

Automaatio ja robotiikka – hyödyntäminen talonrakennuksessa

Peter Bergholm



Tekijä Peter Bergholm	
Koulutusohjelma Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma	
Raportin/Opinnäytetyön nimi Automaatio ja robotiikka – hyödyntäminen talonrakennuksessa	Sivu- ja liitesivumäärä 40 sivua ja 1 liite
<p>Tämä opinnäytetyö käsittelee talonrakennuksen, automaation ja robotiikan suhdetta. Taavoitteena on tuoda esille talonrakennuksen nykyinen tila, niitä silmällä pitäen. Työ pyrkii tuomaan myös esille tärkeimmät kehitysalueet talonrakennuksen alueelta. Aihealue on rajattu työmaalla tapahtuvaan talonrakennukseen. Rakennusten automatisointiin liittyvät teknologiat, joita edustavat muun muassa älykkäät sähköverkot, turvallisuusjärjestelmät ja anturapohjaiset tunnistusjärjestelmät on jätetty opinnäytetyön ulkopuolelle.</p> <p>Tietoperusta koostuu lukuisista alan tutkimuksista, kirjallisuudesta ja alalla työssä olevien henkilöiden haastatteluista. Haastattelut toteutettiin osana tutkimusta syvähaastattelun menetelmin tammi-helmikuussa 2019.</p> <p>BIM-mallinnus on keskeinen alue, jonka rakennusalan yritysten tulee oppia pysyäkseen kehityksessä mukana ja ollakseen kilpailukykyisiä rakennushankkeisiin liittyvien tarjouspyyntöjen kilpailutuksissa. Talonrakennuksen kustannusarviot ja toteutuneet kustannukset ovat tarkempia BIM-mallinnuksen käyttöönoton myötä. BIM-mallinnus voi avata myös uusia liiketoimintamahdollisuuksia yrittäjille, konsultoinnin ja koulutuksen muodossa. BIM-mallinnusta ollaan kehittämässä edelleen nD-mallin mukaiseksi, jossa otetaan huomioon rakennusprojektin tekniset, taloudelliset ja ajalliset asiat, yhdessä integroidussa mallissa. BIM-malli on käytössä jo nyt isoimmista hankkeista maailmalla. Yhdysvallat, Britannia, Suomi ja Norja ovat BIM-mallinnuksen käytön suhteen kehityksen kärjessä.</p> <p>Rakennusalalla on jo kokeiltu erilaisia robotiikkaan perustuvia laitteita. Eniten julkisuutta ovat saaneet SAM-robotti, joka kykenee muuraamaan talon seiniä tiilistä sekä betonia tulostava betonipumppu-auto (CONPrint3D), joka tulostaa rakennuksen seinärakenteita suoraan rakennustyömaalla. Lisäksi yksittäisenä turvallisuuden ja rakennusten edistymisen seurantaan tarkoitettu Drone-teknologia on noussut vahvasti esille viime aikoina. Sen avulla voidaan parantaa työmaiden turvallisuutta yhdistämällä se päättelevään tekoälyllä varustettuun tietojärjestelmään.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena selvisi, että rakennusalan tärkein kehitysalue on BIM-mallinnus, johon kaikki muu rakennusalan kehitys tukeutuu. BIM-mallinnus on rakennushankkeiden standardoinnin perusta ja se toimii myös rakennusalalla kehitettävien robotiikan sovellusten perustana. Lisäksi talonrakennuksen tehtävien optimointi on alue, johon panostetaan nyt ja tulevaisuudessa. Tehtävien optimointi vaikuttaa suoraan rakennustoiminnan loppukustannuksiin ja näin myös pitkällä jaksolla alan tuottavuuteen. Suurimmat kulut talonrakennuksessa syntyvät palkkakulujen muodossa. Robotiikan käyttö rakennustyömailla näyttää olevan vielä kehitysasteella, eivätkä ne ole vielä laajassa käytössä.</p>	
Koneoppiminen, rakennustekniikka, rakentaminen, robotiikka, talonrakennus, tekoäly	

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Keskeiset termit ja käsitteet.....	2
2	Rakentamisen automatisoinnista.....	3
2.1	Rakentamisen koneet ja automaatio tällä hetkellä.....	3
2.1.1	Työn suunnittelu BIM-malleilla.....	3
2.1.2	Toteutus.....	6
2.1.3	Valvonta.....	7
2.2	Rakennusrobottien tulevaisuuden arkkitehtuurinäkymiä.....	8
2.2.1	Web-to-real	11
2.3	Korealainen tutkimus koneoppimisen hyödyntämisestä rakennustyömaalla.....	13
2.4	Rakennusalan automaation keskeisimpiä kehittämisalueita	18
2.4.1	Rakennusprojektin seuraavan sukupolven mallintaminen	18
2.4.2	Suurien rakenteiden 3D-tulostusaminen.....	21
2.4.3	Työn tehokkuus ja turvallisuus	24
3	Rakennusalan näkemyksiä rakentamisen automaatioon.....	27
3.1	Haastatellut henkilöt.....	28
3.1.1	Talotehdas	28
3.1.2	Rakennusalan ammattilainen	28
3.1.3	Rakennusalan sovellustoimittaja	29
4	Tutkimuksen toteutus	31
4.1	Haastattelun toteutus	31
4.2	Haastattelun tulokset.....	31
5	Tutkimuksen tulokset.....	31
6	Pohdinta.....	33
6.1	Oman oppimisen arviointi.....	36
	Lähteet	38
	Liitteet.....	41
	Liite 1. Haastattelussa käytetyt kysymykset	41

1 Johdanto

Automaation hyödyntäminen talonrakennuksessa on vasta kehityksensä alkuvaiheessa, toisin kuin esimerkiksi autoteollisuudessa. Rakennusteknologian alalla on tehty lukuisia keksintöjä, jotka ovat edistäneet rakennusten asumisturvallisuutta, automaatiota, teknologiaa ja ympäristön turvallisuutta, mutta automaation ja robotiikan soveltaminen talojen rakentamiseen ei ole vielä toteutunut laaja-alaisesti.

Automaation hyödyntämisen mahdollisuuksia talonrakennuksessa, on tutkittu 1990 luvulta lähtien I.A.A.R.C foorumissa. Foorumin sponsorijoina toimivat Sveriges Byggindustrier (Ruotsi), Armatron Systems (USA), University of Leeds (GB) ja Slovenská Technická Univerzita v Bratislava (Slovenia) ja organisaation johto koostuu johtavista maailmanlaajuisista yliopistojen tutkijoista. Foorumin tavoitteena on edistää robotiikan ja automaation hyödyntämistä rakennusprojekteissa. (I.A.A.R.C.)

Toisin kuin muilla teollisuuden aloilla, rakennusten kokoamiseen työmailla ei ole vielä hyödynnetty robotiikkaa. Ainoastaan talotehtailla, elementtien valmistusprosessissa, käytetään nykyäänkin robotiikkaa jo hyväkseen. Isoimman haasteen talojen rakentamisen automatisoinnille aiheuttavat vaihtelevat työmaaolosuhteet ja monimutkaiset rakennusprosessit. Robottitekniikan kehitys on lähtenyt voimakkaaseen nousuun prosessori tehojen moninkertaistumisen ja muistitekniikan edullisen hintakehityksen myötä.

Robotiikan kehityksen yleinen taso ei vielä näy rakennusyriyten jokapäiväisessä arjessa. Odotettavissa on, että lähitulevaisuudessa teknologia kehittyy niin, että robotiikan hyödyntäminen myös rakennustyömailla on mahdollista. Todennäköistä on, että ensimmäisessä vaiheessa rakentamiseen tuodaan uusia rakentamistehtäviä helpottavia ja turvallisuutta parantavia älykkäitä laitteita. Näyttää vielä siltä, että autonomisten, ihmistenkaltaisten koneiden tuloa rakennustyömaille saa vielä odottaa.

Keskityn tässä tutkimuksessa talonrakennuksen automatisointiin ja robotiikkaan liittyviin kehitysalueisiin ja pyrin selvittämään, mikä on niiden taso tällä hetkellä ja mitkä ovat todennäköisiä ensimmäisiä työtehtäviä, joihin niitä sovelletaan. Pyrin myös selvittämään, mitä nykyisten rakennusalan yritysten on tehtävä, pysyäkseen mukana nykyisessä kehityksessä kohti robotiikkaa.

Haastattelen osana opinnäytetyötä talon rakentamisen eri ammattilaisia, selvittääkseni heidän näkökulmiaan automaation hyötyjen ja haittojen näkökulmasta, sekä pyrin ymmärtämään nykyisen automaation käytön tasoa rakennustyömailla. Lisäksi selvitän, miten tässä ammattiryhmässä suhtaudutaan rakennusalalla vallitsevaan kehitykseen.

Raportin ulkopuolelle jäävät rakennusten automatisointiin liittyvät teknologiat, joita edustavat muun muassa älykkäät sähköverkot, turvallisuusjärjestelmät ja anturapohjaiset tunnistusjärjestelmät. Tämä opinnäytetyö keskittyy tarkastelemaan automaation hyödyntämistä rakennustyömailla.

Tämä dokumentti pyrkii vastaamaan seuraaviin kysymyksiin:

1. Mitkä rakentamisen tehtävät tullaan todennäköisesti korvaamaan ensimmäisenä automaatiolla ja robotiikalla?
2. Miten automaatio ja robotiikka tulevat vaikuttamaan rakennustapaan?
3. Mihin rakennusalan yritysten on tehtävä, jotta he pysyisivät kilpailukykyisinä?

1.1 Keskeiset termit ja käsitteet

BIM	Building information model. Rakennusten mallintamiseen käytettävä vakio-malli (Tekla).
CAD	Computer aided design. Tietokoneella tehtävää teknistä suunnittelua, siihen tarkoitettulla ohjelmistolla.
CNC	Computer numerical control tarkoittaa tietokoneavusteista valmistusta ennalta määrättyjen ohjelmoitujen prosessien avulla.
Congrit	Rakennusalan dokumentointijärjestelmä. (Congrit).
CONPrint3D	Concrete onsite 3D-printing. Betonin puristustekniikka, jolla pyritään työmaalla tapahtuvaan objektien tulostamiseen. (Krause, Otto, Bulgakovm & Sayfeddine. 2018).
Delphi	Metodi, jossa prosessiin osallistuvat vastaavat useiden kysymyskierrosten aikana eri kysymyksiin anonyymisti, jonka jälkeen vastaukset analysoidaan yhdessä. (Twin 2019).
Drone	Ilmassa lentävä usealla propellilla varustettu yleensä akuilla toimiva laite.
Exoskeleton	Ihmisen päälle puettava tukiranka, joka vahvistaa ja tukee ihmisen tekemiä toistuvia liikkeitä.
G-koodi	Ohjelmointikieli, jota käytetään CNC-laitteiden ja koneiden ohjaamiseen. (Autodesk 2019).
IFC	Industry foundation classes. Rakennusalan standardi oliopohjaisen tiedon siirtoon järjestelmästä toiseen (Buildingsmart).
IoT	Internet of things. Internetiin liitettyjen laitteiden kokonaisuus.
IPA	Interpretative phenomenological analysis. (Pietkiewicz 2012).

Lora	Low range. Matalataajuusverkko, jota käytetään objektien paikantamisessa.
MATLAB	Työkalu tiedon analyysiin, algoritmeihin ja mallintamiseen. (HANSELMAN, D. & LITTLEFIELD, B. C. 1997).
On!Track	Hilti Oy tarjoama seurantajärjestelmä työkaluille. (Hilti Oy).
Randof-forest	Koneoppimisessa käytettävä algoritmi, joka perustuu yhdistettyihin päätöspuurakenteisiin. Algoritmi kykenee käyttämään useita päätöspuita valintoihin. (Heejae ym. 2018).
RNN	Recurring neural network. Neuroverkko, jossa koneoppiminen perustuu siihen, että edellinen neuroverkko siirtää oppimansa tiedon seuraavalle.
SaaS	Software as a service. Pilvipalveluun tallennettuja ohjelmia, joita tarjotaan käyttöön palveluperiaatteella.
SAM-robotti	Semi-automated mason. Puoliautomaattinen muurari. (SAM100).
Solibri	Tietomallien laadunvarmistusohjelmisto (Solibri 2019).
Superpixel clusterin	Menetelmä kuvan tunnistuksessa, jota käytetään kuvapisteidien erotteluun. (Heejae ym. 2018).
Web-to-real	Kuvaa internetpohjaisia järjestelmiä, joilla voi suunnitella ja tilata asiakkaan itse suunnitelmiaan tuotteita. Asiakkaalle tarjotaan käyttöliittymä, jonka avulla hän voi yksilöidä tuotteen sellaiseksi kuin haluaa. Valmiita vakio osia yhdistelemällä saadaan aikaiseksi yksilöllinen tuote. Käyttöliittymästä tehty tilaus on suoraan yhteydessä toimittajan tuotannon järjestelmiin ja tuotteen valmistus on erittäin pitkälle automatisoitu. Valmistuksessa käytetään minimaalisesti manuaalisia toimenpiteitä. Tällä menetelmällä halutaan edistää yksilöllistä suunnittelua ja sitä, että suunnitteluun sidotaan myös loppukäyttäjiä ja samalla heidät saadaan sitoutumaan enemmän itse suunniteltuun tuotteeseen. (Stumm, Neu & Brell-Cokcan 2017.)

2 Rakentamisen automatisoinnista

2.1 Rakentamisen koneet ja automaatio tällä hetkellä

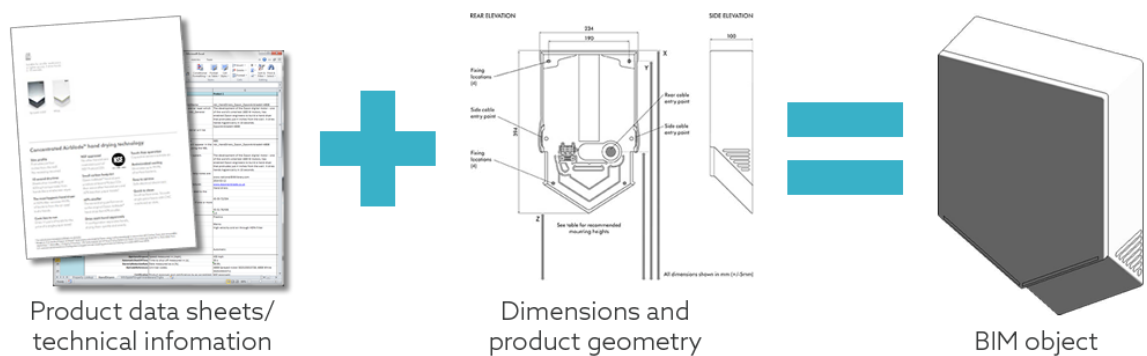
2.1.1 Työn suunnittelu BIM-malleilla

BIM-pohjaisia suunnitteluratkaisuja käytetään nykyään jo useilla isoilla rakennustyömailla. Useat rakennusalan tuotteiden valmistajat tarjoavat vapaasti ladattavissa olevia, valmiita BIM-malleja tuotteistaan. BIM-mallinnusta opetetaan yliopistoissa ja muissa rakennusalan oppilaitoksissa, ympäri maailmaa. BIM-mallinnus näyttäisi olevan rakentamisen keskeisenä kehityskohteena ja automaation edellytyksenä tällä hetkellä.

