty kalustovalintoihin eikä sitä käsitellä tämän vuoksi erikseen. Hyödynnettävät teknologiat on valittu niiden toteutettavuuden ja rakennustuotantoon soveltuvuuden perusteella. Merkittävästä osasta teknologioita on olemassa rakentamisen työturvallisuuden liittyviä case-esimerkkejä, joita on tarkemmin esitelty tarkemmin luvussa 4.

Konsepti on rakennettu *modulaariseksi* niin, että jokaista vaihetta tehostavat teknologiat voidaan periaatteessa ottaa käyttöön riippumatta aikaisemmasta tai seuraavasta vaiheesta. Teknologiat kuitenkin täydentävät toisiaan, esimerkiksi turvallisuussuunnittelua varten

kerättyä fotogrammetrista kuvamateriaalia voidaan hyödyntää muiden työvaiheiden toiminnan mittaamiseen tietokonenäön avulla. Tässä konseptissa esitetyillä teknologioilla on merkittäviä käyttömahdollisuuksia myös työturvallisuuden ulkopuolella esimerkiksi hukan poistamiseen, tuottavuuden parantamiseen ja laadunhallinnan kehittämiseen. Teknologioita yrityksen käyttöön valittaessa niiden tuomia hyötyjä tulisikin tarkastella kokonaisvaltaisesti, eikä pelkästään työturvallisuuden näkökulmasta.

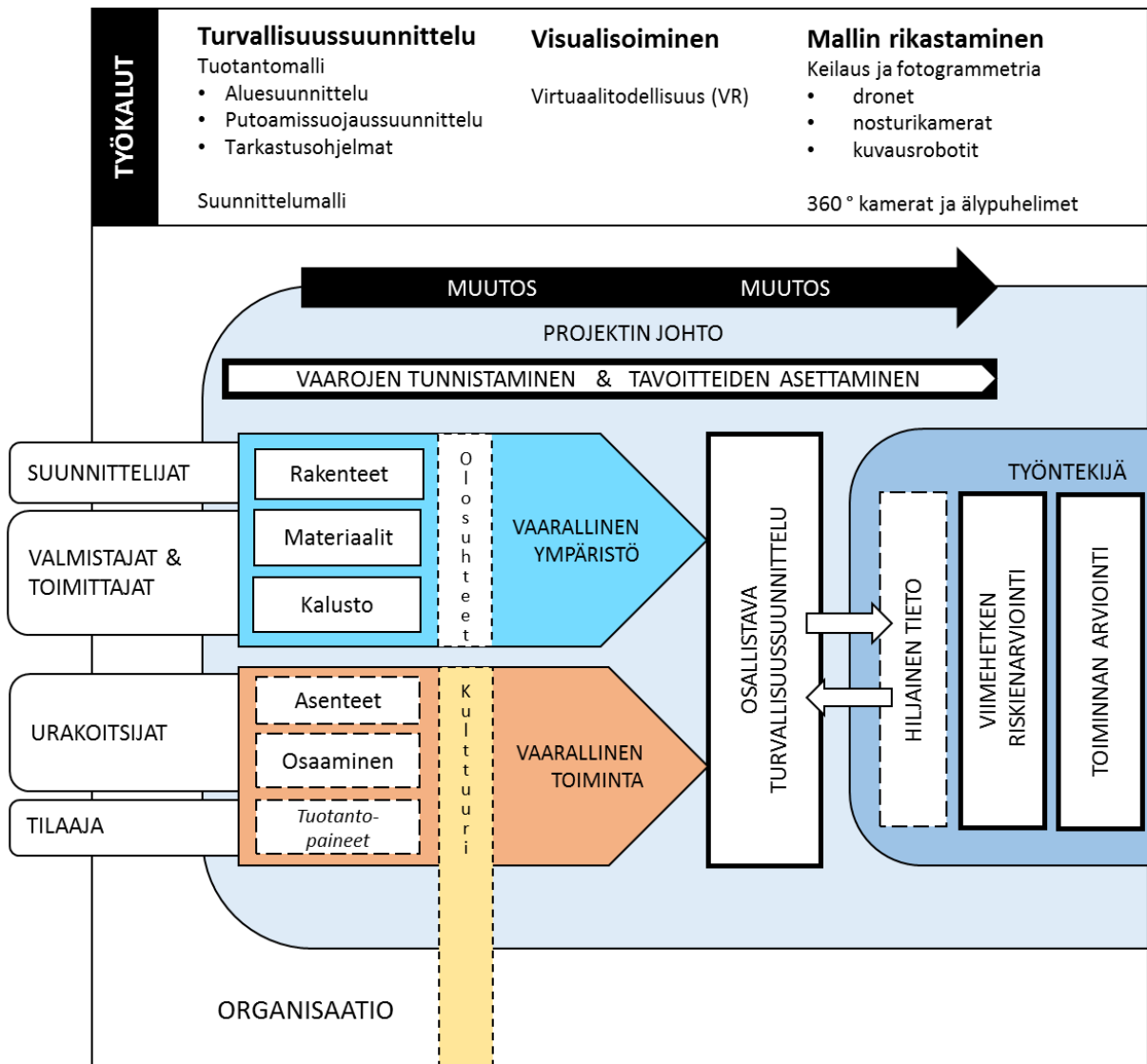
Konsepti on esitetty kokonaisuudessaan kuvassa 28. Kuvassa mustalla oikealle osoittavalla nuolella esitetyllä *Muutoksella* tarkoitetaan organisaation sisäisessä tai ulkoisessa toiminnassa tapahtuvia ennakoituja tai ennakoimattomia muutoksia, jotka vievät järjestelmää kohti korkeamman riskin tilaa. Muutoksen merkitys vaihtelee konseptin eri vaiheissa ja muutoksien hallinnassa korostuu erityisesti riippuvaisuussuhteiden tunnistaminen ja osapuolten välisten viestintäkanavien toimivuus. Kuvassa pyöristetyillä laatikoilla kuvataan järjestelmän osapuolia, kun taas paksunnetulla viivalla ympyröidyt suorakulmaiset laatikot kuvaavat niitä *toimenpiteitä*, joilla parannetaan systeemin turvallisuutta. Katkoviivalla merkityt suorakulmaiset laatikot kuvaavat yksilöiden, organisaation tai toimintaympäristön ominaisuuksia. Näitä ominaisuuksia ei voida valita, mutta niihin pyritään vaikuttamaan toimenpiteillä.



Kuva 28. Rakennustuotannon digitaalinen työturvallisuusjohtamisjärjestelmä

5.1.1 Vaarojen tunnistaminen ja tavoitteiden asettaminen

Tässä vaiheessa projektinjohto ja sidosryhmät pyrkivät yhdessä tunnistamaan toteutukseen liittyviä vaaroja ja riskejä sekä vähentämään toteutukseen liittyvä kompleksisuutta ja hukkaa. Työturvallisuussuunnittelussa hyödynnetään työntekijöiden hiljaista tietoa sekä määritetään toiminnalle tavoitteet, joihin sitoudutaan. Vaihe on esitetty kuvassa 29.



Kuva 29. Vaarojen tunnistaminen ja tavoitteiden asettaminen

Turvallisuussuunnittelun tarkoituksena on tunnistaa työmaan toimintaan liittyviä vaaroja, ja riskejä, sekä määrittellä toimenpiteet niiden poistamiseksi tai vaikutusten minimoimiseksi. Tässä konseptissa turvallisuussuunnittelussa noudatetaan luvussa 3.6.1 esitettyä vaarojen hallintatoimenpiteiden hierarkiaa ja sillä tarkoitetaan päätoteuttajan tekemää rakennusaikaisten töiden työturvallisuussuunnittelua sekä omaperusteisessa urakoinnissa rakennuttajan asemassa toteutettavaa hankkeen suunnitteluun ja valmisteluun liittyvää

työturvallisuussuunnittelua. Työturvallisuussuunnittelu nivoutuu näin tuotantosuunnittelun prosessiin ja pitää sisällään työturvallisuusasiakirjan laatimisen, työmaan turvallisuussuunnittelun, työmaan aluesuunnittelun, työvaihekohtaisen turvallisuussuunnittelun ja erillissuunnitelmat kuten putoamissuojaussuunnittelun.

Vaarojen lähteiden tunnistaminen

Turvallisuussuunnittelu lähtee liikkeelle vaarojen ja riskien lähteiden tunnistamisesta, jotka jakautuvat kahteen osaan, vaaralliseen ympäristöön ja vaaralliseen toimintaan. *Vaarallisella ympäristöllä* tarkoitetaan erityisesti toimintaympäristöön kuten rakenteisiin, käytettäviin materiaaleihin ja kalustoon liittyviä vaaroja ja altistuksia. Näille vaaroille on ominaista, että ne ovat sidoksissa rakennussuunnittelijoiden, sekä materiaalin ja kaluston valmistajien ja toimittajien tekemiin ratkaisuihin ja onnistuneessa turvallisuussuunnittelussa tuleekin huomioida myös vaarojen lähteisiin liittyvät sidosryhmät. Vaarallinen ympäristö pitää sisällään myös olosuhteista, kuten sääolosuhteista tai ympäröivistä työvaiheista johtuvat vaarat ja altistukset.

Vaaralliseen toimintaan vaikuttavat esimerkiksi työn toteuttajan henkilökohtaiset asenteet, aikaisempi kokemus ja osaaminen sekä mahdolliset tuotanto- ja aikataulupaineet. Riskinottoon liittyy myös projektilla vallitseva kulttuuri, joka on yhdistelmä päätoteuttajaorganisaatiossa vallitsevaa turvallisuuskulttuuria, ja projektilla toimivien sidosryhmien osakulttuureja. Työvaiheen toteutuksen ollessa aliurakoitua työmaalla vallitseva turvallisuuskulttuuri, asenteet ja osaaminen ovatkin riippuvaisia valittavasta urakoitsijasta ja edellä mainitut tekijät tulee pyrkiä huomioimaan jo aliurakoitsijavalintaa tehtäessä. Lisäksi ulkopuolisen tilaajan esittämällä vaatimuksilla on merkittävä ohjaava vaikutus suunnittelijoiden laatimien ratkaisuiden lisäksi valittaviin materiaaleihin, hankkeen turvallisuussääntöihin sekä aikatauluun ja tuotantopaineisiin.