Rakentamisen automatisoinnin keskeinen kehittämisaikana on rakennettavan objektin, tässä tapauksessa talon mallintaminen niin, että määrittely on siirrettävissä toimintaohjeiksi robotille. Tämä toteutetaan BIM-malleilla. Rakentamisessa käytettävät komponentit mallinetaan olioiksi, jotka sisältävät tiedon kaikista komponentin keskeisistä ominaisuuksista. Mallilla on valmiita rajapintoja, joita käyttämällä saadaan kaikki tarvittava tieto suunnittelua varten. Esimerkiksi LVI-alan tuotteista on saatavilla avoimia BIM-malleja, joita voi lukea suoraan Revit- ja Magicad-ohjelmistoilla. (360 Pipelife).

BIM-mallit jaetaan komponentti- ja taso-tyyppeihin. Komponentti-tyyppisillä BIM-malleilla on kiinteät ominaisuudet ja määrämitat. Taso-tyyppiset BIM-mallit ovat muuttuvan mittaisia, kuten seinät, katot ja lattiat. (NBS National BIM library.)

BIM-malli koostuu alla olevan kuvan (Kuva 1) mukaisesti tuotteen perustiedoista ja sitä kuvaavista mittareista. Kuvalla tuodaan esille, miten laajasti yksittäinen tuote voidaan kuvata BIM-mallilla. Malli sisältää tuotteen yksityiskohtaisia tietoja, kuten miten tuote käyttäytyy eri lämpötiloissa, kosteudessa sekä mikä on sen turvallinen käyttölämpötila. Mallissa voidaan myös kertoa, miten materiaali käyttäytyy yhdessä muiden materiaalien kanssa. Tämän tyyppinen tieto on hyödyllistä ja parantaa selvästi nykyisiä ongelmia materiaalien yhteensopivuuden aiheuttaessa esimerkiksi haitallisia päästöjä ihmisen terveydelle. Lisäksi mallissa tuodaan esille tuotteeseen liittyviä suureita, kuten sen mitat, paino ja valmistusmateriaali. (NBS National BIM Library.)



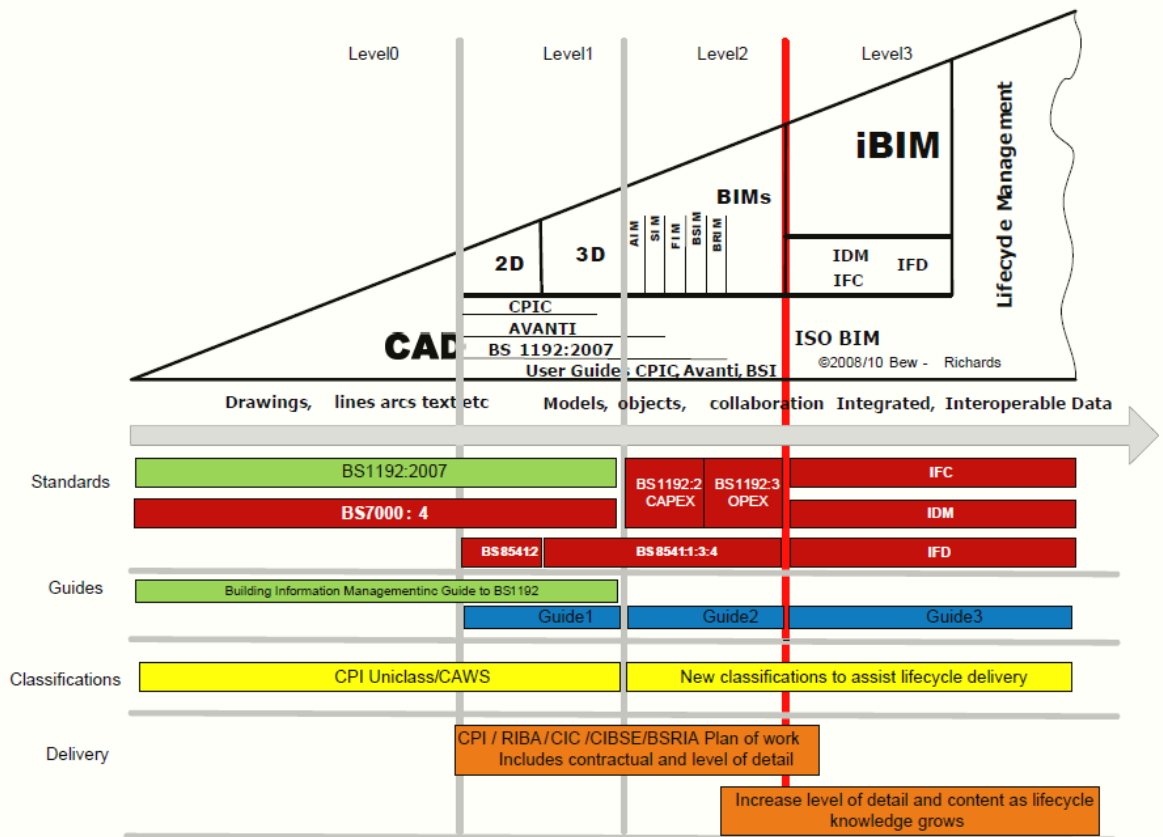
Kuva 1 BIM-mallin määrittely (NBS National BIM Library)

BIM-mallien käytöllä on myös haasteensa. Jotta niitä voidaan käyttää turvallisesti, niiden sisällön tulee olla mahdollisimman laadukasta ja eheää. Ne tarvitsevat jatkuvaa päivitystä ja malleille pitää nimittää omistaja, joka vastaa mallin oikeellisuudesta. Huonolaatuinen mallinnustieto voi aiheuttaa isoja taloudellisia – ja laadullisia menetyksiä. (Stumm ym. 2017.)

Helsingin Pasilassa, Triplassa kaikki rakenteet on suunniteltu käyttäen BIM-mallinnusta. Hankkeen aikana on suunniteltu noin 300.000 eri BIM-mallia. BIM-mallien käsittelyssä käytetään Solibri-nimistä järjestelmää (Solibri), joka kykenee yhdistämään BIM-malleja. Hanke on niin suuri, että BIM-mallien yhdistelyyn on nimetty vastuuhenkilö. Yleisen, koko hanketta kuvaavan mallin validointi vaatii viikoittaisen palaverin kaikkien rakennushankkeeseen osallistuvien vastuuhenkilöiden kesken. (Kinnunen 2019.)

Rakennusyritykset voivat antaa tarkkoja tarjouksia hankkeessa käytettävien BIM-mallien avulla. Heidän on osattava analysoida ja tulkita BIM-malleja. BIM-mallinnuksen osaamattomuus karsii pois ne yritykset, jotka eivät kykene tulkitsemaan malleja. (Kinnunen 2019.)

BIM-mallin käytön maturiteetti esitetään Britanniassa käytössä olevan luokituksen mukaan kuvan 2 mukaisesti. Tasolla 0 käytetään 2D-mallinnuksia paperimuodossa ja niitä siirretään ihmiseltä toiselle manuaalisesti. Tasolla 1 käytetään yksittäisiä 2D- ja 3D piirustuksia, jotka on tallennettu hallitusti sovitussa formaatissa, sovittuun paikkaan. Tietoa käytetään yksittäisten ohjelmien kautta, joiden välillä ei ole yhteensopivuutta. Tasolla 2 on käytössä hallittu 3D-ympäristö, johon on yhdistettynä BIM-työkaluja. Myös tuotannonohjausjärjestelmät voivat käyttää tietomalleja niiden sisältönä. Tasolla 3 on täysin integroitu web-services pohjainen ympäristö, joka on yhteistoiminnallinen ja jossa käytetään IFC-standardeja tiedon siirtoon eri järjestelmien välillä. Tällä BIM-maturiteetti tasolla hyödynnetään 4D-rakennesekvenssointia, 5D-kulurakennetta sekä 6D-projektinelinkaaren hallinnan tietoa. (BIMTalk 2016.)



Kuva 2 Britanniassa käytössä oleva BIM-maturiteettimalli (BIMTalk 2016)

2.1.2 Toteutus

Betonivalujen yhteydessä käytetään melko yleisesti anturitekniikkaa, jonka avulla voidaan seurata muun muassa betonoinnin kuivumisprosessia. Ruduksen kehittämä BetoPlus perustuu siihen, että valun yhteydessä seoksen sekaan laitetaan betonin lämpötilaa ja lujuutta mittaavat anturit. Mittauksen tuloksia voi seurata tosiaikaisesti web-portaalin kautta. (Klemetilä 16.2.2019.)

Työmaan seurantaan käytetään järjestelmiä, johon voi merkata työmaan avoinna olevia tehtäviä työmaapohjalle. Kuvalle merkatut ikonit ilmoittavat kesken olevat työkohteet ja niitä pääsee katsomaan avaamalla klikkaamalla ikonia. Tämän tyyppistä järjestelmää edustaa esimerkiksi Congrit-niminen järjestelmä. (Klemetilä 16.2.2019.)

Jotkut laitteistotoimittajat tarjoavat eri työkonoiden seurantaan tarkoitettuja järjestelmiä. Esimerkiksi Hilti Oy tarjoaa On!Track ratkaisuaan laitteiden rekisteröintiä ja seurantaan varten. (Klemetilä 16.2.2019.)

Artikkelien ja internethakujen perusteella maailmalta löytyy kaupallisia robotteja, jotka ovat erikoistuneet muuraustyöhön (SAM-robotti), vanhojen rakenteiden purkamiseen ja painavien esineiden liikuttamiseen työmaalla. Koneilla voidaan korvata raskaiden työtehtävien tekoa. Koneet eivät väsy ja pystyvät toimimaan 24 tuntia vuorokaudessa. Ne pystyvät moninkertaiseen nopeuteen verrattuna ihmisen vastaavan työn tulokseen. Lisäksi työn tulos on hyvää ja tasalaatuista. Näin ollen niiden tuottama tulos on optimaalista kuluihin nähden. (Seppänen 2017.)

Sveitsissä toteutettiin talonrakennusprojekti ETH Zürichin yliopiston toimesta, jossa 3-kerroksinen rakennus tehtiin robottien voimin. Talo otettiin tutkimuskäyttöön yliopistolla keuhalla 2018. Projektissa käytettiin telaketjuilla liikuvaa robottia, 3D-tulostukseen kykenevää robottia ja yleisrobotteja, jotka kykenivät kokoonpano työhön. Projektin tarkoituksena oli koota useita eri alueen asiantuntijoita yhteen ja toteuttaa monialaprojekti, jossa rakentaminen oli automatisoitu eri tehtäviin erikoistuneilla roboteilla. Projektissa käytettiin eri rakentamisen menetelmiä ja rakennusaineita, eikä pelkästään rakenteiden tulostamista. Tällä pyrittiin siihen, että nähtäisiin mahdollisimman todenmukaisesti, mitä puutteita ja kehityskohteita robotiikassa pitää ottaa huomioon, jotta sitä voitaisiin kehittää eteenpäin ja mahdollisesti ottaa käyttöön tulevaisuudessa. (ETH Zürich 2017.)

Imatralla toimiva suomalainen yritys Fimatec on ollut edelläkävijänä betonielementtien 3D-tulostamisessa, mutta laboratorio olosuhteissa toteutettu elementtien tulostaminen ei saanut kuitenkaan elementtitehtaita mukaan laajempaan käyttöön ottoon ja kyseinen pilottiprojekti jäi kokeiluasteelle. Syytä tähän oli se, että elementit eivät menneet kaupaksi siinä laajuudessa, että toiminta olisi ollut kannattavaa (Laakso 2019.)

2.1.3 Valvonta

Projektin toteutuksen valvonnassa käytetään jo nyt reaaliaikaisia järjestelmiä, jotka kertovat rakennushankkeen edistymisestä. Tämä teknologia pohjautuu BIM-mallinnukseen, johon eri työvaiheiden valmiusasteet päivittyvät tosiaikaisesti. Perinteisen kameravalvonnan ohella robotiikka on tuonut mukanaan ilmavalvonnan mahdollisuuden lentävien Drone-laitteiden myötä. Kameran lisäksi kyseisiin laitteisiin voidaan kytkeä muita mittalaitteita, mainittakoon esimerkiksi lämpökamera, jonka avulla voidaan tarkastaa rakennuksen eristysten laatua eri rakennusvaiheissa ja näin ennaltaehkäistä ja saada tietoon virheet eristystyössä. Ilmavalvonnasta on myös hyötyä työmaan turvallisuuden kannalta ja sillä voidaan ehkäistä onnettomuuksien syntymiset. (The B1M 2018.)

Cramo tarjoaa yhteistyössä Bliot-nimisen kotimaisen ohjelmisto talon kumppanina rakennustyömaille kohdennettua valvontajärjestelmää, jonka avulla työmaan johto voi seurata rakennusprojektin edistymistä ja työmaan turvallisuuteen liittyviä yksityiskohtia, kuten suojakypärän käyttöä. Järjestelmä käyttää hyväkseen myös tekoälyn algoritmien avulla tehtäviä päätöksen tuen palveluita. Palvelupaketti sisältää IoT-anturajärjestelmän, jonka avulla voidaan seurata työmaan eri työkohteita ja edistymistä tosiaikaisesti. Yksi esimerkki seuranta kohteesta on betonivalun kuivuminen, jota seurataan anturien avulla. (Törmänen 2018; Cramo 2018.)

Cramo Oy vuokraa rakennusfirmoille tekoälyllä varustettua järjestelmää, jolla voi toteuttaa työmaan valvomon kaltaisen kokonaisuuden, joka yhdistetään BIM-malleihin ja reaaliaikaisen edistymisen seurantaan. Järjestelmä tunnistaa Dronien ja kuvan tunnistuksen avulla myös projektin edistymiseen liittyviä työtehtäviä sekä kykenee tekemään havaintoja, joita tekoälyllä varustettu järjestelmä käyttää päätösehdotusten tekemiseen. (Bliot 2018.)

2.2 Rakennusrobottien tulevaisuuden arkkitehtuurinäkymiä

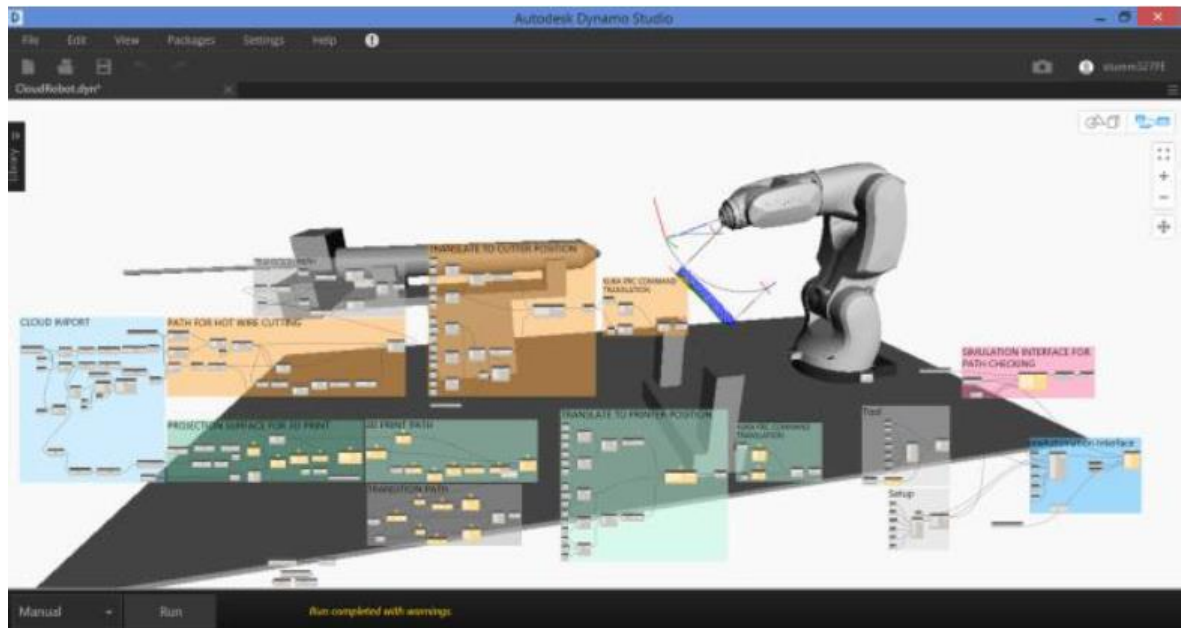
Pilvipalvelut näyttäisivät olevan keskeisessä asemassa arkkitehtuurivalintoihin liittyvässä tutkimustyössä robotiikan käyttöönoton edistämiseksi rakennusalalla. Roboteille tarpeellisten prosessiohjeiden ja työtehtävien mallinnuksien tallentaminen pilvipalveluihin tekee tiedonsiirron robotilta toiselle vaivattomaksi. Pilvipohjainen ratkaisu yhdistää vahvasti myös rakentamisen eri vaiheita ja asiantuntijoita. (Stumm ym. 2017.)

Pilvipohjainen tallennusteknologia on ratkaisu alalla vallitsevaan kommunikaation puutteeseen suunnittelun ja toteutuksen välillä. Tällä hetkellä suunnittelijoiden laatimat suunnitelmat eivät välity tehokkaasti suunnittelupöydältä työmaalle, toisin kuin tämän tyyppisessä uudessa ratkaisussa, jolloin tieto on saatavilla heti kun se julkaistaan valmiiksi. Tiedon eheydelle asetetaan erityisen suuret vaatimukset, varsinkin kun BIM-malliin tallennetaan esimerkiksi rakennuksen mittoihin liittyviä tietoja sekä robotin liikkeisiin vaikuttavia parametrejä. (Stumm ym. 2017.)

Pilvipalveluiden käyttö tiedon tallentamiseen mahdollistaa myös sen, että jo aikaisemmin opittujen parametrien siirtäminen uusien robottien käyttöön on nopeaa. Robottien kloonaminen tehdään mahdollisimman helpoksi ja opittujen taitojen siirto robotilta toiselle jouhevaksi. Tämä tukee myös sitä, että robottien määrää voi skaalata tarvittaessa ja rikkoutuneiden tilalle saadaan nopeasti uusia, jotka kykenevät samoihin tehtäviin kuin edeltävät robotit. (Stumm ym.2017.)

Rakentamisprosessia voidaan suoraviivaistaa niin, että robotit hyödyntävät suoraan pilvipalveluun tallennettuja rakennuspiirustuksia (Kuva 3). Näin myös mahdolliset muutokset suunnitelmiin päivittyvät suoraan robottien ohjeistuksiin. CAD-ohjelmistot tarvitsevat rakentamisen suunnittelun perustaksi BIM-tietomallin. Tämän mallin avulla kuvataan rakentamisen prosessi riippuvuuksineen projektikohtaisesti ja tarvittavine tietoineen digitaalisessa muodossa. Saas-palvelumalli sopii erityisen hyvin tarvittavien ohjelmien jouhevaan käyttöönottoon sekä web-selain pohjaiset käyttöliittymät suunnitelmien katselemiseen. Tämän tyyppinen arkkitehtuuriratkaisu mahdollistaa myös sen, että kaikkien sidosryhmien on mahdollista saada ajantasaista tietoa projektin kaikista vaiheista, suunnittelusta toteutukseen. (Stumm ym. 2017.)

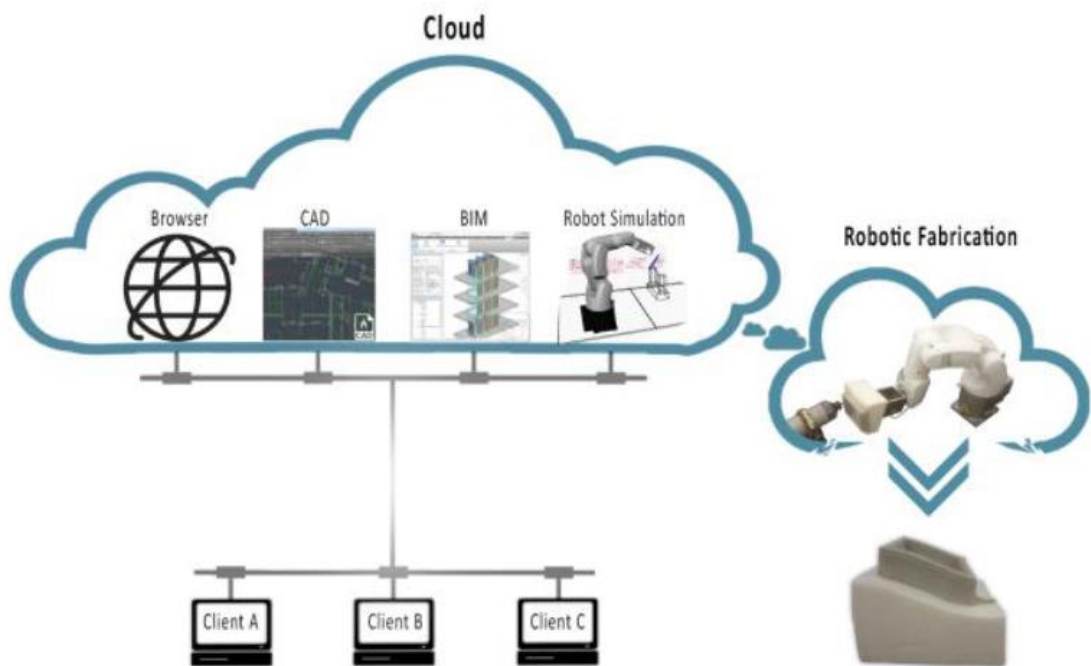
Alla oleva kuva (Kuva 3) havainnollistaa sitä, miten robotin toimintaohjeet liittyen tuotteiden rakentamiseen on talletettu pilvipalveluun. BIM-malliin on talletettu tuotteisiin liittyvät valmistusohjeet.



Kuva 3 Esimerkkikuva robotista, joka käyttää pilvipalveluun tallennettuja parametrejä työn toteuttamiseen (Stumm ym. 2017)

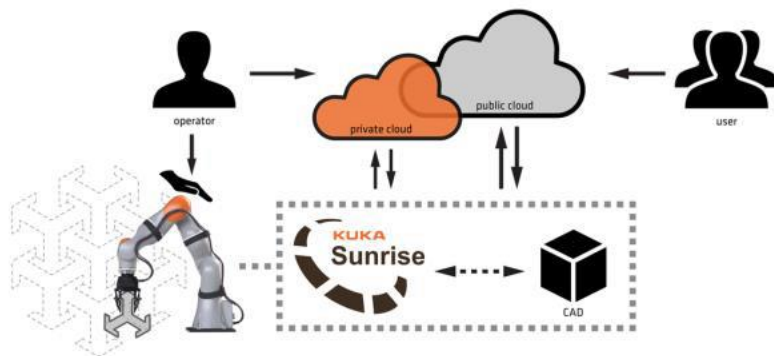
Pilvipalveluiden käyttäminen mallintamistiedon tallennusalueena mahdollistaa myös sen, että tehtävien toteuttamisen voi hajauttaa tehtäväksi useissa eri kohteissa. Hajauttaminen tuo mukanaan mahdollisuuden tuotannon tehostamiseen, virheiden minimoimiseen ja toimintavarmuuden ylläpitämiseen. (Stumm ym. 2017.)

Alla olevassa kuvassa (Kuva 4) SaaS-mallin mukainen ohjelmistokirjasto mahdollistaa loppukäyttäjän osallistumisen robotilla valmistettavan tuotteen suunnitteluun ja valmistamiseen, yksilöllisesti käyttäjän toiveiden mukaisesti. Loppukäyttäjät käyttävät selainpohjaista käyttöliittymää. Pilvipalvelu tarjoaa valmiit BIM-mallit tuotteen suunnittelemiseksi ja käyttäjä voi käyttää niitä lopullisen tuotteen suunnitteluun. Käyttäjän koneelle latautuu selaimen kautta ohjelma, jonka avulla tilattavaa tuotetta voidaan katsoa virtuaalisesti tietokoneen ruudulla, ennen kuin sen valmistamiseksi tarvittavat ohjeet lähetetään roboteille käskysarjoina (G-koodi). Lopulta robotti valmistaa tuotteen valmiiksi mallinnettujen BIM-mallien mukaisesti.



Kuva 4 Pilvipohjainen arkkitehtuuri robotiikassa (Stumm ym. 2017)

Suoraan tuotantoon kytketty ratkaisu, jossa loppukäyttäjän tilaama tuote siirtyisi suoraan robotille valmistettavaksi, on kuitenkin vielä tässä vaiheessa aikaista, vaikka se teknisesti olisikin mahdollista. Stumm ym. tutkimuspaperissa ehdotetaan käytettävän monikerros-mallia (multi-tier), jonka avulla voidaan eristää loppukäyttäjä ja tuotanto toisistaan niin, että lopullisen tuotteen valmistus alkaa vasta operaattorin hyväksynnän jälkeen. Operaattorin vahvistaa tilauksen siirtymisen robotille tehtäväksi. (Kuva 5).



Kuva 5 Monikerrosmalli loppukäyttäjän ja robotin välillä (Stumm ym. 2017)

2.2.1 Web-to-real

Web-to-real tarkoittaa prosessia, jossa loppukäyttäjä luo valinnoillaan tuotteen valmiiksi tarjolla olevista elementeistä. Myös talojen tilaaminen voidaan toteuttaa tämän kaltaisen prosessin avulla niin, että ostaja valitsee talon ominaisuuksia valmiiden ominaisuuksien joukosta, koostaen itselleen kokonaisuuden, joka on hänelle parhaiten sopiva. Valintojen jälkeen asiakas voi katsoa taloa virtuaalisesti ja näin varmistaa, että lopputulos on halutun mukainen.

Rakennusosien valmistukseen on suunniteltu käytettäväksi muun muassa 3D-tulostusta ja CNC-koneita. Näiden laitteiden käyttäminen on taloudellisempaa, mitä isommista valmistusmääristä on kysymys. Ohjaustietojen muokkaaminen tapahtuu käytännössä loppukäyttäjän toimesta. Nämä valmistusteknologiat mahdollistavat käyttäjäläheisen yksilöllisen suunnittelun, massatuotannon menetelmin. Rakennusten kokoonpano-prosessia suunnitellaan modulaariseksi niin, että lopputuotteista saadaan yksilöllisiä yhdistämällä eri komponentteja, muodostaen yksilöllisiä lopputuotteita. (Stumm ym. 2017.)

Esimerkkinä tämän tyyppisestä palvelusta on Tylko Oy:n tarjoama palvelu, jonka avulla ostaja voi itse muotoilla lopputuotteen haluamaksi valmiilla komponenteilla, tässä tapauksessa hyllyn osista. Suunnittelun aikana tilaaja näkee miltä tilattava tuote lopussa näyttää ja mikä sen hinta on. Hinta muodostuu käytettävistä rakennuskomponenteista ja niiden yhdistelmästä. Hinta ja lopputuotteen mallinnus ovat läpinäkyviä tilaajille sekä tilauskanava suoraan yhteydessä tuotannon järjestelmiin. Tämä mahdollistaa mahdollisimman nopean ja joustavan tuotteen valmistamisen. (Tylko.)

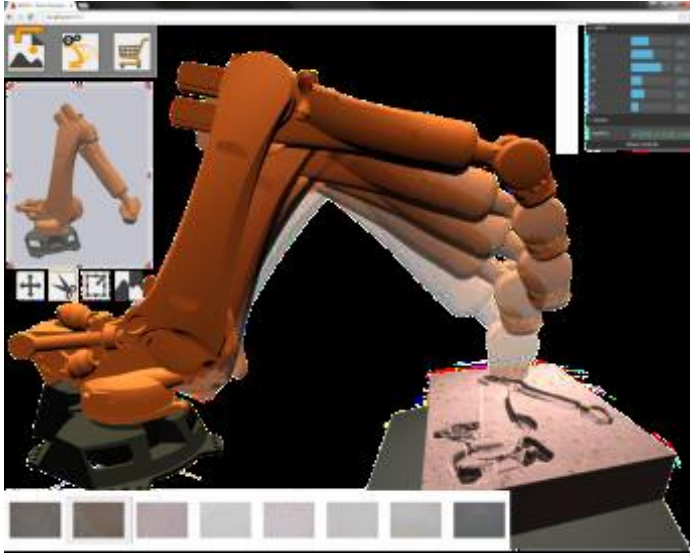
Ideana tämän kaltaisessa komponenttiajattelussa on se, että sillä mahdollistetaan valmiiden rakennusosien yhdistäminen eri tavoin, tuottaen erilaisia lopputuloksia. Tämän tyyppistä palvelua tarjoavan yrityksen ei tarvitse valmistaa erilaisia lopputuotteita alusta loppuun, vaan se voi keskittyä yksittäisten komponenttien valmistamiseen sarjatuotannon

keinoin. Tarjoamalla uusia komponentteja palvelun käyttöön, voivat asiakkaat taas luoda uudenlaisia tuotteita itselleen. Tämän tyyppinen tilaajalle tarjottu palvelu mahdollistaa sen, että prosesseja päästään muokkaamaan suoraan loppukäyttäjän tarpeiden mukaisiksi. Web-to-real avaa mahdollisuuden yksilöityyn massatuotantoon, joka olisi käytännössä mahdotonta perinteisin menetelmin. Tämän kaltaisissa ratkaisuissa pilvipalvelut ovat so-piva ratkaisu, koska tarvittavia suunnitteluohjelmia ei tarvitse asentaa tilaajien tietoko-neille, vaan ne ovat käytettävissä suoraan pilvipalveluna. (Stumm ym. 2017.)

Talotehdas voi antaa tilaajalle mahdollisuuden luoda talomalleja itse, valmiista rakennus-osista ja nähdä virtuaalisesti, miltä talo näyttää erilaisissa ympäristöissä ennen tilausta. Kastelli-talot tarjoavat selainkäyttöliittymässä hiukan tämän kaltaista palvelua, jossa tilaaja voi valita talomallin ja muokata sitä tiettyjen reunaehtojen mukaan. (Kastelli 2018).

Alla oleva kuva (Kuva 6) web-to-real palvelusta kuvaa sitä, miten asiakas voi tarkastella tuotetta virtuaalisesti ennen lopullista tilausta. Tämä on mahdollista Saas-pohjaisen, pilvi-palvelussa tarjolla olevan suunnittelutyökalun avulla. Palvelu mahdollistaa myös asiak-kaan omien suunnitelmien hyödyntämistä siten, että loppukäyttäjä voi ladata kuvan halua-mastaan mallista web-to-real rajapinnan kautta pilvipalvelussa pyörivään CAD-pohjaiseen järjestelmään, jossa kuva tulkitaan ja muunnetaan CAD-ohjelman ymmärtämään muo-toon.

Robotteja ohjataan niille erikoistuneilla ohjelmilla. Ohjelmat ovat moduloituja siten, että yksilöity tuotteen valmistukseen tarvittava ohjelma rakennetaan yhdeksi kokonaisuudeksi pienemmistä ohjelman osista. Ohjelma kootaan dynaamisesti yhdeksi ajettavaksi käsky- ketjuksi. Käskyketju ohjaa robottia valmistamaan lopputuotteita valittujen kombinaatioiden mukaisesti. Ohjelmoinnissa tapahtuvat virheet minimoidaan moduulien kehitysvaiheessa tehdyillä yksikkötesteillä. Virheille ei ole varaa, koska toteutuessaan voisivat olla kohtalok- kaita tämän tyyppisissä automatisoiduissa ympäristöissä. (Stumm ym. 2017.)