Tavoitteiden asettaminen

Vaarojen ja riskien lähteiden tunnistamisen jälkeen tunnistettuja sidosryhmiä hyödynnetään turvallisuussuunnittelussa osana *osallistavaa turvallisuussuunnittelua*. Osallistavassa turvallisuussuunnittelussa oleellisessa osassa on etenkin työntekijöiden *hiljaisen tiedon* hyödyntäminen, jolla täydennetään projektinjohdon tekemää turvallisuussuunnittelua ja parannetaan työntekijöiden sitoutumista yhteisiin tavoitteisiin. Työvaiheen ollessa aliurakoitua, tulee pääurakoitsijan kouluttaa aliurakoitsijan työnjohto toimimaan osallistavan työturvallisuussuunnittelun mukaisesti ja tukea aliurakoitsijaa erityisesti työympäristön vaarojen tunnistamisessa. Osallistava turvallisuussuunnittelu koostuu viidestä vaiheesta, jotka ovat:

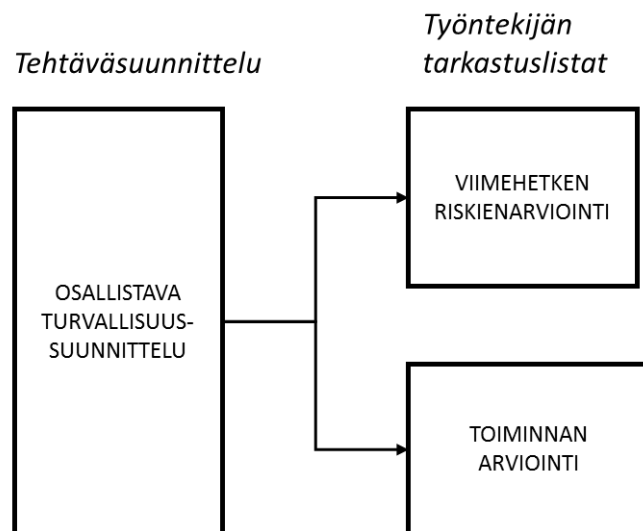
- 1) Työympäristöön liittyvien vaarojen lähteiden ja riippuvuuksien tunnistaminen
- 2) Toteutustavan ja käytettävän kaluston valitseminen ja niin että vaaranlähteet ja riippuvuudet minimoidaan

- 3) Logistiikan ja työn kierron suunnitteleminen sekä soveltuvien suojausten valitseminen niin että toteutukseen liittyy mahdollisimman vähän vaaroille altistumista
- 4) Keskeisimpien *toimintaan* liittyvien riskien tunnistaminen
- 5) Turvalliseen *toimintaan* liittyvien tavoitteiden asettaminen ja niihin sitoutuminen

Osallistava työturvallisuussuunnittelu on riippuvaista onnistuneesta resurssisuunnittelusta. Mitä myöhemmin työtä toteuttamaan tulevat henkilöt valitaan, sitä vähemmän työntekijöiden hiljaista tietoa päästään hyödyntämään koko työmaata koskevassa turvallisuussuunnittelussa. Tavoitteet tulee asettaa realistisiksi työryhmän aiempi taso huomioiden. *Tehtäväsuunnitteluvaiheessa* toteutettavan osallistavan turvallisuussuunnittelun tuotoksena syntyy varsinaisen suunnitelman lisäksi kaksi työntekijöille jaettavaa listaa:

- 1) *Viimehetken riskienarviointi* on tarkastuslista turvallisuussuunnittelun aikana tunnistetuista tehtäväkohtaisista vaaroista ja niistä toimenpiteistä, joiden tulee olla kunnossa ennen kyseisen työvaiheen aloitusta.
- 2) *Toiminnan arviointi* on tarkastuslista, johon nostetaan turvallisuussuunnitelmasta 2-3 työvaiheen turvallisen suorittamisen kannalta tärkeintä toimintaa. Listan laatimisessa on tärkeää varmistaa työntekijöiden vaikutusmahdollisuudet ja sitoutuminen listan sisältöön.

Tarkastuslistojen käyttöä avataan tarkemmin seuraavassa vaiheessa *Edellytysten varmistaminen ja toiminnan mittaaminen*.



Kuva 30. Osallistava työturvallisuussuunnittelu tehtäväsuunnitteluvaiheessa

Tässä konseptin vaiheessa *muutoksella* tarkoitetaan projektikohtaisia muutoksia tilaajan asettamissa vaatimuksissa, suunnitteluajataulussa ja suunnitelmissa, muutoksia valmis-

tajien ja toimittajien tarjoamissa materiaaleissa ja kalustossa. Mitä aikaisemmassa vaiheessa hanketta turvallisuussuunnittelu voidaan aloittaa, sitä paremmin turvallisuusnäkökulma voidaan huomioida päätöksenteossa ja muutostenhallinnassa. Suunnitelmia tulee myös tarkentaa ja päivittää muutosten ilmetessä. Mikäli muutoksia ei onnistuta tunnistamaan tai viemään osaksi turvallisuussuunnittelua, synnyttää se toimintaan ennakoimattomia vaaroja ja riskejä.

Digitaaliset työkalut

Digitaalisilla työkaluilla on mahdollista tehostaa vaarojen tunnistamista sekä tukea sidosryhmien kommunikointia ja yhteistyötä. Ensimmäiset hyödyt saavutetaan jo suunnittelijoiden laatimaa tietomallia tarkasteltaessa, jolloin päätoteuttaja voi nostaa esiin toteutukseen liittyviä riskejä ja vaikuttaa näin suunnittelunohjaukseen. Toteutussuunnittelun edetessä tietomalliin voidaan yhdistää kustannusten lisäksi aikataulu, jolloin projektinjohto voi tarkastella yhdessä urakoitsijoiden kanssa työvaiheiden vaiheistusta ja tunnistaa päällekkäisten työvaiheiden synnyttämiä riskejä. Hyödyntämällä ja täydentämällä jo olemassa olevia tuotantokomponenttikirjastoja voidaan osa turvallisuussuunnittelusta kuten aluesuunnittelu ja putoamissuojaussuunnittelu viedä malliin, jolloin suunnitelmat voidaan tarjota hankkeen osapuolille kolmiulotteisessa ja havainnollistavassa muodossa. Lisäksi materiaaleihin, tuotteisiin ja kalustoon liittyvä turvallisuustietoa kuten käyttöohjeita voidaan tuoda osaksi tietomallia. Osa rutiininomaisesta ja toistuvasta vaarojen tunnistamisesta ja turvallisuussuunnittelusta voidaan myös automatisoida tarkastusohjelmien avulla, jolloin projektinjohtoon aika vapautuu tarkempien turvallisuusanalyysien laatimiseen.

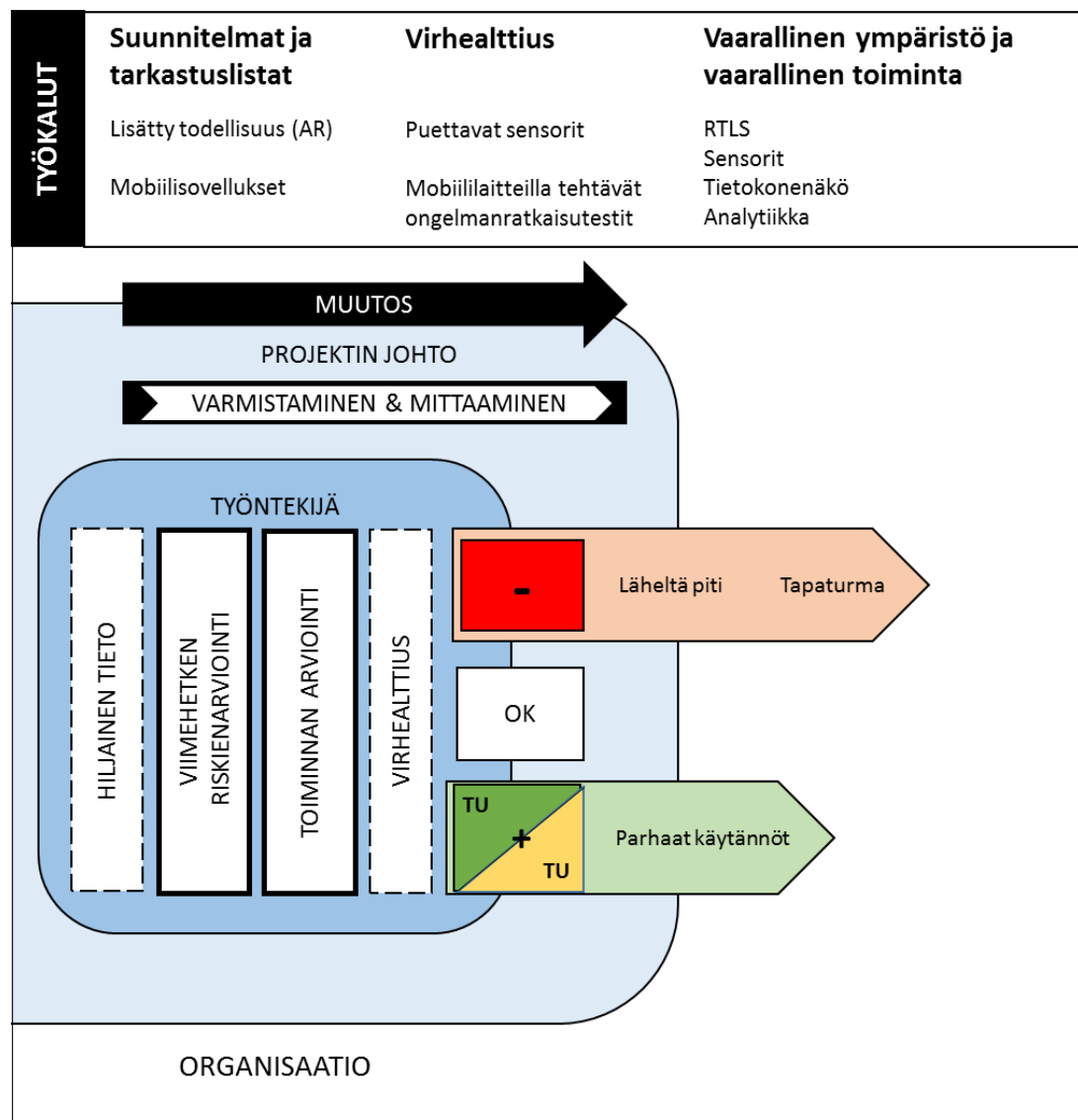
Visualisointia voidaan edelleen tehostaa virtuaalitodellisuudella ja lisätyllä todellisuu-della. Virtuaalitodellisuus soveltuu etenkin hankkeen alkuvaiheessa, sekä useita viikkoja ennen työvaiheen aloitusta tehtävään suunnitteluun, jolloin työmaa ei ole vielä sellaisessa vaiheessa, että vaaroja voitaisiin tunnistaa tehokkaasti paikan päällä. Lisäksi eri osapuolten ei tarvitse olla fyysisesti samassa tilassa, vaan he voivat jakaa saman kokemuksen etänä. Verrattuna näytöiltä esitettävään malliin, virtuaalitodellisuus mahdollistaa todentuntuisemman ja immersivisemmän kokemuksen, joka mahdollistaa etenkin *toimintaan* liittyviä riskien paremman tunnistamisen työntekijöiden kanssa.

Vaikka tietomallinnus parantaakin merkittävästi suunniteltujen ratkaisujen havainnollistavuutta ja vaarojen tunnistamista, muodostuu sen haasteeksi erot suunnitellun ja todellisen ympäristön välillä. Tietomallia on kuitenkin mahdollista rikastaa todellisesta ympäristöstä kerätyillä 3D-malleilla laserkeilauksen ja fotogrammetrian avulla. Dronejen ja kuvausrobottien avulla voidaan saada nopeasti ja kustannustehokkaasti mittatarkkoja malleja esimerkiksi tontista ja rakennuksen rungosta. Työturvallisuussuunnittelun näkökulmasta mallin rikastamiseen riittävät kuitenkin jo älypuhelimilla ja 360° kameroilla kerättävät 3D-kuvat. Hyödyntämällä nosturiin asennettavia kameroita ja yhdistämällä kuva-

ja videomateriaalin kerääminen osaksi viikoittaisia työturvallisuuskierroksia ja työvaiheen laaduntarkastusta, voitaisiin ylläpitää viikko- tai jopa päivätasolla päivittyvää ajantasaista As-built mallia, jota voidaan hyödyntää myös mallipohjaisen työturvallisuussuunnittelun ja vaarojentunnistuksen tukena.

5.1.2 Edellytysten varmistaminen ja toiminnan mittaaminen

Tässä vaiheessa projektinjohto varmistaa yhdessä työntekijöiden kanssa edellytykset työn turvalliselle suorittamiselle ennen työvaiheen alkua, sekä mittaa toteutuksen turvallisuutta. Vaihe on esitetty kuvassa 31.



Kuva 31. Edellytysten varmistaminen ja toiminnan mittaaminen

Muutoksella tarkoitetaan tässä vaiheessa sellaisia muutoksia joiden johdosta työtä aloitettaessa tai työn aikana työympäristö ja olosuhteet poikkeavat oleellisesti suunnitellusta. Tällaisia muutoksia ovat esimerkiksi aikatauluviivästykset, työvälineiden rikkoutuminen,

yllättävät sääilmiöt tai äkilliset sairaskohtaukset. Tällaisia odottamattomia muutoksia on vaikea tai jopa mahdoton tunnistaa suunnitteluvaiheessa ja niihin tulee reagoida viipymättä heti niiden ilmaantuessa.

Edellytysten varmistaminen

Edellytysten varmistaminen pitää sisällään ne toimenpiteet joilla varmistetaan, että työvaihe voidaan aloittaa ja suorittaa suunnitelmien mukaisesti. Edellytysten varmistaminen sijoittuu ajallisesti turvallisuussuunnittelun ja työvaiheen aloituksen väliin ja siihen kuuluvat työvaiheen aloituspalaverin lisäksi työmaalla tehtävät lakisääteiset tarkastukset kuten vastaanotto- ja pystytys- ja viikkotarkastukset joissa projektinjohto varmistaa yhdessä työntekijöiden kanssa koneiden, laitteiden ja välineiden kunnan ja soveltuvuuden rakennustyöhön.

Juuri ennen työvaiheen alkua työryhmä käy läpi yhdessä työnjohtajan kanssa *viimehetken riskienarvioinnin* ja varmistaa, että kaikki suunnitelmassa määritellyt toimenpiteet ovat kunnossa, työkohteen ympäristö vastaa suunniteltua ja on turvallinen töiden aloittamiselle. Viimehetken riskienarvioinnissa tulee huomioida myös työntekijöiden fyysinen ja psyykinen tila, jotka osaltaan kasvattavat alttiutta työnaikana tehtäville tahattomille *virheille*. Työryhmää tulee kannustaa toistamaan viimehetken riskienarviointi itsenäisesti, esimerkiksi jokaisen työvuoron alussa, arvioimaan omaa vireys- ja väsymystilaansa sekä ilmoittamaan mahdollisista muutoksista välittömästi projektinjohtajalle. Muutoksien ilmaantuessa projektinjohtajan tulee uudelleenarvioida tilanne, muuttaa suunnitelmia tai tarvittaessa keskeyttää työt.

Toiminnan mittaaminen

Toiminnan mittaamisella tarkoitetaan viikoittaisen TR-mittauksen osana tehtävää mittamista sekä työryhmän työsuorituksen aikana tekemää päivittäistä itsearviointia. Työryhmä suorittaa oman toiminnan mittaamista hyödyntämällä tehtäväsuunnittelun aikana laadittua *toiminnan arviointi* -tarkastuslistaa, johon on merkitty 2-3 työvaiheen suorituksen kannalta tärkeintä toimintaa, joihin työryhmä on sitoutunut suunnitteluvaiheessa. Mittauksen suorittaa päivittäin työryhmän keskuudestaan valitsema vapaaehtoinen henkilö, jota kuitenkin vaihdetaan pitkäkestoisissa ja toistuvissa työvaiheissa. Tarkastuslistaan merkitään, kuinka moni henkilö koko työryhmästä noudatti työpäivän aikana sovittua toimintatapaa. Tämän jälkeen työnjohtaja kerää tulokset ja keskustelee työntekijöiden kanssa löytääkseen juurisyyt siihen miksi sovittua toimintatapaa ei noudatettu. Mikäli turvallisen toiminnan noudattamiselle löytyy jokin este, tulee työvaihe suunnitella uudelleen niin että turvallinen toiminta on mahdollista. Saatujen tuloksien perusteella lasketaan suhdeluku, joka esitetään visuaalisesti näkyvällä paikalla ja toimii motivaattorina toiminnan parantamiselle. Työryhmän saavutettua toiminnalle asetetut tavoitteet yhtäjaksoisesti, onnistumista juhlistetaan ja toiminnalle asetetaan uudet tavoitteet.

Poikkeamat

Tarkastuksien, viimehetken riskienarvioinnin, toiminnan arvioinnin sekä TR-mittauksen aikana tehtävien *kunnossa*-merkintöjen (OK) lisäksi projektilla tehdään kahdenlaisia poikkeamahavaintoja:

- 1) Negatiivisia turvallisuushavaintoja (-)
- 2) Positiivisia turvallisuushavaintoja (+)

Negatiivinen turvallisuushavainto laaditaan turvallisuuspuutteen havaitsemisen yhteydessä, kun työympäristö tai toiminta ei täytä sille asetettuja vähimmäisvaatimuksia. Negatiiviset havainnot voivat koskea myös kaluston, materiaalien ja suunnitteluratkaisuiden turvallisuuteen liittyviä reklamaatioita. Positiivinen turvallisuushavainto taas laaditaan silloin, kun työympäristö tai toiminta on minimitasoa merkittävästi turvallisemmalla tasolla ja siihen voi liittyä jokin turvallisuusinnovaatio, ratkaisu tunnettuun turvallisuushaasteeseen tai suositteleminen. Tarkastusten ja mittausten lisäksi kuka tahansa hankkeen osapuoli tai jopa ulkopuolinen henkilö voi tehdä yksittäisiä turvallisuushavaintoja ja ne ovat olennaisessa osassa projektin turvallisuustoiminnan kehittämisessä. Tässä konseptissa positiivisiin turvallisuushavaintoihin liittyy olennaisen osana myös tuottavuusnäkökulma, joka on kuvattu kirjainyhdistelmällä TU-TU, Turvallinen ja Tuottava. Ne turvallisuutta edistävät käytännöt jotka parantavat tuottavuutta, vähentävät hukkaa ja helpottavat työntekoa ovat sellaisia, jotka yleistyvät parhaiten sekä työntekijöiden että projektin johdon keskuudessa.

Digitaaliset työkalut

Mobiilisovellusten ja pilvipalveluiden avulla digitaalisessa muodossa olevat ajantasaiset työturvallisuussuunnitelmat ja tarkastuslistat voidaan tuoda sekä työnjohdon että työntekijöiden käyttöön kentälle. Havaintoihin voidaan liittää esimerkiksi valokuvia ja videoita, havainnon sijainti voidaan merkitä pohjakuvaan tai kohdistaa tietomallin tiettyyn osaan. Hyödyntämällä lisättyä todellisuutta työntekijät voivat tarkastella mallinnettuja turvallisuussuunnitelmia kuten putoamissuojaussuunnitelmia todellisessa ympäristössä mobiili laitteilla ja teknologian kehittyessä voidaan työntekijän kädet vapauttaa työntekoon AR-lasien avulla sellaisissa työvaiheissa, jotka vaativat suunnitelmien tarkkaa lukemista työn aikana.