Kuva 6 Esimerkkikuva web-to-real-palvelun tarjoamasta virtuaalisesta näkymästä (Stumm ym. 2017)

Suunnittelumallien adaptointi on perusedellytys automatisoidun rakentamisen mahdollistamiseksi. Mallien tulee adaptoitua erilaisiin olosuhteisiin ja tarpeisiin. Mallien adaptoinnin tuloksena robotit tuottavat tuloksia, jotka ovat sopivia rakennuspaikan geometrisiin mittasuhteisiin. Valmiit rakentamisessa käytettävät BIM-mallit ovat saatavilla pilvipalvelun kautta. Valmiit pilvipalveluun tallennetut mallit adaptoidaan rakennuspaikan vaatimuksien mukaisiksi. Mallit säilyttävät adaptoituessaan sille asetetut mittasuhteet ja vaatimukset. Samaa rajapintaa ja tietoa voidaan käyttää tuotteen visualisointiin virtuaalisesti ennen lopullisen tuotteen valmistamista. (Stumm ym. 2017.)

2.3 Korealainen tutkimus koneoppimisen hyödyntämisestä rakennustyömaalla

Korealaisen korkeakoulun tutkimus keskittyi selvittämään, mitkä ovat keskeisiä rakentamiseen liittyviä alueita, joiden edelleen kehittämisessä voitaisiin käyttää koneoppimista hyväkseen. Tutkimus toteutettiin kyselynä ja kohderyhmänä oli joukko alan asiantuntijoita. Kysymysten kategoriat valittiin kuuden johtavan rakennusalan lehden artikkeleiden perusteella. Kategoriat validoitiin lopuksi rakennusalan asiantuntijoiden puolesta. Kysymysten määrä rajattiin 12 kysymykseen. Alkuperäiset kysymykset ovat listattu kuvassa 7. (Hee-jae, Dongmin, Seongsoo, Taehoon, Hunhee & Kuyng-In. 2018.)

Kategoriat olivat työmaanosturin operointi, korkeiden torninosturien asettelu, betonin lujuuden oletusarvot, lujitepalkkien lujuuslaskelmat, liitosten tarkastus, miehittämätön työmaanosturi, torninosturien nosto järjestyksen määrittäminen, tukimuurien valinta, turvalli-

suuteen liittyvien onnettomuuksien ennustaminen, syvien kaivantojen vaikutuksen ennustaminen seinärakenteiden liikkeisiin sekä materiaalien hankinta-ajan suunnitteleminen alla olevan kuvan mukaisesti (Kuva 7).

Categories	Division
Operation of construction lift	A
Layout of tower crane in high-rise building construction	B
Assumption about compressive strength of concrete	C
Counting the numbers of reinforcement bar	D
Inspection of joint connections	E
Unmanned tower crane	F
Determination the lifting order between the tower cranes	G
Selection of retaining wall methods	H
Prediction of safety-related construction accidents	I
Forecast of deep excavation wall movement	J
Inspection for correct installation of the forms	K
Determination the time of procurement	L

Kuva 7 Kysymuskategoriat liittyen koneoppimiseen (Heejae ym. 2018)

Tutkimukseen valittiin 30 osallistujaa. Tutkimukseen osallistuvista (Kuva 8) suurin osa työskentelivät työmaalla ja loput toimistoissa eri tehtävissä. Näin ollen, työmaalla työtä tekevien mielipiteillä oli tutkimuksen lopputuloksiin suurin vaikutus.

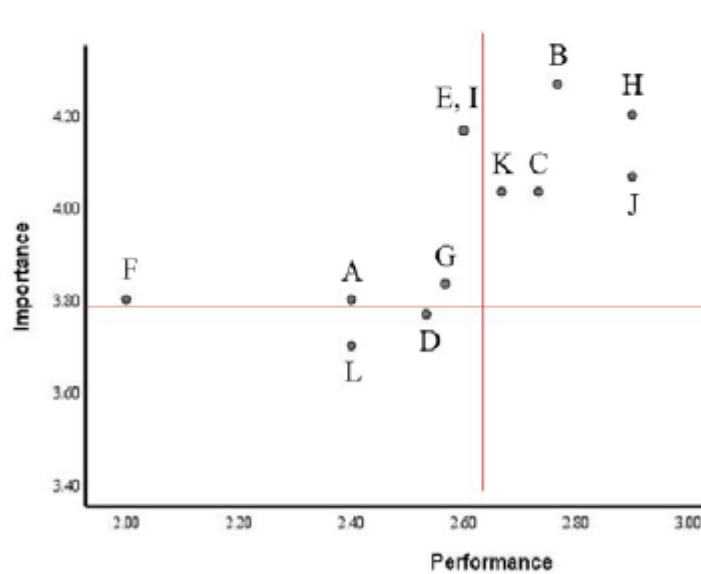
Experience in construction site		Main tasks in companies	
Years	Number of participants	Tasks	Number of participants
~1	1	Construction	17
1~5	6	Office work	4
5~10	7	Quality control	4
10~20	11	Design	3
20~	5	Others	2

Kuva 8 Tutkimukseen osallistuvien määrät ja työkokemus (Heejae ym. 2018)

Tutkimukseen osallistuvat antoivat kullekin tutkimuskategorialle tärkeys- ja tehokkuuspisteityksen. Pisteytyksen tulokset siirrettiin lopuksi nelikenttään, jossa y-akseli kertoo asian tärkeyden ja x-akseli asian nykyisen asian tehokkuuden. Huomattavaa on, että kehityksen kohteiksi valitaan nelikentästä ne asiat, jotka osuvat nelikentän (tärkein ja tehottomin) toiseen osioon. Tärkeimmiksi kehityskategorioiksi päätyivät A, E, F, G ja I kategoriat (Kuva 10). Tutkimuksessa käytettyä tutkimusmenetelmää kutsutaan IPA-menetelmäksi. IPA-menetelmässä tutkimukseen osallistuvat antavat pisteytyksen kullekin kategorialle henkilökohtaisen näkemyksen mukaisesti. (Heejae ym. 2018.)

Valittujen kehitettävien kategorioiden priorisoinnille laskettiin kullekin suhdeluku, tärkeyden ja tehokkuuden suhteesta (Kuva 9). Kehityksen kohteiden edelleen kehitystä jatkettiin Delphi-nimisellä tutkimusmenetelmällä, jonka avulla kehityskohteille luotiin ratkaisuehdotuksia koneoppimisen ja tekoälyä hyödyntäen. Delphi-metodi on iteratiivinen kehittämismetodi, jossa tutkittaville annetaan kysymykset ja joihin he ehdottavat ratkaisuehdotuksia useiden iteratiivisten kierrosten kautta. (Heejae ym. 2018.)

Category	Importance	Performance	Category	Importance	Performance
A	3.800	2.400	G	3.833	2.567
B	4.267	2.767	H	4.200	2.900
C	4.033	2.733	I	4.167	2.600
D	3.767	2.533	J	4.067	2.900
E	4.167	2.600	K	4.033	2.667
F	3.800	2.000	L	3.700	2.400



Kuva 9 IPA-metodin tuottama tulos eri kysymys kategorioiden tärkeyden painotuksesta (Heejae ym. 2018)

Alla olevassa kuvassa (Kuva 10) miehittämättömällä nosturilla on suurin suhdeluku, tärkeyden ja tehokkuuden lukujen suhteessa. Näiden kategorioiden edelleen kehittämiseksi käytettiin Deplhi-metodia, jotta kullekin kategorialle kyettiin löytämään ratkaisuja, joissa käytettiin hyväkseen tekoälyn ja koneoppimisen teknologioita. (Heejae ym. 2018.)

Categories	Importance/performance value
Unmanned tower crane	1.9000
Inspection of joint connections	1.6026
Prediction of construction safety accidents	1.6026
Operation of construction lift	1.5833
Layout of tower crane in high-rise building construction	1.5422

Kuva 10 TOP-5 kategorioita suhteutettuna niiden tärkeyteen ja tehokkuuteen (Heejae ym.)

Kategorialle F (miehittämätön työmaanosturi) ehdotettiin käytettävän äänitunnistusta ja paikannuskyvykkyyttä teknisinä ratkaisuin, jonka avulla nosturi tunnistaisi käyttäjän, sen äänen perusteella. Lisäksi nosturi osaisi tulkita äänestä edelleen käskyjä, joiden avulla käyttäjä voisi ohjeistaa nosturia tekemään nostoja työmaalla. Käyttäjä voisi käskyttää nosturia radiopuhelimen välityksellä tekemään materiaalien siirtoja paikasta toiseen. Eri ääniaaltojen oppimiseen käytettäisiin koneoppimista. Nosturin kykenisi myös paikantaa työmaalla olevat materiaalit ja niiden sijainnin. Nosturin pitäisi hyödyntää myös paikannusjärjestelmää hyväkseen estääkseen eri nosturien yhteentörmäykset. (Heejae ym. 2018.)

Kategorialle E (liitosten tarkastaminen), jossa tarkastetaan erilaisten liitosten laatua ja niiden toteuttamista suunnitelmien mukaan, ehdotettiin kuvien tunnistamisen teknologiaa, jolla kuvaa voidaan verrata suunniteltuun liitoskuvaan. Kuvaamisessa olisi käytettäisiin röntgen- ja magneettikuvausmenetelmiä. Näiden avulla saataisiin kuvat betonirakenteiden sisällä olevista liitoksista. Kuvia pitäisi pystyä vertaamaan kuvapiste-tasolla suunniteltuihin rakennekuviin. Koneoppimisen random-forest ja superpixel clustering algoritmit sopivat tämän tyyppisen tehtävän ratkaisun avuksi. (Heejae ym. 2018.)

Kategorialle I (turvallisuuden liittyvien onnettomuuksien ennustaminen) ehdotettiin neuroverkkoratkaisua, jossa vertaillaan työmaaolosuhteita sen hetkiseen tilanteeseen, ottaen huomioon muun muassa työntekijöiden ominaisuudet, sääolosuhteet, työvaiheet ja sijainnit. Neuroverkkoon perustuva sovellus varoittaisi työntekijöitä päivän aikana todennäköisistä onnettomuusvaaroista, joita voisivat olla esimerkiksi putoaminen ja törmäminen. (Heejae ym. 2018.)

Kategorialle A (torninosturin nosto-järjestyksen valinta) ehdotettiin älykkään neuroverkon käyttöä (RNN), joka kykenee siirtämään opittuja tehtäviä seuraavalle neuroverkolle. Prosessissa seuraava neuroverkko oppii edellisen neuroverkon tehtävät. Tälle teknologialle on ominaista, että se kykenee käsittelemään aikarajoitteista tietoa. Tietoa, joka on voimassa vain tietyn ajan. Nosturin pitää kyetä päättämään, mitä pitää nostaa missäkin ajassa ja minne. Sen on myös kyettävä ymmärtämään kriittisiä polkuja, jossa jokin tehtävä on saatava kuntoon ennen toista. (Heejae ym. 2018.)

Kategorialle G (korkeiden torninosturien asettelu) ehdotettiin käytettäväksi yleistä algoritmia, joka kykenee suunnittelemaan nosturien sijainnin työmaalla siten, että niiden kokonaisvuokraus aika sekä siirrot työmaalla ovat minimaalisia ja näin myös loppukustannus on edullisin. Korkealle kurottuvien nosturien kokonaiskustannukset ovat suuria ja niiden rooli isojen rakennusten työmailla tärkeitä. (Heejae ym. 2018.)

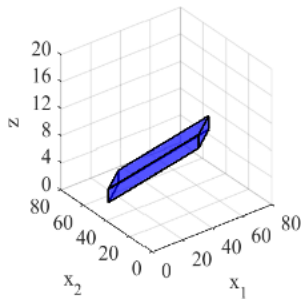
2.4 Rakennusalan automaation keskeisimpiä kehittämisalueita

2.4.1 Rakennusprojektin seuraavan sukupolven mallintaminen

Su, Isaac & Luckon tutkimus pyrkii kehittämään rakennusprojektin mallintamista edelleen. Tutkimuksen lopputuloksena syntyy malli, joka huomioi kaikki rakennusprojektin muuttujat. Näitä muuttujia ovat muun muassa tekniset suunnitelmat (CAD), aikataulu, budjetti ja rakennusalueen mallinnus. Mallilla pyritään yhdistämään kaikki muuttujat yhteen niin, että mallia tarkastelemalla saadaan kokonaiskäsitys koko hankkeesta reaaliaikaisesti. Mallia päivitetään rakennusvaiheiden edistymisen mukaan. Uuden mallin tarkoitus on yhdistää tällä hetkellä olemassa olevat 2D-, 3D-, 4D- ja 5D-malli. Uudella nD-mallin avulla voidaan tarkastella mitä tahansa valittua rakennusprojektin kolmea suuretta yhtä aikaa. (Su, Isaac & Lucko. 2018.)

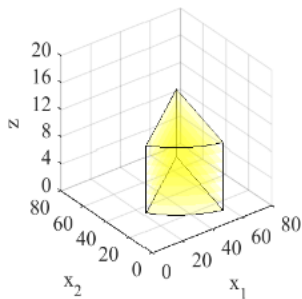
Kaikkien rakennushankkeeseen liittyvien aktiviteettien kuvaaminen yhdellä nD-mallilla mahdollistaa tehokkaan visuaalisen kommunikoinnin rakennushankkeeseen osallistuvien välillä. Perusajatuksena on yhdistää eri rakentamisen edistystä kuvaavat parametrit yhdeksi visuaaliseksi kuvaksi. Alla olevassa kuvassa (Kuva 11) on esitetty kaivinkoneen urakka aikaan sidottuna. Tuloksena on kolmiulotteinen suorakulmio, jonka y-akseli kuvaa aikaa ja leveys maansiirtoaluetta. Tämä on alueellisen ja ajallisen mallin yhdistelmä. Kuvan 11 perusteella voidaan nähdä missä maansiirron urakka on tietyllä hetkellä. (Su ym. 2018.)

Alla olevan kuvan mukaan kaivannon tekemiseen on mennyt 8 päivää ja kaivannon koko kuvaavat parametrit x2 ja x1.



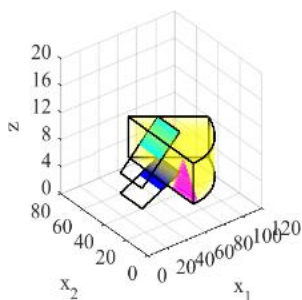
Kuva 11 Esimerkki maansiirtoa kuvaavasta työstä, jossa N kuvaa työpäiviä, x_2 kuvaa kaivannon leveyttä ja x_1 kuvaa kaivannon pituutta (Su ym. 2018)

Alla geometrinen malli (Kuva 12) työmaalla tarvittavan nosturin ajasta ja toimintasäteestä. Nostokurjen väritys ja koko kuvaa sitä, missä vaiheessa kullakin hetkellä ollaan ja kuinka kauan nosturi on vielä suunnitellulla paikalla työmaalla.



Kuva 12 Esimerkki nosturin toimintasäteestä ja sen työmaalla tarvittavasta ajasta, jossa N kuvaa aikaa päivinä, x_2 ja x_1 kuvaavat nosturin toimintasäädettä (Su ym. 2018)

Työmaalla olevia objekteja yhdistetään loogisten operaattorien avulla (AND, OR, XOR ja IF-THEN). Näin objektien välillä vallitsevia riippuvuuksia saadaan kuvattua monimutkaisisakin tapauksissa. Visuaalinen esitystapa on helpommin ymmärrettävissä kuin tekstimuodossa oleva tieto. Alla olevassa esimerkissä (Kuva 13) on yhdistettynä rakennusvaiheen 3 objektia päällekkäin. (Su ym. 2018.)