Digitalisaatio mahdollistaa sekä turvallisuuspuutteiden, läheltä piti -tilanteiden sekä tapaturmien automaattisen havaitsemisen. Koska teknologia kuitenkin osaa tunnistaa vain sellaisia poikkeamia mitä se on opetettu tunnistamaan, tulee automatisoitua turvallisuusmittaamista hyödyntää varauksin. Vaarojen tunnistamisen automatisoituessa tulee korostuman se, miten työntekijät reagoivat järjestelmien antamiin ilmoituksiin ja varoituksiin. Ilmoitusten näkyvyyttä voidaan parantaa esimerkiksi tuomalla ilmoitukset visuaalisiksi AR-laseja käyttävän työntekijän näkökenttään tai hyödyntämällä erilaisia äänimerkkejä

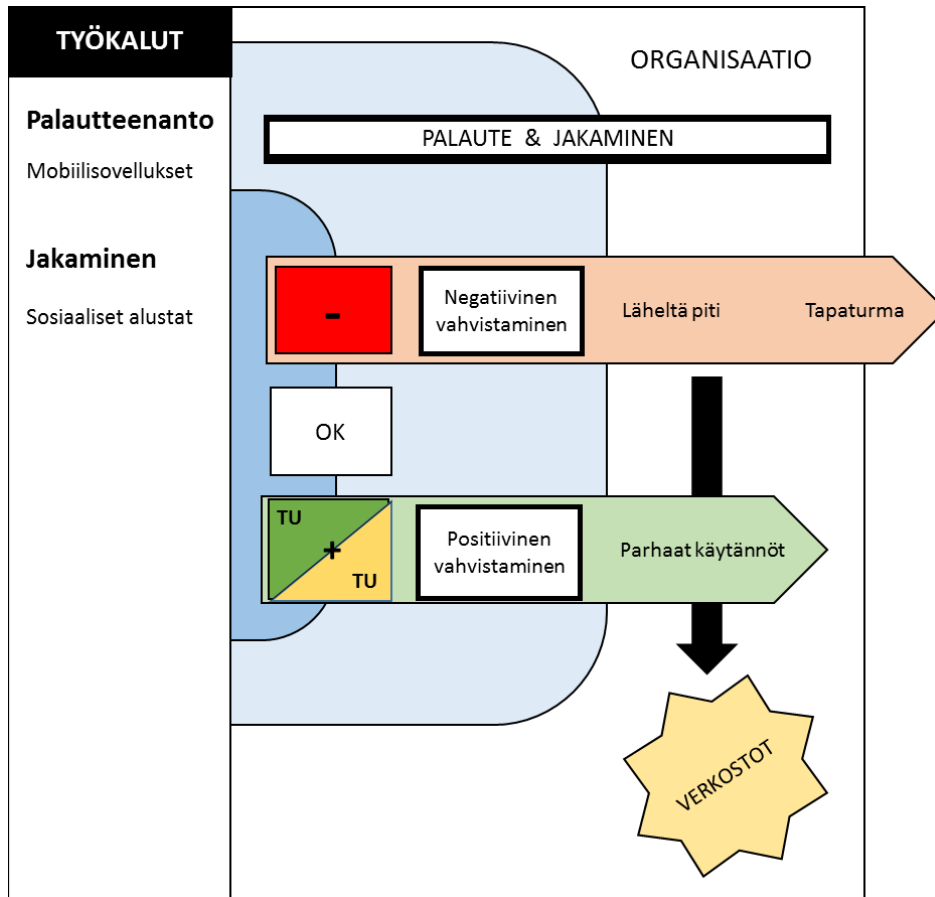
tai tärinää. Osa työvaiheista suoritetaan kuitenkin olosuhteissa, joissa altistutaan melulle ja tärinälle. Järjestelmät saattavat lisäksi antaa virheilmoituksia joka johtaa siihen, ettei työntekijä luota automatiikkaan.

Turvallisuuden mittaamiseen soveltuvien teknologioiden suuresta määrästä huolimatta suuri osa niistä on edelleen paremmin tapauskohtaisiin käyttötilanteisiin kuin laajaan käyttöön soveltuvia. Hyödynnettävä teknologia tulisikin valita aina projektin ja työvaiheen erityispiirteet huomioiden. Esimerkiksi suuri osa reaaliaikaisista paikannusjärjestelmistä on vielä verrattain nuoria teknologioita, joita edelleen tutkitaan laajasti. Niitä voitaisiin kuitenkin hyödyntää jo nyt tukemaan vaarojen tunnistusta sellaisissa työvaiheissa, joissa on erityisen tärkeää pysyä poissa vaaralliseksi määritellyltä alueelta tai työskennellessään raskaan kaluston kanssa huonon näkyvyyden vallitessa. Erityistä tarkkuutta vaativissa työvaiheissa työntekijöiden reagoitokykyä ja terveydentilaa voitaisiin arvioida ennen työvaiheen alkua älypuhelimella suoritettavilla ongelmanratkaisutesteillä sekä työsuorituksen aikana puettavilla sensoreilla. Sensoreilla voitaisiin tunnistaa myös epäergonomisia asentoja sellaisissa työvaiheissa jotka vaativat raskaita nostoja tai altistumista ääriolosuhteille tai haitallisille aineille. Ennen laajempaa yleistymistä teknologioita voitaisiin hyödyntää tapaustutkimuksissa, joilla voitaisiin tunnistaa kehityskohteita tai todentaa esimerkiksi uusien kalustovalintojen tai työskentelytapojen toimivuutta ja turvallisuutta. Tutkituista teknologioista laajempia hyötyjä voitaisiin todennäköisesti saavuttaa tietokonenäöllä. Sitä voitaisiin hyödyntää automaattiseen vaarojen luokitteluun paitsi osana turvallisuushavaintoja, myös fotogrammetrista kuvaamista ja mitä tahansa muuta työmaalta syntyvää kuvamateriaalia. Tietokonenäön käyttöä tukee myös se, ettei se vaadi suoranaisesti erillistä laitteistoa vaan perustuu tekoälyä hyödyntävään ohjelmistoon.

Projektilla syntyvän datamäärän kasvaessa analytiikka synnyttää uusia mahdollisuuksia löytää riippuvuussuhteita paitsi toiminnan, tunnistettujen vaarojen, läheltä piti -tilanteiden ja tapaturmien välille, myös ennakoivan toiminnan ja positiivisten seurauksien välille. Yhdistämällä tätä tietoa organisaation muuhun dataan, voidaan tehostaa onnettomuustutkintaa sekä rakentaa ja löytää uudenlaisia ennakoivia indikaattoreita ja mittareita. Mittareita voidaan edelleen personoida niin, että esimerkiksi työnjohtajan näkymä koostuu kyseisen työnjohtajan vastuulla olevien työvaiheiden mittareista, kun taas vastaavalla mestarin näkymä koostuisi koko projektin yleisilmeen kertovasta yhdistelmämittarista.

5.1.3 Palaute ja jakaminen

Tässä vaiheessa projektinjohto antaa työn toteutuksesta palautetta ja parhaat käytännöt sekä kohdatut haasteet jaetaan organisaation sosiaalisessa verkostossa. Vaihe on esitetty kuvassa 32.



Kuva 32. Palaute ja jakaminen

Palaute

Tarkastuksista, mittauksista ja yksittäisistä turvallisuushavainnoista kertyviä poikkeamia hyödynnetään edelleen palautteenannossa, joka jaetaan tässä konseptissa negatiiviseen ja positiiviseen vahvistamiseen. Positiivista vahvistamista käytetään silloin kun työntekijöiden tai muiden osapuolten toimintaan on liittynyt jokin positiivinen havainto, tai TR-mittauksessa ja *toiminnan arvioinnissa* ollaan päästy yhtäjaksoisesti sille asetettuun tavoite-tasoon. Positiivisessa vahvistamisessa hyödynnetään ensisijaisesti sosiaalisia palkintoja kuten kehumista, tunnustusta ja toiminnan merkittävyyden osoittamista. Palkinto voi olla myös materiaallinen, mutta tällöin tulee varmistua siitä, että se on vastaanottajille mieluisa ja toimii aidosti motivaattorina.

Negatiivista vahvistamista käytetään silloin kun toimintaan tai toiminnan seurauksiin on liittynyt jokin negatiivinen havainto. Negatiivisessa vahvistamisessa lähdetään liikkeelle kahdenkeskisestä rakentavasta palautteesta, jossa korostetaan vaarallisen toiminnan seurauksia kuten aiemmin sattuneita tapaturmia ja ohjeistetaan turvallisempi tapa toimia korostaen *parhaita käytäntöjä*. Osana rakentavaa palautetta tulisi myös etsiä vaarallisen toiminnan todellisia juurisyitä ja pyrkiä löytämään niihin ratkaisuja. Mikäli toiminta ei kuitenkaan palautteenannon jälkeen muutu, siirrytään varoituksiin ja rangaistuksiin kuten työmaalta poistamiseen ja sakkoihin. Tapauksissa joissa työntekijät ovat mitanneet omaa

toimintansa ja omatoimisesti ilmoittaneet toiminnassaan ilmenevistä puutteista, tulisi hyödyntää ensisijaisesti rakentavaa palautetta, juurisyiden löytämistä ja tavoitteiden asettamista, sillä rangaistuksien antaminen saattaa johtaa ilmoituskulttuurin laskemiseen.

Sekä positiivisella että negatiivisella vahvistamisella vaikutetaan projektilla vallitsevaan *turvallisuuskulttuuriin* ja työntekijöiden *hiljaiseen tietoon*. Positiivisista havainnoista keskusteleminen ja kokemusten jakaminen edistävät parhaiden käytäntöjen siirtymistä osaksi työntekijöiden normaalia tapaa toimia. Lisäämällä keskustelua vaarallisen toiminnan seurauksista kuten läheltä piti -tilanteista ja tapaturmista sekä tuomalla annetut rangaistukset näkyviksi vaikutetaan työntekijöiden henkilökohtaiseen riskitasoon. Sekä positiivista että negatiivista vahvistamista tulisikin hyödyntää osana työmaalla säännöllisesti pidettäviä turvallisuuskeskusteluja. Menetelmiä voidaan soveltaa myös suunnittelijoille, materiaalin ja kaluston valmistajille ja toimittajille annettavassa palautteessa.

Jakaminen

Negatiivisella ja positiivisella vahvistamisella vaikutetaan toiminnan kehittämiseen projektitasolla, mutta jotta hyötyjä voidaan saada organisaatiossa, tulee projektilla kohdatut haasteet kuten vakavat vaarat, läheltä piti -tilanteet ja tapaturmat, sekä tunnistetut mahdollisuudet kuten *parhaat käytännöt* jakaa muiden tietoisuuteen. Koska tässä konseptissa parhaita käytäntöjä jaetaan alhaalta ylöspäin, nousee suurissa organisaatioissa projektin ulkopuolelle jakamisen haasteeksi jaettavan tiedon suuri määrä, jolloin tiedon löydettävyyden ja hyödynnettävyyden vuoksi se tulee luokitella. Tässä konseptissa tiedon jakamiseen hyödynnetään *sosiaalisia verkostoja*, joissa projekteilla kohdattuja turvallisuushaasteita ja parhaita käytäntöjä jaetaan kohdennetuissa ryhmissä. Ryhmät muodostetaan sellaisten työturvallisuuden kannalta keskeisimpien töiden ympärille, joissa tapahtuu eniten vakavia tapaturmia, kuten putoamisvaaralliset työt, henkilönostot, kaivantotyöt, purkutyöt ja niin edelleen. Ryhmien ylläpitäjiksi kootaan sellaisia henkilöitä, jotka on tunnistettu kunkin aihealueen parhaiksi osajiksi sekä työntekijätasolta, projektinjohtotasolta että korkeammilta organisaatiossa. Yhdessä nämä henkilöt muodostavat *turvallisuuden* ydinryhmiä, joiden tehtävänä on tukea projektitoimintaa ongelmanratkaisussa ja turvallisuuskulttuurin edistämässä. Ydinryhmätoiminnalle määritetään myös ylimmästä johdosta *sponsori*, joka sitoutuu ydinryhmätoiminnan edistämiseen.

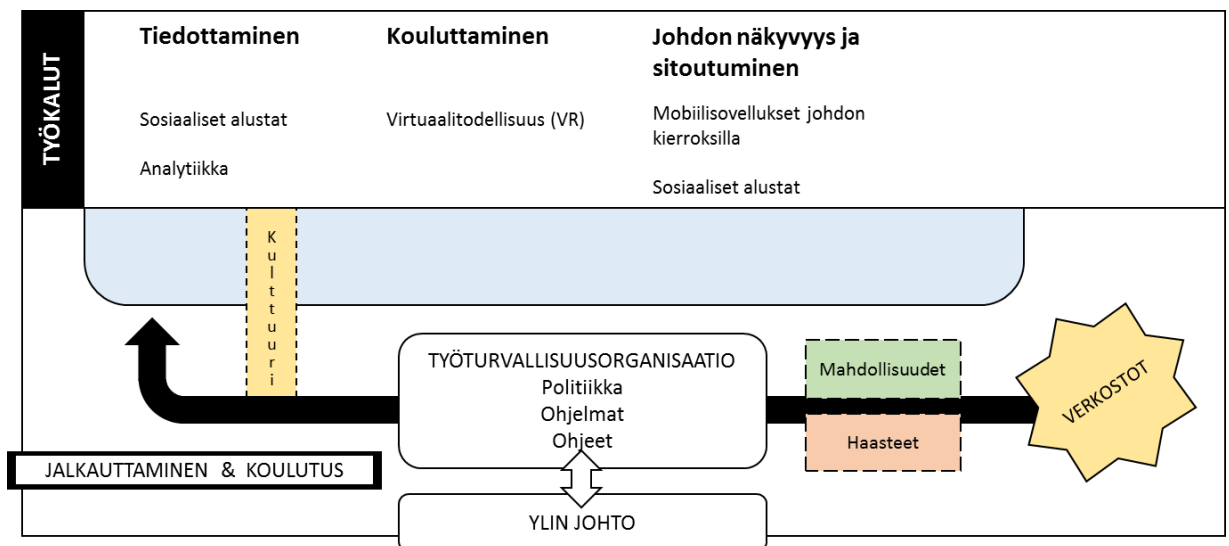
Projektilla tehtyjen havaintojen jakaminen sosiaalisissa verkostoissa perustuu vapaaehtoisuuteen, mutta kaikilla projektin osapuolilla tulisi olla mahdollisuus nostaa tärkeäksi kokemiaan havaintoja laajempaan keskusteluun. Havaintojen jakaminen, niistä keskustelu ja ratkaisuehdotusten saaminen kannustavat uusien havaintojen tekemiseen ja jakamiseen, mikä johtaa paitsi tietoisuuden lisääntymiseen, myös kokonaan uusien turvallisuusinnovaatioiden syntymiseen. Onnistunut verkostojen hyödyntäminen mahdollistaa oppivan organisaation käsitteen vahvistumisen ja kokonaan uudenlaisen kulttuuriin, *Turvallisuus-Innovaatiokulttuurin* syntymisen.

Digitaaliset työkalut

Mobiililaitteilla tehtyihin turvallisuushavaintoihin voidaan liittää tarkentavia ohjeita ja palautetta. Vastaavasti automatiikkaan perustuvat järjestelmät voivat vaarallisen toiminnan tunnistessaan antaa toimintaa korjaavia ohjeita ja ne voidaan ohjelmoida antamaan työntekijöille mahdollisuuden korjata toimintaansa ennen työnjohdolle lähetettävää ilmoitusta. Älykkäät järjestelmät osaavat myös tunnistaa positiivisen toiminnan ja antaa automaattisesti palautetta tavoitteiden saavuttamisesta. Digitaaliset järjestelmät eivät kuitenkaan voi korvata ihmistä ja siksi järjestelmään kirjattua tai automatiikan tuottamaa havaintoa voidaankin hyödyntää muistutuksena henkilökohtaista palautteenantoa varten. Verkostojen toimintaa taas voidaan tukea sosiaalisilla alustoilla jotka mahdollistavat havaintojen jakamisen, kommentoinnin ja niihin reagoimisen.

5.1.4 Jalkauttaminen ja koulutus

Tässä vaiheessa työturvallisuusorganisaation ja johdon yhdessä määrittämä politiikka, ohjelmat ja ohjeet jalkautetaan organisaatioon. Vaihe on esitetty kuvassa 33.



Kuva 33. Jalkauttaminen ja koulutus

Projekteilla tehtäviä mittauksia, johtamisjärjestelmän auditointeja ja *sosiaalisien verkostojen* kautta syntyvää tietoa hyödynnetään organisaation toiminnan arvioinnissa ja organisaation vahvuuksien, heikkouksien sekä haasteiden ja mahdollisuuksien tunnistamisessa. Nämä edelleen toimivat syötteinä organisaation työturvallisuuspolitiikan ja turvallisuusohjelmien määrittämisessä sekä tarvittavien ohjeiden laatimisessa. Yrityksen ylimmän johdon tulee olla mukana politiikan ja ohjelmien määrittämisessä, sitoutua niiden edistämiseen ja osallistua jalkauttamiseen.

Jalkauttaminen toteutetaan tiedottamisen ja kouluttamisen kautta linjaorganisaatiossa. Myös johdon säännölliset työmaakerrokset ovat osa jalkauttamista, jolla vaikutetaan vahvasti projektilla vallitsevaan turvallisuuskulttuuriin. Siirryttäessä käyttämään uusia toimintatapoja ja työkaluja turvallisuuden edistämiseksi korostuukin muutosjohtamisen ja esimerkilläjohtamisen merkitys. Jalkauttaminen ei saa jäädä työturvallisuusorganisaation vastuulle vaan ylimmän johdon tulee antaa keskijohdolle riittävä tuki muutoksen läpivientiin linjaorganisaation lävitse.

Digitaaliset työkalut

Siirryttäessä käyttämään läpinäkyviä ja avoimia digitaalisia järjestelmiä voidaan osaa todentavista auditointitoimenpiteistä helpottaa ja automatisoida. Tämä vapauttaa aikaa tarkempaan analyysiin ja juurisyyden etsimiseen, jota voidaan täydentää eri lähteistä tietoa keräävillä analytiikkatyökaluilla. Syntyvää dataa voidaan tarkastella projektien yli ja näin löytää yhteneväisyyksiä ja eroavaisuuksia projektien toiminnassa.

Järjestelmiin tallentuneen tietoa voidaan hyödyntää myös turvallisuusohjeiden sekä sosiaalisilla alustoilla käytyjen turvallisuuskeskustelujen suositteluun ja kohdentamiseen sellaisille henkilöille, jotka työskentelevät tietyissä työvaiheissa. Näin voidaan oikea-aikaisesti tukea turvallisuussuunnittelua, vaarojen tunnistusta ja parhaiden käytäntöjen käyttöönottoa.

Virtuaalidellisuus mahdollista interaktiivisen oppimisympäristön tuomisen osaksi koulutuksia. Virtuaalisissa ympäristöissä voidaan harjoitella vaarojen tunnistamista sekä opetella työskentelyä ja toimintatapoja vaarallisissa ympäristöissä tai hätätilanteissa. Näin voidaan kasvattaa projektinjohdon ja työntekijöiden valmiutta poikkeustilanteissa toimimiseen ja onnettomuuksien seurausten minimoimiseen.

Ylin johto ja keskijohto voivat edistää digitaalisten työkalujen käyttöä hyödyntämällä havaintojen tekemiseen mobiilisovelluksia osana johdon työmaakerroksia sekä tehdä aloitteita keskusteluille, innostaa ja antaa palautetta sosiaalisilla alustoilla.

5.2 Konseptin arviointi

Tilajyritys arvioi konseptia sekä työturvallisuusjohtamisen että liiketoiminnan näkökulmasta. Konsepti nähtiin havainnollisena ja järjestelmällisenä kuvauksena työturvallisuusjohtamisesta tuotannon viitekehityksessä. Tilajyrityksen näkemyksen mukaan työturvallisuudessa on jo saavutettu se taso, mikä on ylipäätään mahdollista rakennusalan nykyisillä käytännöillä. Esitetty konsepti on toteutuskelpoinen ja sen avulla on mahdollista ottaa seuraava askel työturvallisuuden kehittämisessä. Konsepti sai erityisesti kiitosta modulaarisuudesta, jonka kuvattiin helpottavan erityisesti pilotointia ja käyttöönottoa, koska osa-alueita voidaan lähteä kehittämään vaiheittain. Lisäksi laaditusta konseptista mainittiin muun muassa seuraavaa:

”Erityinen ansio laaditussa konseptissa on siirtää turvallisuusjohtamisen painopistettä turvallisuuskulttuurista muihin suuntauksiin. Tällöin turvallisuuden johtamista voidaan edelleen systematisoida ja johtamisen vaikuttavuutta kehittää. Työturvallisuuskulttuurin merkitystä ei ole kuitenkaan unohdettu vaan se on keskeinen käsite konseptin toteutuksessa”

”Monia konseptissa mukana olevia toimenpiteitä toteutetaan jo nyt manuaalisesti, mutta tästä johtuen ne jäävät pintapuolisiksi ja vaikuttavuus vähäisemmäksi kuin mihin olisi mahdollisuus. Digitalisaatiota hyödyntämällä pääsemme kehittämään toimintaa eri osa-alueilla ja tarkastelemaan myös sisällön laatua sekä riippuvuuksia ja vaikuttavuutta entistä helpommin.”

”Esitetty konsepti tukee myös muita liiketoiminnan kannalta tärkeitä osa-alueita, kuten laaduntuottoa sekä tuottavuutta, ja esitettyjä teknologioita voidaan käyttää laajalti myös näillä osa-alueilla.”