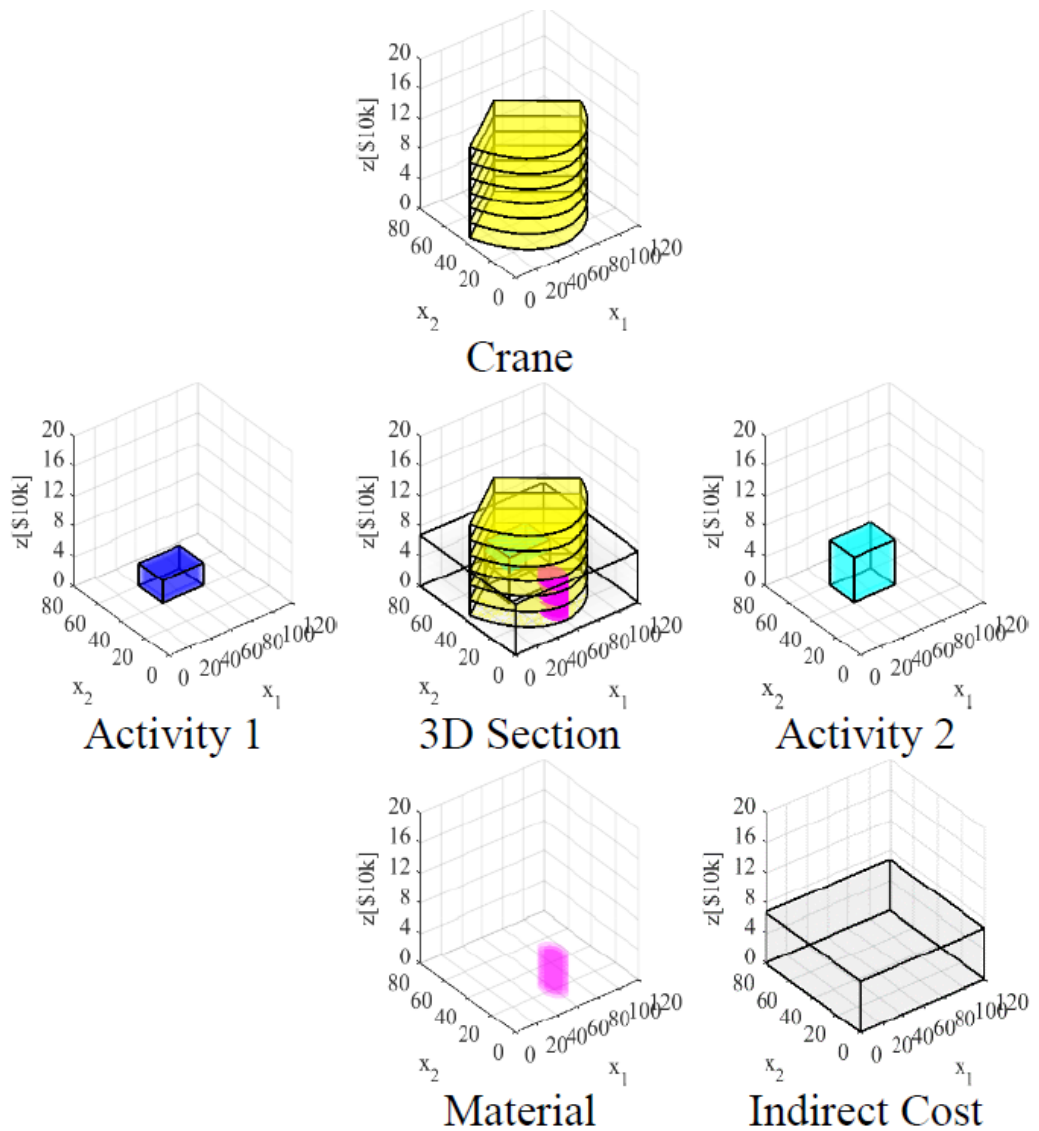


Kuva 13 Esimerkki nosturin, maansiirron ja varaston visuaalisista 3d-kuvauksista suhteessa aikaan. N kuvaa aikaa päivinä, x_2 ja x_1 kuvaavat eri objektien suureita (Su ym. 2018)

Edellä mainitut visuaaliset kuvat muuttuvat rakennusprojektin eri vaiheissa ja niistä voi päätellä suunniteltujen töiden vaatimat ajat, kustannukset ja muut rakennushankkeelle tärkeät mittarit yhdessä näkymässä.

Alla olevalla kuvasarjalla (Kuva 14) kuvataan rakennusprojektin kustannuksia suhteessa työmaalla tarvittavaan tilaan. Koordinaatistossa N kuvaa kustannuksia, x1 ja x2 tilaa. Kuvassa nosturin kustannukset erottuvat siivuina sen toimintasektorissa koska sen laskutus tapahtuu viikoittain. Yleiset kustannukset ovat kuvattu tasaisena harmaan laatikkona ja materiaalivarastoa pinkkinä lieriönä koska niiden kustannukset ovat kertakustannuksia. Lisäksi kaikki on kuvattu myös yhdessä päällekkäin.

Tällä menetelmällä saadaan kokonaiskuva rakennustyömaan toiminnasta, kustannuksista ja kustannustypeistä. Kuvasta voidaan havaita, mitkä ovat isoimpia kustannuksia ja mitkä tilaa vieviä toimintoja tai fyysisiä varastoja. Uusi nD mallinnustapa mahdollistaa rakennustyömaan eri parametrien yhdistelmien vertailun toisiinsa. Eri tehtävien edistymistä ja hetkellistä tilaa kuvataan sovitulla väreillä. (Su ym. 2018.)



Kuva 14 Esimerkki nosturin, maansiirron ja varaston visuaalisista 3d-kuvauksista suhteessa kustannuksiin. N kuvaa kustannuksia, x_2 ja x_1 kuvaavat eri objektien suureita (Su ym. 2018)

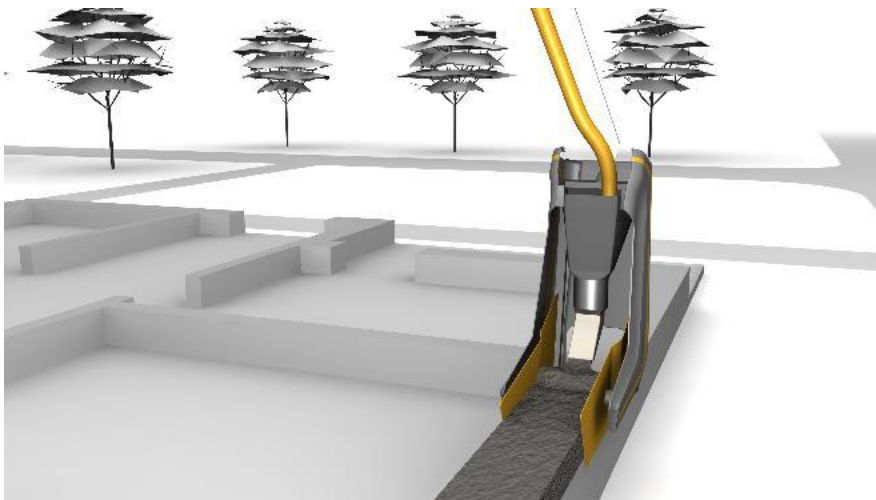
2.4.2 Suurien rakenteiden 3D-tulostusaminen

3D-tulostamiseen perustuvaa teknologiaa on kokeiltu myös talonrakennuksessa. Perusideana on, että rakennustyömaalle tuodaan laitteisto, joka kykenee tekemään seinän purrottamalla juoksevaa materiaalia kerroksittain, muodostaen lopulta seinärakenteen. Tämän tyyppisellä teknologiaratkaisulla voitaisiin tuoda rakentamiseen arviolta 25% säästöt ja rakennusaikatauluihin 4-6 kertaa nopeampia ratkaisuja. Tulostamiseen perustuvassa ratkaisussa on kuitenkin haasteita rakennustyömaiden vaihtelevien olosuhteiden vuoksi. Kyseisellä rakennustavalla syntyisi huomattavia säästöjä johtuen siitä, että muottien valmistaminen ja purkutyöt poistuisivat valutöistä käytännössä kokonaan. Lisäksi itse valuprosessi yksinkertaistuisi ja säästäisi huomattavia määriä aikaa verrattuna perinteiseen

rakennustapaan. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää tulostustekniikan käyttöönoton vaatimia yksityiskohtia. (Krause ym. 2018.)

Työmaalla tapahtuvaa rakenteiden tulostamista kutsutaan CONPrint3D-prosessiksi. Teknologia perustuu olemassa olevien betoninkäsittelylaitteistojen hyväksikäyttöön. Ajatuksena on, että betonipumppu-autoihin lisätään tietotekniikkaa ja niihin yksityiskohtaisesti suunniteltuja teknisiä lisälaitteita. Tulostuksessa on suunniteltu käytettävän 16 mm rae-koon betonia. Prosessin lopputuloksena syntyy yhtenäisiä/monoliittisiä rakenteita ja pumppu-auton varsi toimii automaattisesti BIM-mallin mukaisesti. (Krause ym. 2018.)

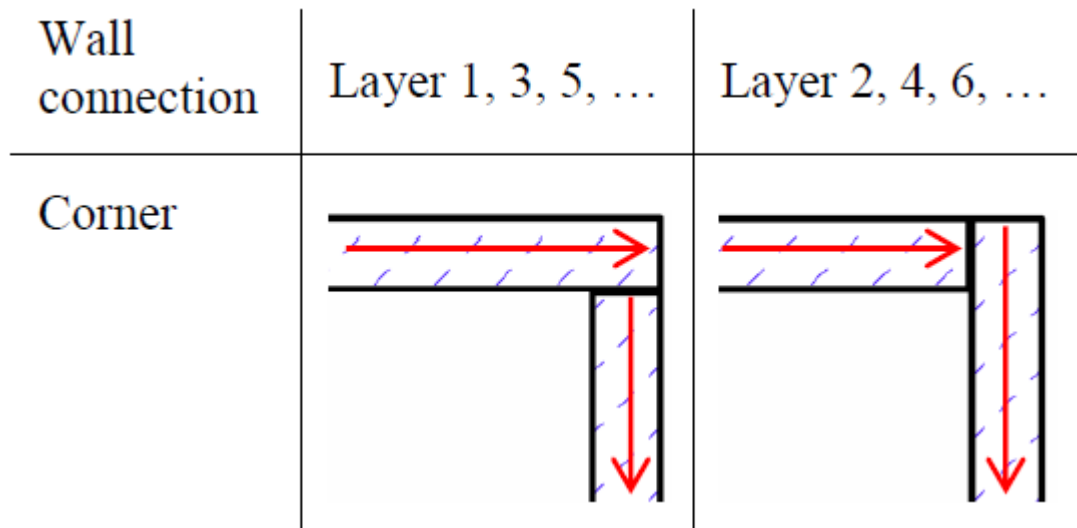
Ratkaisu perustuu siihen, että tulostus tehdään kerroksittain betoninauhoina (Kuva 15). Ennen rakennuspaikalla tapahtuvaa tulostusta, on mahdollista esikatsella tulostustapahtumaa virtuaalisesti ruudulta. Rakennus mallinnetaan ensin käyttäen BIM-malleja virtuaalisesti. Tulostusta ohjataan BIM-mallin parametreilla. Parametrit kuvaavat muun muassa tulostuksen vauhtia, kiihtyvyyttä ja tulostuksen liikerataa. Teknologian käyttökohteena on pääasiassa asuinrakennukset. Rakennusaineena on määrättyllä notkeudella tuotettu betoni. Muiden aineiden sekoittamista tulostettavaan rakenteeseen ei ole vielä tutkittu. (Krause ym. 2018.)



Kuva 15 Tulostuksen periaatekuva kerroksittain tulostettavasta betoninauhasta (Krause ym. 2018)

Betonitulostuksen yhtenä haasteena ja tutkimuskohteena on rakenteiden liittäminen toisiinsa. Yhtenä vaihtoehtona pidetään jo vanhastaan tuttua, joka toisen rivin päälle asennettua rakennetta, jossa edellisen kerroksen sauma jää uuden kerroksen eheän kerroksen alle kulmissa. Toisena vaihtoehtona on yhtenäinen, myös kulmissa hiukan pyöristäen jatkuva tulostus. Kolmantena vaihtoehtona on tutkittu kulmiin lisättäviä rautavahvikkeita. (Krause ym. 2018.)

Alla olevassa kuvassa (Kuva 16) havainnollistetaan perinteiseen muuraamiseen perustuvaa tekniikkaa, jossa uusi kerros asetetaan edellisen kerroksen saumojen kanssa lomittain. Myös CON3DPrint-prosessissa on tutkittu samaa periaatetta. Automaattisen tulostuksen osalta tämän tyyppinen tulostustapa mahdollistaisi sen, että robotilla pitäisi olla kaksi erillistä ohjelmoitua liikerataa, joita se käyttäisi vuoron perään tulostuksen edistyessä. (Krause ym. 2018.)



Kuva 16 Esimerkkikuva CONPrint3D-tulostuksen liikeradoista (Krause ym. 2018)

Alla olevassa kuvassa (Kuva 17) havainnollistetaan kerrostamistapaa, jossa uusi kerros pursotetaan edellisen kerroksen päälle yhtenäisenä betonikerroksena. Tämän tyyppisen tulostuksen nähdään soveltuvan parhaiten pieniin rakennelmiin (Krause ym. 2018.)



Kuva 17 Esimerkkikuva CONPrint3D tulostuksesta jatkuvana, myös kulmien yli jatkuvana tulostuksena (Krause ym. 2018)

Saman kaltaista teknologiaa on tutkittu Aalto-yliopiston projektissa, jossa työmaalla oleviin laitteisiin ja työntekijöihin kiinnitettiin anturit. Anturit kommunikoivat lähiverkossa toistensa kanssa työmaan sisällä. Tämän teknologian avulla resurssien paikantaminen helpottui työmaalla ja ajan kuluminen työkalujen sekä koneiden etsimiseen väheni. (Tompuri 2019, 17.)

Farooqin ym. tutkimuksessa selvitettiin, miten rakentamiseen tehtäviä voitaisiin mitata mahdollisimman tehokkaasti. Työn osuus talojen rakentamiskustannuksista on suuri, joten työn optimoinnilla päästäisiin suoriin kustannussäästöihin. Tutkimuksessa mitattiin neljän eri työntekijän työtehtäviä ja tehtävien edistymistä suhteessa käytettyyn aikaan, teräsrakenteiden käsittelyssä, kahdella eri työmaalla. Työtehtävät jaettiin kategorioihin alla olevan taulun mukaan (Taulukko 1). Työn edistymistä seurattiin ottamalla työnäytteitä. Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään optimaalinen työnäytteiden määrä, jolla päästäisiin tarkimpaan tulokseen työn edistymisen seurannassa. Koetulosten perusteella mittaustulosten ilmoittama työn edistymistä mittaava tarkkuus parani aina 150 näytteeseen asti. Näytteiden määrän ylittäessä 150, tarkkuus ei enää merkittävästi parantunut. Tutkimuksessa käytettiin apuna MATLAB ohjelmaa. (Farooq, Rahnamayiezekavat & Moon 2017.)