Tilaaajyrityksen arvioiden perusteella tutkimus ja konsepti voidaan todeta onnistuneeksi. Seuraavassa vaiheessa konsepti tulee konkretisoida yrityksen toimintaan sopivaksi esimerkiksi hyödyntäen jo käytössä olevia teknologioita sekä rakentaa kehitys- ja käyttöönottosuunnitelma niiden osioiden osalta, joihin vielä tällä hetkellä ei ole valmiuksia.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tälle diplomityölle asetettiin tavoitteeksi tutkia kansainvälisiä ja rakennusalalla vähemmän hyödynnettyjä työturvallisuusjohtamissuuntauksia ja arvioida niiden soveltuvuutta rakennusalalle. Tämän lisäksi selvitettiin digitaalisten teknologioiden tuomia mahdollisuuksia rakennusalan työturvallisuusjohtamiseen. Lopuksi laadittiin konsepti siitä, miten työturvallisuutta tulisi johtaa digitaalisia työkaluja hyödyntäen. Tutkimuksessa tunnistetut seitsemän työturvallisuusjohtamisen suuntausta lähestyvät työturvallisuutta eri näkökulmista. Tuotantosuunnittelu, lean-ajattelu ja systeemiajattelu painottavat ennakkosuunnittelu, siinä missä resilienssiin perustuva työturvallisuusjohtaminen keskittyy tilannetietoisuuden kasvattamiseen ja poikkeamien hyödyntämiseen toiminnan kehittämisessä. Käyttäytymiseen perustuva työturvallisuusjohtaminen pyrkii muuttamaan toimintaa organisaatiossa alhaaltapäin, kun taas turvallisuuskulttuuri vaikuttaa siihen ylhäältä käsin. Tietojohdamiseen perustuva työturvallisuusjohtaminen puolestaan edistää turvallisuustiedon virtaamista koko organisaatiossa. Yksikään suuntauksista ei osoittautunut rakennusalalle sopimattomaksi ja vaikka suuntauksien välillä voidaan nähdä tietynasteista vastakkainasettelua, täydensivät ne myös toisiaan. Kaikki tunnistetuista kymmenestä digitaalisesta teknologiasta olivat rakennusalalle soveltuvia ja niille löydettiin todellisia yrityselämän käyttötapauksia muun muassa turvallisuussuunnittelun parantamisesta ja vaarojen ja riskien tunnistamisen tehostamisesta. Teknologioiden välillä on kuitenkin merkittäviä eroja siinä, miten niillä voidaan parantaa työturvallisuutta ja nuorina teknologioina niiden laajamittaisessa käytössä on vielä useita haasteita.

Tunnistettujen työturvallisuusjohtamissuuntauksien ja digitaalisten teknologioiden perusteella laadittiin holistinen ja modulaarinen konsepti kuvaamaan työturvallisuusjohtamisjärjestelmää, jonka avulla rakennusyritys voi johtaa työturvallisuutta digitaalisia työkaluja hyödyntäen. Konsepti pyrkii parantamaan sekä projektilla että koko päätoteuttajaorganisaatiossa tapahtuvaa yhteistyötä ja vaarojen tunnistamista, lisäämään saatavilla olevan turvallisuustiedon oikea-aikaisuutta, parantamaan työntekijöiden tilannetietoisuutta sekä antamaan uusia työkaluja työturvallisuuden mittaamiseen ja kehittämiseen. Konseptin teoreettisena pohjana toimi Mitropouloksen et. al. rakennusalle esittämä nykyaikainen onnettomuusteoria, jossa rakennustyömaa nähdään vaikeasti ennustettavana ja kompleksisena sosioteknisenä systeeminä, jossa riskit syntyvät tuotantopaineiden alaisena työskentelevien ihmisten vuorovaikuttaessa vaarallisen ympäristön kanssa. Riskit eivät itsessään aiheuta onnettomuuksia, vaan niiden toteutumiseen vaikuttaa muun muassa virhealtuus, joka on riippuvainen työntekijän tilannetietoisuudesta sekä fyysisestä ja psyykkisestä tilasta. Konseptissa huomioitiin myös suomalaisen lainsäädännön sekä uuden ISO 45001 standardin asettamat vaatimukset soveltuvilta osin.

Varsinainen konsepti koostui neljästä vaiheesta. Konseptin ensimmäinen vaihe *Vaarojen tunnistaminen ja tavoitteiden asettaminen* perustui erityisesti tuotantosuunnitteluun, systeemijatteluun sekä lean-ajatteluun perustuviin työturvallisuusjohtamissuuntauksiin nimomalla työturvallisuuden osaksi normaalia tuotantosuunnittelua, korostamalla riippuvuuksien tunnistamista ja kompleksisuuden vähentämistä sekä vähentämällä vaaroille altistumista poistamalla työvaiheista sellaisia hukkia, joiden poistamiseen ei liity riskien kasvua. Osapuolten vuorovaikutusta ja suunnitelmien havainnollistavuutta tehostettiin ensimmäisessä vaiheessa tietomallipohjaisella turvallisuussuunnittelulla, virtuaalitodellisuudella, sekä mallin rikastamisella fotogrammetrisilla malleilla.

Resilienssiin perustuva työturvallisuusjohtaminen näkee turvallisen työskentelyn mahdolliseksi kompleksisuudesta huolimatta ja panostaa tilannetietoisuuden ja harkintakyvyn kehittämiseen, sekä variaation tuomien haasteiden ja mahdollisuuksien hyödyntämiseen. Konseptin toisessa vaiheessa *Edellytysten varmistaminen ja toiminnan mittaaminen* projektinjohto varmistaa yhdessä työntekijöiden kanssa edellytykset työn turvalliselle suorittamiselle ennen työvaiheen alkua ja työntekijät suorittavat viimehetken riskienarviointeja sekä mittaavat omaa toimintaansa. Mobiilisovellukset mahdollistavat sähköisten tarkastuslistojen täyttämisen ja turvallisuushavaintojen tekemisen, kun taas mallipohjaisia turvallisuussuunnitelmia voidaan visualisoida kentällä lisätyn todellisuuden avulla. Tietokonenäön, sensori-teknologian ja reaaliaikaisten paikannusjärjestelmien avulla voidaan tunnistaa automaattisesti sekä negatiivisia ja positiivisia poikkeamia sekä lisätä työntekijöiden tilannetietoisuutta ilmoitusten avulla. Lisäksi edistyneen analytiikan avulla voidaan tunnistaa läheltä piti -tilanteiden ja tapaturmien juurisyitä.

Käyttäytymiseen perustuva työturvallisuusjohtamisen korostaa toiminnan seurausten kuten palauteen, tunnustusten sekä palkitsemisen merkitystä turvallisuuskäyttäytymiseen vaikuttamisessa. Tietojohtamiseen perustuva työturvallisuusjohtaminen pyrkii parantamaan sekä näkyvän että hiljaisen tiedon virtaamista ja hyödyntämistä verkostoissa. Vaiheessa *Palaute ja jakaminen* projektinjohto antaa työn toteutuksesta palautetta ja toiminnan aikana tunnistetut parhaat käytännöt sekä kohdatut haasteet jaetaan organisaation sosiaalisessa verkostossa. Palautteenantoa ja jakamista voidaan tukea mobiilisovelluksilla ja sosiaalisilla alustoilla, joissa turvallisuusaiheista keskustelu ja ongelmanratkaisu johtavat kokonaan uusien turvallisuus-innovaatioiden syntyyn.

Kulttuuriin perustuva työturvallisuusjohtaminen korostaa johdon sitoutumisen merkitystä ja esimerkillä johtamista. Konseptin viimeisessä vaiheessa *Jalkauttaminen ja koulutus* työturvallisuusorganisaatio tunnistaa analytiikkaa hyödyntäen projekteilta ja sosiaalisista verkostoista syntyvästä tiedosta mahdollisuuksia ja haasteita, laatii tarvittavia ohjeita sekä määrittää ylimmän johdon kanssa turvallisuuspolitiikan ja ohjelmat. Mobiilisovelluksia ja pilvipalveluita voidaan hyödyntää jalkauttamisessa oikea-aikaisessa tiedottamisessa sekä johdon kierroksilla ja virtuaalitodellisuutta vaarallisten työvaiheiden ja hätätilanteissa toimimisen kouluttamiseen.

Työturvallisuuden varmistaminen on yksi jatkuvan liiketoiminnan edellytyksistä, jolla voidaan nähdä olevan vaikutusta niin yrityksen tuottavuuteen, laatuun kuin työntekijä- ja asiakastyytyväisyyteen. Lainsäädännöllä on ollut historiallisesti merkittävä rooli työturvallisuuteen liittyvien toimintatapojen leviämässä suomalaisella rakennusalalla, mutta täyttämällä pelkästään lainsäädännön vaatimukset voi yritys saavuttaa työturvallisuudessa vain minimitason. Digitalisaatiota voidaan kuvata innovaationa, joka omaa sekä teknis-taloudellisen että yhteiskunnallisen innovaation piirteitä. Rakennusalalla digitalisaation vaikutukset tulevat näkymään operatiivisissa teknologioissa, joiden avulla voidaan nostaa paitsi tuottavuutta, myös parantaa työturvallisuutta. Digitalisaatio tulee kuitenkin nähdä ensisijaisesti työkaluna ja mahdollistajana, eikä sillä voida korvata varsinaista työturvallisuusjohtamista. Aikaisemmat tutkimukset eivät ole esittäneet kokonaisvaltaista mallia eri työturvallisuusjohtamissuuntauksien ja digitaalisten teknologioiden yhdistämisestä osaksi rakennusyrityksen tuotantoprosessia ja työturvallisuusjohtamisjärjestelmää. Tilaaajyrityksen arvion perusteella laadittu konsepti asetti sille asetetut tavoitteet ja se voidaan konkretisoida yrityksen käyttöön vaiheittain tulevaisuudessa.