Taulukko 1 Työtehtävien jakaminen kategorioihin (Farooq ym. 2017)

Kategoria	Sisältö
Value added work	1. Työtehtävä, joka edistää suoraan fyysisen tehtävän valmiusastetta.
Contributory work	2. Työkalujen ja tarvikkeiden siirtäminen työpisteeseen, niin että työtehtävä voidaan suorittaa. 3. Työtehtävien lopettaminen. 4. Suunnitelmien ja pulmien ratkaiseminen esimiehen avulla.
Ineffective work	5. Tavaroiden ja tarvikkeiden siirto kauemmaksi kuin 10 metriä. 6. Turha kävely. 7. Tavaroiden ja työkalujen etsiminen.
Unproductive work	8. Muiden työvaiheiden valmistumisen odottaminen tai esimiehen ohjeiden odottaminen. 9. Töiden uudelleen tekeminen.
Personal	10. Suunnittelemattomat tauot ja odottelu. 11. Jokin muu.

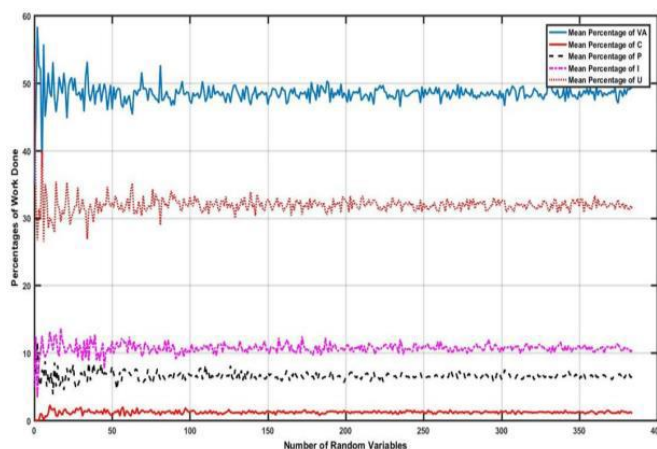
Olla olevassa kuvassa (Kuva 19) on listattu työntekijän A ja B eroavaisuudet eri kategorioissa työn edistymisen suhteen. Sen mukaan työntekijän A kohdisti työajastaan 16% enemmän aikaa tukitoimintoihin kuin työntekijä B. Vastaavasti työntekijä B kohdisti enemmän aikaa rakentamisen edistymistä lisääviin työtehtäviin. Näillä luvuilla ei sinänsä ole

merkitystä tämän tutkimuksen lopputulokseen, mutta kuvastavat lähinnä sitä, mitä asioita tutkimuksessa mitattiin.

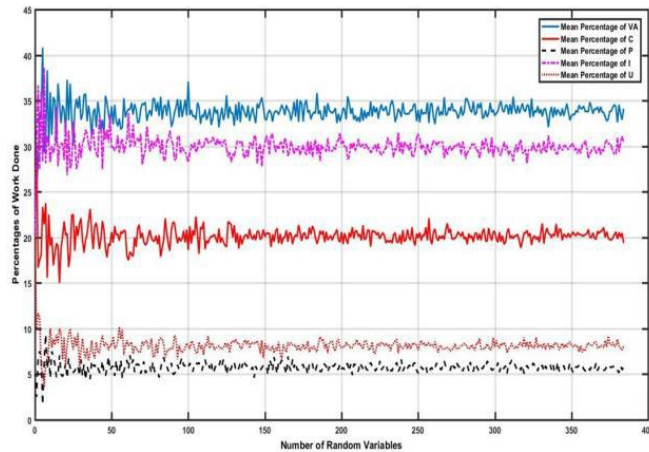
Category of Work	Percentage of Work Done for 384 Observations	
	Worker A	Worker B
Value Added	13.76%	27.27%
Contributory	43.11%	27.00%
Ineffective	15.06%	17.66%
Unproductive	13.77%	15.06%
Personal	14.28%	11.43%

Kuva 19 Työmäärien jakautuminen 384 näytteen ottomäärässä (Farooq ym. 2017)

Alla olevissa kuvissa (Kuvat 20 ja 21) x-akseli kuvaa näytteiden määrää ja y-akseli eri kategorioita, joihin aikaa kuluu. Kuvat ovat toteutettu MATLAB ohjelmalla, toistamalla näytteiden ottoa eri määrillä nolasta alkaen. Näytteiden tulokset laskettiin MATLAB ohjelmistossa olevien algoritmien avulla. Alla olevia kuvia tarkastellessa voidaan todeta, että sinisen viivan hajonta on isoa pienillä näytemäärillä ja hajonta tasaantuu 150 näytteen paikkeilla, jonka jälkeen näytteiden otto ei enää lisää tuloksen tarkkuutta. Kuvista voidaan myös havaita, että työntekijän B työn edistymistä kuvaavassa sinisessä viivassa on enemmän vaihtelua verrattaessa työntekijän A vastaavaan siniseen viivaan. Pääosin kuitenkin kummastakin kuvasta (Kuva 20 ja 21) voidaan todeta, että yleinen trendi näyttäisi olevan se, että näytteiden oton määrän kasvaessa 150 näytteen oton paikkeille ja siitä yli, lisänäytteiden otolla ei ole enää merkitystä työn edistymisen mittarin tarkkuuden parantamiseksi.



Kuva 20 Työn edistyminen työntekijä A (Farooq ym. 2017)



Kuva 21 Työn edistyminen työntekijä B (Farooq ym. 2017)

3 Rakennusalan näkemyksiä rakentamisen automaatioon

Rakennuslehdessä julkaistun artikkelin mukaan rakentamisen automatisoinnin suurin este tällä hetkellä on työmaiden turvallisuus ja se, että työmailla ei olla totuttu työskentelemään samaan aikaan robottien kanssa. Tähän on syynä se, että ihminen on huomattavasti hitaampi ja huolimattomampi kuin kone ja näin ollen onnettomuuksien riski on huomattava. Toinen merkittävä este automatisoinnin käyttöönotossa on työmaiden ja rakennusten erilaisuus. Kaikki työmaat ja niille rakennettavat rakennukset ovat yksilöitä ja näin ollen ne eivät ole helposti toistettavissa ennalta suunniteltujen ohjeiden mukaisesti. Myös koneiden tunnistustekniikan tulee kehittyä niin paljon, että ne kykenevät erottamaan ihmisen työmaalla. Robotteja pystytään tällä hetkellä hyödyntämään parhaiten toistuvien, samankaltaisten tehtävien suorittamiseen. Muuttuvien olosuhteiden ja eroavaisuuksien huomioonottaminen robottien toiminnassa, vaatii huomattavasti edelleen kehittämistä ja aikaa. (Seppänen 2017; Huusko 2018.)

Sveitsissä testataan aiemmin mainittujen 3D-tulostimien soveltuvuutta kokonaisten talojen pystyttämiseen. Tämä alue on kehittynyt viime aikoina nopeasti ja saattaa olla yksi tapa tulevaisuuden asuinrakennusten päärakenteiden toteuttamisessa. (ETH Zurich 2017.)

Yleinen trendi näyttäisi olevan, että rakennusliikkeet ovat innostuneita robotiikan mahdollisuuksista. Kuitenkin niin kauan kuin markkinoilta ei löydy toimivia, helppokäyttöisiä ja kohtuullisen hintaisia rakennusrobotteja, ei niitä myöskään todennäköisesti nähdä rakennustyömailla. Haastatellut henkilöt näyttivät olevan tietoisia mitä alalla tapahtuu, mutta onko näin myös muissa rakennusalan liikkeissä?

3.1 Haastatellut henkilöt

Osana tutkimusta haastattelin talotehtaan edustajaa, joka toimii Wienerberger tiilivalmistajalla aluemyyntipäällikkönä, rakennusalan ammattilaista, jolla on pitkä kokemus työnjohtajan tehtävistä rakennusosalta, sekä rakennusalan sovellustoimittajan hankepäällikköä. Haastateltavat henkilöt valittiin tarkoituksella niin, että sain rakentamisen näkökulmia eri suunnilta mahdollisimman monipuolisesti. Olin yhteyksissä useisiin potentiaalsiin haastateltaviin, mutta vastauksia ja suostumusta haastateltavaksi oli erittäin vaikeata saada. Lähestyin potentiaalisia haastateltavia sähköpostin välityksellä. Tämä ei tuottanut toivottua tulosta. Puhelinsoitto puolestaan johti parempaan lopputulokseen. Lisäksi myös työpaikan kollegoiden vinkit johtivat siihen, että löysin sopivia haastateltavia. Yhdelle haastateltavista toimitin kysymykset etukäteen, jolloin keskustelu tuntui luontevammalta.

Osa tutkimuskysymyksistä olivat sen kaltaisia, että haastateltavien oli vaikea suhtautua niihin sellaisella mielikuvituksella, jota kysymyksiä tehdessäni oli kuvitellut. Tarkoitukse- nani oli rikkoa rajoja kysymyksillä, joilla ei ollut todellisuuspohjaa, kuten kysymyksellä 6, jossa kysyin mielikuvituksellisesti ajatuksia avoimesti, ilman rajoja. Toisaalta tämän tyyppi- sellä kysymyksellä saattoi olla vaikutusta yleisen keskustelun laajuuteen ja mielikuvituk- sellisuuteen.

3.1.1 Talotehdas

Wienerbergerin aluemyyntipäällikön, Erolinjan haastattelun perusteella voitiin todeta, että muuraamistyö ovat kivirakentamisessa talon rakentamisen yksi suurimpia kuluja. Tällä hetkellä tiilien valmistaminen on pitkälle automatisoitu mutta muuraaminen on fyysistä ja manuaalista työtä. Jos muuraaminen saataisiin automatisoitua, vaikuttaisi se myös positiivisesti tiilitalojen menekkiin tulevaisuudessa. Tiilillä rakentaminen on perinteikästä ja elin- iältään pitkäkestoista rakentamista. Poltettu tiili on kestävä rakennusmateriaali ja sillä on hyvä maine, joten jos muuraamisen osuus kokonaiskustannuksista olisi pienempi usko- taan, että materiaalia käytettäisiin enemmän. Jo pelkästään helpottavien apuvälineiden kehitys tällä alueella vaikuttaisi tiilen myyntiin ja sen käyttöön rakennusmateriaalina uudis- rakennuksissa, puhumattakaan, että muurausrobotti SAM yleistyisi maailmalla. (Erolinja 11.1.2019.)

3.1.2 Rakennusalan ammattilainen

Keskusteluni työnjohtaja Klemetilän kanssa osoitti sen, että rakennusalalla on tunnistettu BIM-mallinnus ja sen tärkeys. Silti kommenttien perusteella ymmärsin, että vastustus kaik-

kea uutta kohtaan on yleistä ja vastustus saattaa estää kehityksen vauhtia. Uusien teknologioiden käyttöönotto on usein vaikeampaa pienemmissä yrityksissä, resurssien osaamisen ja asenteiden vuoksi. Pelko uutta kohtaan on todellista ja estää uuden teknologian käyttöön ottamisessa. Hyötynä koetaan digitaalisen teknologian johtamista paperittomuuteen, tablettien korvatessa paperiset tulosteet vähitellen. Lisäksi se, että kaikki rakennusprojektiin liittyvä tieto on saatavilla tosiaikaisesti suoraan rakennuskohteessa, nähdään oleva erittäin hyödyllistä.

Keskusteluissa kävi ilmi, että näyttäisi olevan vääjämätöntä, että BIM-mallinnus tulee osaksi isompia rakennushankkeita. Esimerkiksi Kouvolan kaupunki vaatii nykyäänkin joihinkin rakennushankkeisiinsa urakoitsijoilta BIM-mallinnuksen käytön kokemusta ja ymmärrystä. (Klemettilä 16.2.2019.)

Rakentamisen vaiheista tärkeimmäksi ja kriittisimmäksi Klemettilä totesi rungon pystytyksen, koska se on sääälle alttiina rakentamisen alussa ja rakenteiden joutuminen kosteuden kanssa tekemisiin tuottaa isoja ongelmia. Telttojen käyttäminen on kallista, varsinkin isompien kerrostalojen pystytyksessä, koska teltta pitää purkaa ja pystyttää kerros kerrokselta. Lisäksi rakennuksissa käytettävät ontelolaatat nähtiin kriittisiksi siksi, että niihin kertyy usein vettä, joka saattaa jäädä rakenteisiin muhimaan rakennuksen valmistuttua. (Klemettilä 16.2.2019.)

Talojen automaatioon kannalta, rakennusten ilmastoinnin nähtiin olevan alue, jossa tietotekniikalla on nykyään iso merkitys, koska talot rakennetaan yhä tiiviimmiksi eikä luonnollista ilman vaihtumista enää ole.

3.1.3 Rakennusalan sovellustoimittaja

Trimble solutions kehittää järjestelmiä rakennusteollisuuteen, projektin hallinnasta rakennusten suunnitteluun. Haastateltu toimii yrityksessä hankepäällikkönä.

Firatin mukaan BIM-mallinnus on rakennusalan järjestelmäkehityksen ydinasia. Sitä kehitetään edelleen seuraavan sukupolven nD-malliksi. Malliin lisätään yhä enemmän projektiin liittyvää dataa ja sitä voidaan käyttää yhä enemmän kaikkien rakennusprojektiin liittyvien asioiden hallintaan ja tarkasteluun. Sen ympärille rakennetaan järjestelmiä, jotka pystyvät hyödyntämään niitä. Mallien kehittämisessä on mukana yhteistyökumppaneita useista eri yliopistoista.

Firatin mukaan mallinnusta ei vielä käytetä pienemmissä yrityksissä. Tulevaisuudessa ne yritykset, jotka eivät opi analysoimaan BIM-malleja, eivät pärjää kilpailussa. Rakennushankkeiden hinnat optimoituvat BIM-mallinnuksen käyttöönoton yhteydessä ja jos yrityksellä ei ole osaavaa henkilökuntaa BIM-mallien tulkitsemiseen, eivät he myöskään pysty tarjoamaan palveluitaan kilpailukykyisesti.

Firatin mukaan valtiot, kunnat ja kaupungit siirtyvät käyttämään BIM-mallinnusta ja vaatimaan sitä myös rakentajilta sekä toimittajilta. Firat totesi myös, että rakennusala on niin perinteinen ja vanha, että uusien teknologioiden käyttöönotto on hidasta. Vie aikansa ennen kuin sukupolvet vaihtuvat ja uusi digitalisaatiosta tietoinen sukupolvi toimii yrittäjinä rakennusalalla. Suurimpana ongelmana tuntui olevan se, että päätöksentekijät eivät ymmärrä uutta teknologiaa ja näin usein yritys ei pysy kehityksen mukana.

Suomi on ollut yksi edelläkävijämaista BIM-mallinnuksessa. Suomessa tehtiin ensimmäisiä BIM-mallinnuksia jo vuonna 2004. Nykyään johtavia mallinnusta käyttäviä maita ovat Yhdysvallat, Iso-Britannia ja Suomi. (Firat 25.2.2019.)

BIM-mallinnuksen käyttö laajenee sitä mukaan, kun valtiot, kunnat ja kaupungit ottavat sen osaksi suunnitteluaan. Toisaalta BIM-mallien laatu on huolenaiheena sen käytön laajentuessa. Mallin ympärille on rakennettava laadunvarmistusprosesseja, jotta vältetään tiedon korruptoitumiselta. (Firat 25.2.2019.)

Firatin mukaan BIM-mallinnus on johtanut parempaan projektinhallintaan ja se on tuonut mukanaan paljon hyvää yhteistyötä eri toimijoiden välillä. Se on myös parantanut palvelun- ja tavarantoimittajien toimintavarmuutta. Lisäksi työmaiden turvallisuus on parantunut merkittävästi standardien ja suunnittelun myötä. BIM-mallinnuksen lisäksi, IOT on tärkeä uusi kehittyvä teknologia rakennusalalla. Sitä käytetään jo monessa mittausteknisissä tehtävissä rakennuksilla. Huolta herättää se, että työpaikat ovat uhattuna perinteisissä rakennusalan töissä ja robotiikka korvaa ihmisen.