Tässä tutkimuksessa esitetty konsepti laadittiin kirjallisuustutkimuksen tuloksena. Vaikka useat tieteelliset tutkimukset ovatkin arvioineet sekä työturvallisuusjohtamismenetelmien ja digitaalisten teknologioiden soveltuvuutta rakennusalalle, vaativat konseptin esittämät ratkaisut kuitenkin testaamista, ennen kuin niitä voidaan ottaa diplomityön tilaaajyrityksen käyttöön. Useilla esitetyistä teknologioista on käyttömahdollisuuksia myös työturvallisuuden ulkopuolella esimerkiksi hukan poistamiseen, tuottavuuden parantamiseen ja laadunhallinnan kehittämiseen. Teknologioita yrityksen käyttöön valittaessa tulee niiden tuomia hyötyjä tarkastella kokonaisvaltaisesti, eikä pelkästään työturvallisuuden näkökulmasta. Tarkempaa määrittystä vaatisivat ainakin seuraavat ratkaisut:

- Rakennustyömaan eri vaiheisiin soveltuva sisä- ja ulkopaikannusjärjestelmä
- Dronejen ja kuvausrobottien hyödyntäminen 3D-mallintamisessa
- Täysimittaiseen tietokonenäön hyödyntämiseen tarvittava tekoäly ja kalusto
- Puettavien sensoreiden hyödyntäminen rasitustilan ja virhealttiuden määrittämisessä
- Puettavien sensoreiden ja robotiikan hyödyntäminen ergonomian parantamisessa

Työturvallisuusjohtamissuuntauksia ja digitaalisia teknologioita kartoitettaessa syntyi useita ideoita, jotka jäivät kuitenkin pois lopullisesta diplomityöstä ja konseptista. Näitä ovat muun muassa

- Vastaanottotarkastusten osittainen automatisointi RFID-teknologiaa hyödyntäen
- 3D-materiaalin kerääminen ja turvallisuuspuutteiden automaattinen havaitseminen tietokonenäön avulla TR- tai MVR-kierroksen aikana
- Turvallisuuspuutteiden merkitseminen tietomalliin MR-teknologian avulla
- Paikannusjärjestelmien hyödyntäminen turvallisuushavaintojen sijainnin automaattisessa määrittämisessä
- Pelillistämisen hyödyntäminen turvallisuushavaintojen ilmoituskulttuuriin lisäämisessä

LÄHTEET

- Accenture PLC (2015). Digital density index: Guiding digital transformation. Verkkolähde. Saatavissa: https://www.accenture.com/us-en/insight-digital-density-index-guiding-digital-transformation?c=strat_digidens_10000001&n=otc_0315 (viitattu 17.8.2017)
- Abdelhamid T., Everett J., (2000) Identifying root causes of construction accidents. Journal of Construction Engineering and Management. Vol. 126, Issue 1, January.
- Agarwal R., Chandrasekaran S. and Sridhar M. (2016). Imagining construction's digital future. McKinsey&Company. Verkkolähde. Saatavissa: <http://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/imagining-constructions-digital-future> (viitattu 22.8.2017)
- American National Standard Institute (2016) ISO 45001 Occupational Health and Safety Management Systems Information Guide.
- Aon Consulting Inc (2004) Occupational Health and Safety Management Systems: Defined Management Solutions to Manage Risk and Demonstrate Due Diligence
- Arora A., Becker M., Simon M., Wunderlich F. (2017). Turnaround artists: How companies can catch up to the digital revolution. McKinsey Quarterly. Verkkolähde. Saatavissa: <http://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/turnaround-artists#0> (viitattu 1.9.2017)
- Arslan, M., Riaz, Z., Kiani, A.K. (2014) Real-time environmental monitoring, visualization and notification system for construction H&S management. Electron. J. Inf. Tech. Constr. 2014, 19, s. 72–91.
- Ballan, S. & El-Diraby, T.E. (2011). A value map for communication systems in construction. Journal of Information Technology in Construction. Verkkolähde. Saatavissa: http://www.itcon.org/papers/2011_44.content.05946.pdf (viitattu 22.8.2017)
- Baram M., Schoebel M. (2007) Safety Culture and Behavioral Change at the Workplace. Safety Science, Vol. 45, No. 6, s. 631–636.
- Barbosa F., Woetzel J., Mischke J.,Ribeirinho M., Sridhar M., Persons M., Bertram N., Brown S. (2017). Reinventing construction through a productivity revolution. McKinsey Global Institute. Verkkolähde. Saatavissa: <http://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/reinventing-construction-through-a-productivity-revolution>

Barista D. (2015) BIM for safety: How to use BIM/VDC tools to prevent injuries on the job site. Building design + Construction. Verkkolähde. Saatavissa: <https://www.bdcnetwork.com/bim-safety-how-use-bimvdc-tools-prevent-injuries-job-site> (viitattu 13.3.2018)

Bharadwaj, A., El Sawy, O., Pavlou, P.A., Venkatraman, N., (2013). Digital Business Strategy: Toward a Next Generation of Insights. MIS Quarterly, Vol. 37 No 2, s. 471-482

Bielby, S. and Read, J. (2001), *Site Safety Handbook*, 3rd ed., Construction Industry Research and Information Association, London.

Camuffo, A., De Stefano, F., Paolino, C. (2017) Journal of Business Ethics: JBE; Dordrecht Vol. 143, Iss. 2, s. 245-259.

Carrillo, P. Chinowsky, P. (2006). Exploiting KM: The engineering and construction perspective. J. Manage. Eng., 22(1), s. 2 - 10

Capgemini Consulting (2013). The Digital Advantage: How digital leaders outperform their peers in every industry. Verkkolähde. Saatavissa: https://www.capgemini.com/resource-file-access/resource/pdf/The_Digital_Advantage_How_Digital_Leaders_Outperform_their_Peers_in_Every_Industry.pdf (viitattu 18.8.2017)

Cooper M.D. (1994) Implementing the behavior based approach to safety: a practical-guide. Saf. Health Pract. 12 (11). s. 18–23.

Cousins S. (2017) Digital ergonomics. Health and Safety at Work. Verkkolähde. Saatavissa: <https://www.healthandsafetyatwork.com/musculoskeletal-disorders/digital-ergonomics> (Viitattu 2.4.2018)

Davies E. (2017) Computer Vision: Principles, Algorithms, Applications, Learning. Elsevier Science & Technology. 902 s.

DeJoy (2005) Behaviour change versus culture change: Divergent approaches to managing workplace safety. Safety Science 43. s. 105-129

Dubois, A., Gadde, L. E., (2002). The construction industry as a loosely coupled system: implications for productivity and innovation. Construction Management and Economics, Vol 20, s. 621-632

Edwards. D., Holt, G. (2003) Construction workers' health and safety knowledge: Initial observations on some test-result data. Journal of Engineering, Design and Technology
Esmaili B., Hallowell M. R. (2012). Diffusion of Safety Innovations in the Construction Industry. J. Constr. Eng. Manage., 2012, 138(8) s. 955-963

European Commission (2017). The Digital Economy and Society Index (DESI). Verkkolähde: Saatavissa: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/desi> (viitattu 17.8.2017)

Fernández-Olano, P., Castedo, R., González A., Opitz, M., Pfirsching, V. (2015) Setting objectives and measuring digitalization in Financial Services – Viewpoint 2015. Verkkolähde: Saatavissa: <http://www.adl.com/MeasuringDigital> (viitattu 17.8.2017)

Flin, R., & Yule, S. (2004). Leadership for safety: industrial experience. *Quality and Safety in Health Care*, 13(suppl 2), s. 45-51.

Frick K., Wren J. (2000) Reviewing occupational safety and health management: Multiple roots, diverse perspectives and ambiguous outcomes. Emerald Group Publishing Limited, Bingley.

Gallagher C.. (1997) Health and Safety Management Systems - An Analysis of System Types and Effectiveness. Melbourne, National Key Centre in Industrial Relations.

Gartner Inc. (2017) Definition of Digitalization. Verkkolähde. Saatavissa: <https://research.gartner.com/definition-what-is-digitalization?resId=3237920&srcId=1-8163325102> (viitattu 16.8.2017)

Hadikusumo, B. H.W., and Rowlinson, S. (2004). Capturing safety knowledge using design-for safety-process tool” *Journal of Construction Engineering Management*. 130(2), s. 281 - 289

Hale A.R., Heming B.H.J., Catfhey J., Kirwan B. (1997) Modelling of Safety Management Systems. *Safety Science* Vol. 26, No. 172 s. 121-140.

Harvey E., Waterson P., Dainty A. (2016) Applying HRO and resilience engineering to construction: Barriers and opportunities. *Safety Science*. Verkkolähde. Saatavissa: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2016.08.019> (Viitattu 13.2.2018)

Hasanzadeh, S., Esmaeili B., Doddd M. (2017) Measuring the Impacts of Safety Knowledge on Construction Workers’ Attentional Allocation and Hazard Detection Using Remote Eye-Tracking Technology. *Journal of Management in Engineering*. Volume 33 Issue 5.

Health and Safety Authority (2012) Behaviour Based Safety Guide. ISBN NO. 978-1-84496-175-7 HSA0392

Heinrich H., Petersen, D. Roos N. Hazlett, S. (1980) *Industrial Accident Prevention: A Safety Management Approach*. McGraw Hill, New York.

Hessman T. (2018) SLC 2017: Can Wearables Boost Safety? EHS Today. Verkkolähde. Saatavissa: <http://www.ehstoday.com/safety-leadership-conference/slc-2017-can-wearables-boost-safety> (Viitattu: 2.4.2018)

Hill, C., Ainsworth, A. (2001) Health and safety: academic research and practical application. Proceedings of the 17th Annual Association of Researchers in Construction Management (ARCOM) Conference, University of Salford, Vol. 1, 5-7 September, s. 467-73.

Hinze J., Thurman S., Wehle A. (2012) Leading indicators of construction safety performance. Safety Science 51. 2013. s. 23-28

Hopkins A. (2006) What are to make of safe behavior programs? Saf. Sci. 44 (7). s. 583–597.

Hovden J., Albrechtsen E., Herrera I. A. (2010) Is there a new need for theories, models and approaches to occupational accident prevention? Safety Science 48 (2010) s. 950-956

Hudson P. (2003) Applying the lessons of high risk industries to health care. Verkkolähde. Saatavissa <http://qualitysafety.bjm.com> (viitattu 27.2.2018)

Ikuma L., Nahmens I., James J. (2011) Use of Safety and Lean Integrated Kaizen to Improve Performance in Modular Homebuilding. Journal of Construction Engineering and Management. Volume 137 Issue 7

Kolodny L. (2016) SmartSite uses sensors to monitor construction workers' health and safety. Tecchurnch. Verkkolähde. Saatavissa: <https://techcrunch.com/2016/08/22/smart-site-uses-sensors-to-monitor-construction-workers-health-and-safety/> (Viitattu 2.4.2018)

Kontio K. (2017) Mobile Safety Management Tools in Construction. Master of Science Thesis. Tampere University of Technology. 57 s.