Firatin näkemyksen mukaan talojen hinnat eivät muutu merkittävästi automaation myötä. Lisäksi hän mainitsi, että niin sanottu off-site rakentaminen lisääntyy ja rakennukset toimitetaan yhä valmiimpana ja komponenttimaisina kuin ennen. Off-site rakentamisella tarkoitetaan sitä, että rakennuksen osia rakennetaan yhä enemmän moduuleiksi tehtailla. Tämän jälkeen talon pystytys työmaalla on yhä enemmän standardin mukaista ja mahdollisuudet automaatiolle ovat parempia.

4 Tutkimuksen toteutus

4.1 Haastattelun toteutus

Haastattelut toteutettiin puhelimitse ja kasvokkain. Haastattelut olivat tyypiltään syvähaastatteluita ja ne toteutettiin tammi-helmikuussa 2019. Kutakin haastateltavaa varten oli varattu tunti aikaa ja haastattelut toteutettiin yksi kerrallaan. Haastattelun alussa esittelin opinnäytetyöni aiheen ja kerroin miksi haastattelu toteutetaan ja mikä on haastattelun tavoite.

Kävin läpi haastattelukysymykset yksi kerrallaan ja kirjoitin muistiin haastateltavien henkilöiden vastaukset. Joissain tapauksissa haastateltavat henkilöt vastasivat yhdellä vastauksella moneen kysymykseen. Haastateltavilta pyydettiin lupa nimen esittämiseen tässä opinnäytetyössä.

4.2 Haastattelun tulokset

Haastattelun tulos tuki ajatusta siitä, että olin käyttänyt opinnäytetyössäni rakennusalan keskeisiä asioita käsittelevää tietoperustaa ja, että olin ottanut tähän opinnäytetyöhöni rakennusosalalla keskeisessä roolissa olevat kehitysalueet tutkittavaksi. Haastattelun kysymykset olivat avoimia ja ne johtivat avoimeen keskusteluun. Haastattelun ollessa tyypiltään syvähaastattelu, oli tulos myös siinä mielessä työtäni tukevaa. Oli mielenkiintoista havaita, miten erilaisia näkemyksiä eri rakennusalan asiantuntijoilla on ja miten he lähestyvät rakentamista sen eri näkökulmista. Oli myös hyvä saada eri näkemyksiä käytännön työn -, myynnin - ja suunnittelun kulmasta.

Haastattelun kulku olisi voinut olla hiukan johdonmukaisempaa. Joissain tapauksissa keskustelu rönsyili kysymysalueen ulkopuolelle. Haastattelua olisi voinut valmistella vielä paremmin etukäteen niin, että keskustelulle olisi asetettu vielä selvemmat tavoitteet.

5 Tutkimuksen tulokset

Tutkitun aineiston ja haastattelujen perusteella rakennusala käyttää talojen suunnitteluun jo nyt hyvin pitkälle kehitettyjä sovelluksia. Näistä merkittävintä on BIM-mallinnuksen käyttöönotto, joka avaa vähitellen mahdollisuuksia myös muulle talojen rakentamisen automatisaatiolle. Vie aikansa, että rakennusosalalla opitaan käyttämään mallinnusta laaja alaisemmin. On todennäköistä, että tietokoneita ja järjestelmiä käyttämään tottuneet sukupolvet ottavat alalla uusia kehitysaskelia luonnostaan, kun tietotekniikan käyttö ja erityisesti viimeaikainen kehitys koneoppimisen, tekoälyn ja robotiikan alueilla on kiihtynyt.

Talojen rakentamistapa tulee muuttumaan yhä enemmän suunnitelmallisempaan suuntaan. Ajatusta tukee tässäkin BIM-mallinnus ja siihen liittyvät yhteistyöalustat. Paremmalla suunnittelulla päästään optimoituihin lopputuloksiin ja väärinkäsitysten määrä pienenee. BIM-mallinnus kehittyy edelleen ja siihen sisällytetään kaikki mahdolliset rakennustyömailla käytettävät muuttujat, jotta sen käyttäminen automaation ja robotiikan mahdollistajana vahvistuu.

Robottien käyttäminen rakennushankkeissa on tällä hetkellä vielä vähäistä. Robottien käyttöä työmailla kuitenkin tutkitaan ja testataan jo esimerkiksi Yhdysvalloissa. Kolmen kärjessä olevat maat, USA, Iso-Britannia ja Suomi ovat myös jatkossa todennäköisiä kärkimaita rakennusalan automatisoinnin kehityksessä. Myös Norja on ottanut viime aikoina kehitysaskelia rakennusalan automaation käyttöön ottamisessa.

Yksittäisiä teknisiä apuvälineitä otetaan todennäköisesti käyttöön laajemmin. Näistä hyvinä esimerkkeinä erilaiset tunnistimet, anturat ja muut IoT-laitteet. Myös lentävien, kameralalla varustettujen Drone-laitteiden käyttö näyttäisi saavan suurta suosiota yhtenä yksittäisenä teknologiana työmaalle kohdistettavien mittauksien suorittamiseen eri muodoissaan. Lisäksi ihmisen fyysisiä työtehtäviä helpottavat exoskeleton-laitteet saattavat nousta suosioon apuvälineenä myös rakennustyömailla. (Collin 2019).

Niin sanottuja yleisrobotteja ei tulla näkemään työmailla vielä vähään aikaan. Tutkitun tiedon ja haastattelujen perusteella työmailla voidaan nähdä lähitulevaisuudessa rajatulla alueilla toimivia joihinkin tiettyihin tehtäviin erikoistuneita robotteja. Näistä esimerkkinä tässäkin dokumentissa mainittu SAM-muurausrobotti.

Suurimpia säästöjä saadaan rakennustyömaiden työtehtävien optimoinnilla. Kaikki laitteet, jotka pienentävät fyysistä työn tarvetta, tulevat työmaille ennemmin tai myöhemmin. Osa laitteista ovat manuaalisia ja osa tietokoneälyllä varustettuja. Ihmistyövoiman tarvetta minimoidaan ottamalla käyttöön laitteita, jotka korvaavat ihmisen työtehtäviä.

Tärkeimmät strategiset kehitysalueet, joihin rakennusalan yritysten tulisi panostaa, ovat henkilöstön kouluttaminen ja ajan tasalla pysyminen. Erityisesti BIM-mallintaminen on keskeinen osaamisalue, johon yritysten tulisi panostaa voimakkaasti, viivyttämättä. Jos rakennusalan yritykset eivät seuraa alansa kehitystä tarpeeksi tietotekniikan alueella, voi se johtaa siihen, että ne eivät pärjää isojen rakennushankkeiden kilpailussa muiden alan

yrittäjien kanssa. Heitä ei myöskään pidetä enää potentiaalisina toimittajina isoissa rakennushankkeissa. Tässä yhteydessä yrittäjistä puhuttaessa, viitataan laaja-alaisesti kaikkiin alalla toimiviin yrityksiin.

Voidaan myös todeta, että rakennusalalle avautunee uusia työtehtäviä ja rooleja lähitulevaisuudessa. Tästä hyvänä esimerkkinä on Pasilan Tripla-hankkeeseen erikseen nimetty henkilö, joka on erikoistunut Triplaan liittyvien eri BIM-mallien yhdistämiseen ja mallien hallintaan. Rakennusalalle tarvitaan resursseja, joilla on kyky oppia nopeasti alan uusia teknologioita ja uusia käyttöön tulevia sovelluksia sekä prosesseja. Todennäköistä on myös, että alalle syntyy uusia liiketoimintamahdollisuuksia konsultoinnin ja koulutuksen parissa.

6 Pohdinta

Mielestäni I.A.R.R.C tutkimusten ja eri teollisuuden alojen automatisoinnin kehityksen perusteella voi olettaa, että rakennusalalla siirrytään tulevaisuudessa rakentamisen automatisointiin erityisesti fyysisesti raskaiden, rahaa sekä ihmistyövoimaa säästävien työtehtävien alueella.

Eri lähteiden mukaan, suurimmat hidasteet rakennusalan automatisoinnille työmailla näyttää olevan työskentelevien ihmisten asenteet uusia automatisointiin liittyviä teknologioita kohtaan sekä työmaan haastavat olosuhteet. Nykyinen automaation ja robotiikan nopea kehitys tarjoaa edistyksellisiä mahdollisuuksia sen hyödyntämiselle rakennusalalla. Automaation ja tekoälyn hyödyntämisen yleistyminen muilla teollisuussektoreilla asettaa omalta osaltaan paineita myös sille, että rakennusalalla siirrytään vähitellen rakentamisen automatisointiin ja robotiikan hyödyntämiseen.

Haastatteluiden perusteella, seinien rakenteiden pystytys koettiin kriittisimpänä työvaiheena, niiden ollessa kosteudelle alttiina rakennusvaiheen alussa. Rakenteiden mahdollisimman nopea pystytys ja varoimenpiteet rakenteiden suojaamiseksi ovat tähän ratkaisu. Robotiikan käyttöönotto tukisi nopeaa seinärakenteiden pystytystä. Myös automaattisten anturien käyttö pystytysvaiheessa toisi varmuutta siitä, että rakenteet pysyvät kuivina eri rakennusvaiheiden ajan ja myös sen jälkeen tai ainakin mahdollisiin alkaviin kosteusongelmiin voitaisiin reagoida ennen kuin kosteus aiheuttaisi rakenteissa isompia ongelmia.

Drone-tekniikan mukanaan tuoma valvontakulttuuri herättää minussa arveluttavia ajatuksia. Työmaalla työskentelevät henkilöt saattavat tuntea työskentelevänsä suurennuslasin alla, joka voi johtaa resurssiongelmiin. Henkilöstö tulee ottaa mukaan suunnitteluvaiheisiin, jotta heidät saadaan sitoutumaan uuden tekniikan käyttämiseen. Kun heillä on mahdollisuus vaikuttaa kehitykseen, on myös käyttöönotto paljon sujuvampaa. Drone-tekniikka tuo myös mukanaan turvallisuutta parantavia asioita. Sillä kyetään estämään mahdolliset vaaratilanteet työmaalla.

Robotteja, jotka kykenisivät suorittamaan yleisiä työtehtäviä rakennustyömailla, saadaan näkemykseni perusteella odotella vielä jonkin aikaa. Robottien käyttöönoton suurin haaste on rakennustyömaiden vaihtelevaisuus ja vaikeat olosuhteet. Yleisrobottien liikkuminen epätasaisella maalla ja alueilla, jossa liikkuu myös ihmisiä ja muita työkoneita, asettaa isoja haasteita turvallisuudelle. Toisaalta, saattaahan olla, että rakennustyömaat muuttuvat tulevaisuudessa eristetyiksi alueiksi, jonne pääsee vain robotit ja niitä ohjaavat erityisasiantuntijat. Voi myös olla, että koneiden kyky tunnistaa työmaalla liikkuvia ihmisiä paranee ja näin vähitellen koneet ja ihmiset pystyvät toimimaan samalla alueella sovussa ja ilman onnettomuuksia.

Haastattelussa esiin tullut idea talojen valmistamisesta yhä enemmän ennalta suunnitelluista osista tehtailla, mahdollistaa yhä todennäköisemmin robottien käytön talon pystytysvaiheessa, koska talonrakennusmoduulit standardisoituvat ja robotit voidaan ohjelmoida etukäteen toimimaan tietyllä samalla toistuvalla tavalla moduulien paikalleen asentamisessa.

Uskon, että virtuaalitekniikka tuo mukanaan mahdollisuuksia rakennusprojektien analysointiin ja testaamiseen, ennen varsinaista rakennusprojektia. Sen avulla voisi tarkastella etukäteen eri rakentamisen vaiheita ja lopuksi astua sisään valmiiseen yksilöllisesti suunniteltuun virtuaalikotiin. Samaa tekniikkaa voitaisiin siis käyttää ammattilaisten ja asiakkaiden näkökulmasta.

Rakentaminen on huomattavasti paremmin hallittua tulevaisuudessa. Mallinnuksen kautta saadaan parempia menekkilaskelmia ja työvaiheet toteutuvat paremmin ajallaan ja oikeassa järjestyksessä. Tämän tyyppinen kehitys johtaa myös vääjäämättä siihen, että kustannukset pienenevät, suhteessa työn edistymiseen. Asioita voi katsoa eri kulmista ja tässäkin tapauksessa parempi suunnittelu ja optimointi voi myös johtaa siihen, että rakennetaan isompia ja monimutkaisempia taloja, jolloin lopulta kokonaiskustannukset eivät pienene. Työn ja tarvittavan rakennusmateriaalin optimoinnin seurauksena rakennusalan yri-

tykset joutuvat ahtaalle, jos he eivät kykene sisäistämään uusia teknologioita ja järjestelmiä, joilla projekteja analysoidaan. Tämä korostuu erityisesti tällä hetkellä, koska tietotekniikan tarjoamat mahdollisuudet kehittyvät rakennusosalalla nopeasti ja vaatii alan yrittäjiltä mielenkiintoa ja kykyjä oppia asioita sujuvasti.

Digitalisaation kehitys näkyy uusina selainpohjaisina käyttöliittyminä, jotka on integroitu suoraan tuotannon järjestelmiin ja automaatiolaitteisiin. Asiakkaalla on iso rooli tuotteiden suunnittelussa ja tuotteiden ominaisuuksien kehittymisessä. Heillä on myös mahdollisuus nähdä ja kokeilla hyvin monimutkaisia rakenteita virtuaalisesti, tässä tapauksessa rakennuksia ennen kuin ne ovat valmiita. Näyttäisi siltä, että Web-to-real tyyppistä ratkaisua voitaisiin käyttää talojen tilaamiseen ja näin myös rakennusmoduulien valmistamiseen tuotantolaitoksissa tulevaisuudessa.

Huolestuttavaa on, että lähteissä tai haastatteluissa ei otettu erityisesti huomioon rakentamisen laadun parantamista yhtenä automaation käyttöönoton perusmotivaattorina. Joko se oletusarvoisesti paranee tai sitten sitä ei ole huomattu ottaa osaksi kehityksen tärkeimpiä lähtökohtia, vaan ollaan keskitytty automaation mukana tuomaan rakentamisen taloudelliseen hyötyyn ja työn tehostamiseen. Toisaalta se, että robotti kykenee tekemään saman asian aina samalla tavalla ja ennen kaikkea väsymättä, tukee sitä ajatusta, että myös automatisoidut tehtävät voidaan tehdä laadukkaasti nojaten parhaimpiin nykyhetken rakentamisperiaatteisiin.

Pilvipohjaisten ratkaisujen riskeistä ei ole puhuttu tutkimassani aineistossa. Missään ei ole pohdittu sitä, miten pitkälle erikoistuneet ohjeistukset, liittyen johonkin hyvin vaikeasti opittavaan tehtävään, ovat varmasti haluttua, myytävää tietoa rikollisille. Tieto on arkaluonteista ja sen suojaaminen on äärimmäisen tärkeää. Tämä tyyppinen tieto on yritykselle elintärkeää strategista tietoa ja sen väriin käsiin joutumista pitää estää samoin keinoin kuin mitä tahansa strategista tietoa.

Itse asettaisin rakentamisen laadun, turvallisuuden ja ympäristön huomioinnin etusijalle kehitettäessä uusia teknologioita tällä alueella. Rakentamisen laadussa pitäisi ottaa erityisesti huomioon 70-luvulta nykypäivään saakka esiintyneet kosteusongelmat. Sisäilman laatuun liittyvät tapaukset uusissa kouluissa, päiväkodeissa ja toimistorakennuksissa, joissa on vuoden, kahden sisällä valmistumisesta havaittu sisäilman ongelmia, kummutta ja herättää kysymyksiä. Tuntuu siltä, että vaikka teknologia kehittyy, ei näitä ongelmia saada ratkottua. Toisaalta tiedetään, että ennen vanhaan käytetty rakennustapa oli tältä osin turvallisempaa, eikä sisäilmaongelmia syntynyt. Tuolloin otettiin paremmin huomioon rakennuksen hengittävät rakenteet.

Nykyiset rakennukset on rakennettu optimaalisesti, energiankulutusta minimoiden. Mielestäni tähän pitäisi soveltaa tietotekniikan tekoälyn sovelluksia siten, että niiden avulla voitaisiin hallita asuntojen ilmanvaihtoa tosiaikaisella, ennustavalla seurannalla ja lukuisilla antureilla, jotka analysoisivat rakenteita ja päästöjä. Näyttäisi siltä, että olemme tällä hetkellä jonkinlaisessa välivaiheessa, jossa uusi teknologia ei ole ehtinyt vielä kehittyä tukemaan tiiviitä rakennuksia. Näin ollen uusien talojen rakentamisessa pitäisi ymmärtää ehkä vielä harkita uuden tiiviin rakennusteknologian käyttämistä ennen, kuin asumiseen liittyvää uutta rakennusteknologiaa tukevaa teknologiaa on olemassa. Asumisturvallisuus ja laatu kulkee mielestäni käsi kädessä.

Luonnon huomioon ottaminen ja talonrakennus voi olla harhakuvitelmaa, mutta esimerkiksi betonin valmistus on haitallista ympäristölle, tuottaen runsaasti hiilidioksidipäästöjä, joka puolestaan edistää kasvihuoneilmiötä. Näin ollen betonitulostukseen perustuvan teknologian tulisi käyttää korvaavaa materiaalia. Betonin lisäaineeksi onkin jo löydetty aine, jonka avulla betoni ei tuotakaan enää suuria määriä hiilidioksidia. Ironista on, että myös ympäristöystävällisyys ja vanhat rakennustekniikat kulkevat käsi kädessä. Ennen vanhaan käytettiin kattomateriaalina sammalta suojaamaan ulkoilmalta ja seiniin laitettiin sahajauhoja, jotka toimivat eristeenä. Seinät tehtiin käsin veistetyistä puusta ja perustukset luonnonkivistä.

Onko siis niin, että raha ja tehokkuus on ohjannut meitä harhaan. Näkemykseni on, että teknologia ei ole kehittynyt vielä tarpeeksi ollakseen ympäristöystävällistä. Olisiko kuitenkin parempi palata tutkimaan luonnon materiaaleja ja soveltaa huipputeknologiaa yhdessä niiden kanssa?

6.1 Oman oppimisen arviointi

Rakennusala ja siellä käytettävät perinteiset toteutustavat ja -tekniikat ovat tuttuja minulle entuudestaan. Opinnäytetyöni aiheen valinta oli minulle helppoa, koska rakentaminen on harrastukseni ja tietotekniikka työtäni. Laaja ja pitkä tietotekniikan alan kokemukseni yhdistettynä rakennusalaan tuotti lopulta tämän aiheen valinnan.

Opinnäytetyön tekeminen on kehittänyt kirjallisen tuottamiseni tarkkuutta. Mietin sanavalintoja, lauserakenteita ja käsitteitä huomattavasti tarkemmin kuin aikaisemmin. Suhtaudun myös eri lähteisiin kriittisemmin. Lähteiden merkitseminen dokumenttiin on nyt paljon selvempää. Tutkimus käsitteenä on tuttu ja uskon kykeneväni tulevaisuudessa tuottamaan

yhä parempilaatuisia tutkimuksia jatko-opinnoissani. Myös tiedon tuottaminen ja organisoitkyky on kehittynyt edelleen parempaan suuntaan. Lisäksi kirjoittamisen pitkäjänteisyys ja toistuvat läpiluvut ovat kehittäneet omaa kriittisyyttäni asioihin, joita olen aikaisemmissa kirjoittamisvaiheissa kirjoittanut. Olen myös huomannut miten kirjoittamisen tarkkuus ja laatu kehittyy toistuvien iteraatioiden myötä.

Tiedon etsiminen eri lähteistä ja keskustelu alan eri asiantuntijoiden kanssa, on kasvattanut tietouttani rakennusalalla vallitsevasta tietotekniikan käytön hyödyntämisen tasosta sekä suunnitteilla olevien kehityshankkeiden suunnasta. Mallinnus sinänsä on minulle tuttua mutta rakennusalalle kehitelty BIM-mallinnus oli minulle täysin uusia asia. Myös robotiikan kehityksen taso rakennusalalla on nyt minulle paljon selvempi ja se mitkä ovat kehityksen keskeisimmät tutkimusalueet ja haasteellisimmat tekniset esteet tällä hetkellä.

Kriittisyys myös rakennusalalla tapahtuvaan kehityksen suuntaan on muuttunut tämän opinnäytetyön tekemisen aikana. Tutustuessani rakentamiseen liittyviin uusiin teknologioihin ja trendeihin, kyseenalaistan, onko kehityksen suunta varmasti oikea ja ettei teknologian kehitys ja robotiikan yleistyminen johda rakennusalan kehitystä hätäiseen teknologian ennenaikaiseen käyttöön, ennen kuin se on kattavasti testattu ja todettu turvalliseksi.

Lähteet

- Autodesk. 2019. Getting started with G-code. Luettavissa: <https://www.autodesk.com/industry/manufacturing/resources/manufacturing-engineer/g-code>. Luettu: 16.3.2019.
- BIMTalk. 2016. Levels of BIM maturity. Luettavissa: https://bimtalk.co.uk/bim_glossary:level_of_maturity. Luettu: 31.3.2019.
- Bliot. 2018. Tekoäly-tekniologiapaketti. Luettavissa: <https://bliot.io/teknologiat/tekoaly-tekniologiapaketti/>. Luettu: 17.3.2019.
- Buildingsmart. Summary of IFC releases. Luettavissa: <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-releases>. Luettu: 31.3.2019.
- Collin, P. 2019. Auttaako robocopin asu raskaissa kiinteistöissä? Luettavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-10595068>. Luettu: 3.3.2019.
- Congrit. Luettavissa: <https://www.congrid.fi/>. Luettu: 23.3.2019.
- Cramo. 2018. Tekoälyteknologiaa hyödyntävä tuotannon ohjausjärjestelmä digitalisoi rakennustyömaat – Cramo ja suomalainen Bliot yhteistyöhön. Luettavissa: <https://www.epressi.com/tiedotteet/rakentaminen/tekoalyteknologiaa-hyodyntava-tuotannon-ohjausjarjestelma-digitalisoi-rakennustyomaat-cramo-ja-suomalainen-bliot-yhteistyohon.html>. Luettu: 17.3.2019.
- Eloinaja, J. 11.1.2019. Aluemyyntipäällikkö. Wienerberger Oy Ab. Haastattelu. Helsinki.
- ETH Zurich 2017. Building with robots and 3D printers. Luettavissa: <https://www.ethz.ch/en/news-and-events/eth-news/news/2017/06/building-with-robots.html>. Luettu: 9.1.2018.
- Firat, E.C. 25.2.2019. Global Program Manager. Trimble Inc. Haastattelu. Helsinki.
- Farooq, H., Rahnamayiezekavat, P. & Moon, S. 2017. While loop Algorithm to Enhance the Efficiency of Work Sampling Method in Performance Measurement. Luettavissa: <http://www.iaarc.org/publications/fulltext/ISARC2017-Paper001.pdf>. Luettu: 21.1.2018.
- HANSELMAN, D. & LITTLEFIELD, B. C. 1997. Mastering MATLAB 5: A comprehensive tutorial and reference, Prentice Hall PTR.
- Heejae A., Dongmin L., Seongsoo L., Taehoon K., Hunhee C. & Kuyng-In K. 2018. Application of machine learning technology for construction site. Luettavissa: <http://www.iaarc.org/publications/fulltext/ISARC2018-Paper032.pdf>. Luettu: 24.3.2019.
- Hilti Oy. Luettavissa: <https://www.hilti.fi/content/hilti/E1/Fl/fi/services/tool-services/on-track.html>. Luettu: 23.3.2019.
- Huusko, M. 2018. Suurin este rakentamisen robotisaatiolle on ihminen. Luettavissa: <https://www.rakennuslehti.fi/2017/10/suurin-este-rakentamisen-robotisaatiolle-on-ihminen/>. Luettu 23.3.2018.
- I.A.A.R.C. International association for automation and robotics in construction. Luettavissa: <http://www.iaarc.org/>. Luettu: 18.1.2019.
- Kastelli 2018. Luettavissa: <https://osta.kastelli.fi/>. Luettu: 23.3.2018.

- Kinnunen, J. Project Tripla. Luettavissa: <https://www.symetri.fi/umbraco/Surface/Download/File/6977>. Luettu: 17.2.2019.
- Klemetilä, K. 16.2.2019. Työnjohtaja. FH-Rakennus Oy. Haastattelu. Kouvola.
- Krause, M., Otto, J., Bulgakov, A. & Sayfeddine, D. 2018. Strategick optimization of 3D concrete printing using the method of CONPrint3D. Luettavissa: <https://www.iaarc.org/publications/fulltext/ISARC2018-Paper006.pdf>. Luettu: 9.2.2019.
- Laakso, S. 2019. Taloelementtien 3D-tulostus oli kaikkien huulilla, kun imatralainen Fimatec sai tuotekehittelyyn miljoonarahoituksen — Sitten hiljeni, sillä elementtituotantokauppoja ei syntynytäkään. Luettavissa: <https://uutisvuoksi.fi/uutiset/lahella/eff3ad77-b6b8-42a5-bdbb-4ef124b61fb1>. Luettu: 24.2.2019.
- NBS National BIM library. Luettavissa: <https://www.nationalbimlibrary.com/en/about-bim-objects/>. Luettu: 20.1.2019.
- Pietkiewicz I. 2012. A practical guide to using Interpretative Phenomenological Analysis in qualitative research psychology. Luettavissa: <https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=53c8b90acf57d7ce4b8b45a2&asset-Key=AS%3A273565755084817%401442234566451>. Luettu: 29.3.2019.
- SAM100. Luettavissa: <https://www.construction-robotics.com/sam100/>. Luettu: 23.3.2019.
- Seppänen, R. 2017. Sam-robotti muuraa 3000 tiiliskiveä päivässä. Luettavissa: <https://www.rakennuslehti.fi/2017/10/sam-robotti-muuraa-3000-tiiliskivea-paivassa/>. Luettu: 24.2.2019.
- Solibri. Luettavissa: <https://www.solibri.com/fi/>. Luettu: 23.3.2019.
- Stumm, S., Neu, P. & Brell-Cokcan, S. 2017. Towards cloud informed robotics. Luettavissa: <http://www.iaarc.org/publications/fulltext/ISARC2017-Paper008.pdf>. Luettu: 21.1.2018.
- Su, Y., Isaac S. & Lucko, G. 2018. Visualization of Integrated Model of Construction Projects. Luettavissa: <https://www.iaarc.org/publications/fulltext/ISARC2018-Paper009.pdf>. Luettu: 26.1.2019.
- Teizer, J., Weber, J., König, J., Ochner, B. & König, M. 2018. Real-time Positioning via LoRa for Construction Site Logistics. Luettavissa: <https://www.iaarc.org/publications/fulltext/ISARC2018-Paper003.pdf>. Luettu: 20.1.2019.
- Tekla. Mitä on BIM? Luettavissa: <https://www.tekla.com/fi/tietoa-meist%C3%A4/mit%C3%A4-bim>. Luettu: 16.3.2019.
- The B1M. 9 construction tech trends to watch in 2019. Luettavissa: https://www.youtube.com/watch?v=BkRsA_v5oY4. Luettu: 24.2.2019.
- Tompuri, V. 2019. ICons kehitti paikannusteknologiaa ja selvitti työmaiden hukkaa. Rakennuslehti, 53, 5, 17.
- Trimble. Luettavissa: <https://www.trimble.com/Industries/Construction/index.aspx>. Luettu: 29.3.2019.
- Tylko. Luettavissa: <https://tylko.com/>. Luettu: 23.3.2018.

Twin A. 2019. Delphi method. Luettavissa: <https://www.investopedia.com/terms/d/delphi-method.asp>. Luettu: 29.3.2019.

Törmänen, E. 2018. Antureita, droneja, kypäräkameroita – Cramo alkaa kerätä dataa rakennustyömailla: "Kuvatunnistus löytää ilman kypärää olevat työntekijät". Luettavissa: <https://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/rakennus/antureita-droneja-kyparakameroita-cramo-alkaa-kerata-dataa-rakennustyomailla-kuvatunnistus-loytaa-ilman-kyparaa-olevat-tyotekijat-6752551>. Luettu 17.3.2019.

360 Pipelife. Pipelife BIM-objektit. Luettavissa: <https://360.pipelife.com/360/fi-fi/>. Luettu: 2.3.2019.

Liitteet

Liite 1. Haastattelussa käytetyt kysymykset

1. Mitkä ovat talonrakennusprojektien/-prosessin keskeisimmät kehitysalueet tällä hetkellä rakentamisen tehokkuuden, laadun ja aikataulujen suhteen. Mitä muuta?
Which are the major development areas currently, when thinking about the efficiency of the house building, quality and project timelines? Anything else?
2. Mitkä talon rakentamisen prosessin tehtävä(t) nähdään kriittisimmäksi kokonaisprojektin laadun kannalta, joiden tehostamisella ja parantamisella voisi olla suuri vaikutus?
Which house building process tasks are the most critical when thinking the quality of the whole building project, where changes would make the biggest impact?
3. Mitkä tehtävät näkisitte sellaisiksi, joiden automatisoinnista olisi eniten hyötyä, jos teknologialle ei aseteta rajoitusta? Hyöty voi olla esimerkiksi taloudellista tai laadullista.
Which tasks in house building would make biggest impact if they could be automated, if there would be no limits with the technology? The impact could be for example financial or quality.
4. Mitkä tehtävät näkisitte sellaisiksi, joiden automatisoinnilla ei ole mitään hyötyä tai hyöty on marginaalinen eikä näin ollen sen kehittämiseen kannattaisi panostaa?
Are there tasks in the house building processes that would make no difference even if they would be automated?
5. Mitkä talon rakentamisen alueet ovat kehittyneet voimakkaimmin viime vuosina, niin, että muutoksia on selvästi näkyvissä?
Which are the areas in house building that has progressed the most during the past few years?
6. Jos teille tarjottaisiin rakentajarobotti, joka kykenisi rakentamaan itsenäisesti taloja piirustusten mukaan, olisitteko valmiita ostamaan sellaisen? Mikä tuollaisen laitteen hinta voisi olla?
If you would get any building robot that could build houses using the architectural papers, would you buy it? What is the maximum price you could spend to it?
7. Millä osa-alueilla IT-järjestelmiä käytetään tällä hetkellä teidän yrityksessänne?
What are the typical areas in the house building industry where the IT is mostly used at the moment?
8. Millaisia kokemuksia teillä on IT-järjestelmien käytöstä? Onko asenteet muuttuneet järjestelmien puolesta vai vastaan?
What kind of experience do you have from IT-system usage from your past in your industry? Has the attitude changed against or with lately?