Koskela, L. (1993). "Lean production in construction". Proceedings of the 10th ISARC, Houston, Texas, May pp. 24-54

Koskenvesa A. (2011). Rakennustyön tuottavuus 1975-2010. Rakentajain Kalenteri 2011.

Koskenvesa A. (1998). Työturvallisuus tuotantosuunnittelussa. Suunnitteluohje 1181 -S. Rakennustieto Oy.

- Le, Q., Pedro A., Park, C. (2015) A Social Virtual Reality Based Construction Safety Education System for Experiential Learning. August 2015, Volume 79, Issue 3–4, s. 487–506
- Lee, H-S., Lee, K-P., Park M., Baek, Y, Lee, S (2012) RFID-Based Real-Time Locating System for Construction Safety Management. *J. Comput. Civ. Eng.*, 2012, 26(3): 366-377
- Li, H. M., Kang, B. S. (2014) A Virtual Reality Safety Training System for Coal Mining Industry. *Applied Mechanics and Materials; Zurich Vol. 687-691*, (Nov 2014): 2371-2374.
- Li R. (2017) *An Economic Analysis on Automated Construction Safety: Internet of Things, Artificial Intelligence and 3D Printing*. Springer. 173 p. Valtioneuvosto (2017). Hallituksen toimintasuunnitelma vuosille 2017–2019. Verkkolähde. Saatavissa: <http://valtioneuvosto.fi/hallitusohjelman-toteutus> (viitattu 17.8.2017)
- Lucier, C., Torsiliera, J. (1997). Why knowledge programs fail. *Strat, Bus.* s. 14 – 28.
- Luukkonen M. (2017) Lisätyn todellisuuden hyödyt ja haasteet yrityksille. Softability. Verkkolähde. Saatavissa: <https://softability.fi/blog/lisatyn-todellisuuden-hyodyt-ja-haasteet-yrityksille/> (Viitattu 23.3.2018)
- Maudgalya, T., Genaidy, A., Shell R. (2008). Productivity–Quality–Costs–Safety: A Sustained Approach to Competitive Advantage—A Systematic Review of the National Safety Council’s Case Studies in Safety and Productivity. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, Vol. 18 (2) 152–179 (2008)
- Main, B., Taubitz, M., Wood, W. (2008) Professional Safety; *Des Plaines* Vol. 53, Iss. 1. s. 38-42
- Massimore, I. (2007) Proving the Value of Safety Justification and ROI of Safety Programs and Machine Safety Investments. Rockwell Automation
- McAfee A., Brynjolfsson E. (2016) Human work in the Robotic Future. *Foreign Affairs*. July/August 2016 issue
- McDermott, R., Archibald, D. (2010) Harnessing your staff’s informal networks. *Harvard Business Review*, vol. 88, March, s. 83-89
- McSween T.I. (2003) *The Values-Based Safety Process: Improving Your Safety Culture with Behavior-Based Safety*, 2nd edition. Wiley, New York.
- Merilehto A. (2018) *Tekoäly, matkaopas johtajalle*. Alma Talent. BALTO print 2018 Liettua. 206 s.

Micheletti, N., Chandler, J., Lane, S. (2015) Investigating the geomorphological potential of freely available and accessible structure-from-motion photogrammetry using a smartphone. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40 (4), s. 473 - 486.

Mita A., Sato H., Kameda H. (2010) Platform for structural health monitoring of buildings utilizing smart sensors and advanced diagnosis tools. *Structural Control and Health monitoring*. Volume 17, Issue 7. Special Issue: Professor George W. Housner Memorial Issue. November 2010. s. 795-807

Mitropoulos P., Abdelhamid T. A, Howell G. (2005) Systems Model of Construction Accident Causation. *Journal of Construction Engineering and Management*. Asce. July 2005. s. 816-825.

Nenonen S., Vasara J., Litmanen A., Haatainen J., Hyytinen T., Häkkinen S., Kangas T., Kivistö-Rahnasto J., Knuutila O., Luukkonen O., Tappura S. (2009). Turvallisuusjohtamisen toimintamalli teollisuuden palveluja tarjoaville yrityksille. Tampereen Teknillinen Yliopisto.

Occupational Safety Health Academy (2017). Direct and indirect costs of accidents. Verkkolähde. Saatavissa: <https://www.oshatrain.org/courses/pages/700costs.html> (viitattu 13.9.2017)

OHSAS 18001:fi (2007) Työterveys- ja työturvallisuusjohtamisjärjestelmät. Suomen standardoimisliitto SFS. Helsinki. 54 s.

Park J., Marks e., Cho Y., Suryanto W. (2015) Performance Test of Wireless Technologies for Personnel and Equipment Proximity Sensing in Work Zones. *J. Constr. Eng. Manage.*, 2016, 142(1): 04015049

Panasonic (2017) Panasonic's Power Assist Suit Enters Joint Development of Construction Technology in Hong Kong. Verkkolähde. Saatavissa: <https://news.panasonic.com/global/topics/2017/52877.html> (viitattu 9.4.2018)

Pérezgonzález J. D. (2005) *Construction Safety Management, A Systems Approach*. Lulu Inc. Petersen D. (2003). Human Error. *ABI/INFORM Collection* s. 25-32

Perrow C. (1984) *Normal Accidents*. Princeton University Press, Princeton, NJ

Poutanen, P., Soliman, W., Stähle, P. (2016) The complexity of innovation: an assessment and review of the complexity perspective. *European Journal of Innovation Management*; Bradford Vol. 19, Iss. 2, s. 189-213.

Priha E., Repo S., Savinainen M., Lappalainen J., Oksa P., (2009). Rakennusalan riskiprofiili, Työterveyslaitos. Saatavissa: http://www.ttl.fi/fi/tyoturvallisuus_ja_riskien_hallinta/riskien_hallinta/Documents/Rakennusalan%20profiili_240809.pdf (Viitattu 14.9.2017)

Reason J. (1990). Human Error. Cambridge University Press.

Redpoint Positioning (2018) Manage Construction Operations in Real Time with Redpoint. Verkkolähde. Saatavissa: <https://www.redpointpositioning.com/rtls-for-vertical-industries/rtls-for-construction/> (Viitattu 2.4.2018)

Reiman T., Pietikäinen E., Oedewald P. (2008) Turvallisuuskulttuuri, teoria ja arviointi. VTT Publications 700.

Rogers E.M. (2003). Diffusion of Innovations, 5th ed. Free Press.

Rosa I., Haddad A., Rodrigues de Carvalho P. (2015) Assessing risk in sustainable construction using the Functional Resonance Analysis Method (FRAM). Verkkolähde. Saatavissa: <https://link-springer-com.libproxy.tut.fi/article/10.1007%2Fs10111-015-0337-z> (viitattu 31.10.2017)

Sacks R., Pearlman A., Barak R. (2013) Construction safety training using immersive virtual reality. Construction Management and Economics, 2013 Vol. 31, No. 9, s. 1005–1017

Salminen S., Tallberg T. (1996). Human errors in fatal and serious occupational accidents in Finland. Ergonomics, 39 (7) (1996), s. 980-988

Salomaa L. (2016). Virtuaalitetellisyys osallistavassa asunosuunnittelussa. Tampereen Teknillinen Yliopisto. Diplomityö, 89 s.

Schwab K. (2017) The Fourth Industrial Revolution. Crown Business. 192 s.

Seo J., Han S., Lee, S., Kim H. (2015). Computer vision techniques for construction safety and health monitoring. Advanced Engineering Informatics. Volume 29, Issue 2, April 2015, s. 239-251

Sherehiy, B., Karwowski, W. (2006). KM for occupational safety, health and ergonomics. Hum. Factors Ergon. Manuf. Serv. Ind. 16(3), s. 309 - 319

Smartvid.io (2018). Case Study: Reducing risk and improving safety with Smartvid.io, Autodesk's BIM 360 and machine learning. Verkkolähde. Saatavissa: <https://www.smartvid.io/reduce-risk-improve-safety-skanska-case-study> (Viitattu 19.3.2018)

Talmaki S., Dong S., Kamat V. (2010) Geospatial Databases and Augmented Reality Visualization for Improving Safety in Urban Excavation Operations. Department of Civil and Environmental Engineering. University of Michigan. Construction Research Congress 2010.

Tiirikainen V. (2010). IT ja parempi bisnes. Alma Talent. 208 s.

Tilcsik A., Clearfield C. (2017) Gather, Predict, Change: How Smart Leaders Tame Risky Systems. EHSQ Leadership Summit. Intelix Technologies Inc. Tucker R. (1986). Management of Construction Productivity. J. Manage. Eng., 1986, 2(3): s. 148-156

Vanson Bourne (2016). Embracing a Digital Future. Dell Technologies. Verkkolähde. Saatavissa: https://www.delltechnologies.com/content/dam/delltechnologies/assets/promotions/resources/Digital_Future_Research.pdf (viitattu 28.8.2017)

Zhang, M., Cao, T., Zhao, X. (2017) Applying Sensor-Based Technology to Improve Construction Safety Management. Sensors; Basel Vol. 17, Iss. 8, (2017): 1841.

Zhang S., Kristiina S., Kiviniemi M., Romo I., Eastman C., Teizer J. (2015) BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning. Safety Science 72 (2015), s. 31-45

Zhang S., Teizer J., Lee, J-K., Eastman C., Venugopal M. (2013) Building Information Modeling (BIM) and Safety: Automatic Safety Checking of Construction Models and Schedules

Zhao J., Hylton O., Seppänen O., Peltokorpi A., Badihi B., Lundström P. (2017) Data Analysis on Applying Real Time Tracking in Production Control of Construction

Zohar D. (2000). A group-level model of safety climate: Testing the effect of group climate on microaccidents in manufacturing jobs. Journal of Applied Psychology, 85:4, s. 587-596.

Zubal M., Lojka T., Zolotova I. (2016) IoT gateway and industrial safety with computer vision. 2016 IEEE 14th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMII), Issue Date: 21-23 Jan. 2016 Xia F., Yang L., Wang L., Vinel A. (2012) Internet of Things. International Journal of Communication Systems. Volume 25, Issue 9. Special Issue: Internet of Things. September 2012. s. 1101-1102

Womack J., Jones D., Roos D. (1991) The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production. Harper Perennial. 352 s.