



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Harri Heinonen

Robottiikan hyödyntäminen rakennus- tuotannossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari (AMK)

Rakennusalan työnjohto

Mestarityö

23.4.2019

Tekijä Otsikko	Harri Heinonen Robotiikan hyödyntäminen rakennustuotannossa
Sivumäärä Aika	40 sivua + 1 liite 23.4.2019
Tutkinto	Rakennusmestari (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennusalan työnjohto
Ammatillinen pääaine	Talonrakennustekniikka
Ohjaajat	Lehtori Anu Ilander Työpäällikkö Kimmo Kärkkäinen
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli tuottaa lähdeaineistotutkimuksena ja käytännöntyönä suomenkielinen selvitys robotiikan hyödyntämisestä rakennustuotannossa. Työn toimeksiantaja on NCC Suomi Oy ja käytännön työ on suoritettu osana NCC:n talonrakennustyömaan siivousrobottiprojektia.</p> <p>Työ toteutettiin tutkielmana ja käytetyt menetelmät olivat: lähdeaineistotutkimus, haastattelut, sekä käytännön tutkimusprojektina työkohteessa. Lähdeaineistona käytettiin pääasiassa englanninkielistä aineistoa, koska aihetta koskevaa aineistoa ei ole toistaiseksi julkaistu suomenkielellä. Tutkimuksessa käytettiin myös teollisuuden robotiikkaa koskevaa aineistoa ja sitä on reflektoitu sopivissa osin rakennustuotantoon.</p> <p>Tutkielma antaa kuvan robotiikan hyödyntämisessä rakennustuotannossa, aihealueina se käsittelee käyttöönoton edellytyksiä ja ongelmia. Tämän lisäksi tutkittiin vaikutuksia rakennustuotantoon, niin tuotannollisista, kuin taloudellisistakin näkökulmista. Tutkielma ottaa myös huomioon robotiikan käyttöönoton myötä muuttuvan työympäristön. Tämän lisäksi raportoitiin käytännön esiesimerkki robotiikan implementoinnista eli käyttöönotosta osaksi rakennustuotantoa.</p> <p>Tutkimuksen perusteella robotiikan käyttöönotto rakennustuotannossa on mahdollista, sekä teknisistä että taloudellisista näkökulmista tarkasteltuna. Tärkeä huomio tutkimuksessa on myös ympäristön vaatimukset käyttöönottoa ajatellen, sekä miten rakennustuotantoa pitäisi muuttaa, että robottien käyttö olisi mahdollisimman tehokasta.</p>	
Avainsanat	robotiikka, automaatio, tehokkuus, kustannussäästö

Author Title	Harri Heinonen Utilizing Robotics in Constructions Industry
Number of Pages Date	40 pages + 1 appendix 23 April 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Program	Construction Site Management
Professional Major	Building Construction
Supervisor(s)	Anu Ilander, Lecturer Kimmo Kärkkäinen, Construction Manager
<p>The purpose of this thesis was to produce a report on how to utilize robotics in the construction industry. This study was commissioned by NCC Suomi Oy, and the practical parts of the thesis were related to a construction site robot vacuuming project.</p> <p>The methods used in this study were studying and assessing available source material, interviews and practical work with the robot vacuum development project. As parts of the used source material concern common industrial automation, the most relevant information for the needs of the construction industry has been used in this paper.</p> <p>This thesis is a handbook on how to utilize robotics in building construction. The following topics are processed and explained throughout the study. What are the requirements and blockades for utilizing robots in the building construction and how the use of the robots would affect the industry?</p> <p>The focus of this thesis was to study these subjects from the construction and economical perspective. The second goal of the thesis was to present on how you need to change the working environment to be more suitable for construction robots. The study also gives you a real-life example of how to implement a robot to be a part of building production.</p> <p>The results of the study show that it is possible to use and utilize robots as part of the building construction. The current technology is developed enough to handle the dynamics of a construction site. Finally, the most valuable discovery of the study was related to the innovation from a robot-oriented design on future sites.</p>	
Keywords	robotics, automation, efficiency, costs reduction

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Johdanto rakentamisen robotiikkaan	2
2.1	Robotiikan historia rakennustuotannossa	2
2.2	Rakennusalan robotiikan sovelluksia	3
2.3	Rakennusala robotiikan kannalta	4
3	Robotiikan käyttöönotto	5
3.1	Käyttökohteen valinta	5
3.2	Laitteiston valinta	6
3.3	Käyttöliittymä ja rajapinnat	9
3.4	Yritysten välinen yhteistyö	11
3.5	Käyttöönoton esteet	13
4	Vaikutukset rakennustuotantoon	15
4.1	Tuotannolliset vaikutukset	15
4.2	Taloudelliset vaikutukset	18
4.3	Vaikutukset työelämän kannalta	23
5	Työmaan siivousrobotti	25
5.1	Kehitystyö	25
5.2	Laitteisto ja tekniset ratkaisut	27
5.3	Koeajot	29
5.4	Tulokset ja yhteenveto	33
6	Yhteenveto robotiikan tulevaisuudesta rakennustuotannossa	36
	Lähteet	39
	Liitteet	
	Liite 1. Haastattelukysymykset	

Lyhenteet

3D TOF	Kolmiulotteinen Time Of Flight kuvantamisjärjestelmä, perustuu etäisyyden mittaukseen valonnopeuden ja takaisinheijastuman perusteella.
Aktuaattori	Lineaarisen liikkeen mahdollistava komponentti.
API	<i>Application programming interface</i> eli ohjelmointirajapinta.
Boolean arvo	Binäärinen arvo tiedon käsittelyyn tosi/epätosi
Diskonttaus	Kassavirran arvon korjaaminen vastaamaan toisiaan eri ajanhetkillä.
Downtime	Aika, jolloin robotti ei ole käytössä tuottavassa työssä.
LiDAR	<i>Light Detection and Ranging</i> , optinen tutka.
Reaalikorko	Reaalikorko = nimelliskorko – inflaatio
SLAM	<i>Simultaneously Localization And Mapping</i> , eli samanaikainen paikannus- ja kartoitusjärjestelmä.
Suoritin	Tietokoneen laskentatoiminnan suorittava komponentti.
STRC	<i>Single Task Construction Robot</i> , yhteen työtehtävään suunniteltu robotti.

1 Johdanto

Talonrakennustuotannon kehittyminen on ollut tasaista, mutta hidasta viimeiset vuosikymmenet. Alalla ei ole nähty suurempia teknisiä innovaatiota ja uusia teknologioita ei olla hyödynnetty tuotannon tehostamisessa samanlaisessa mittakaavassa kuin muussa teollisuudessa. Työn tarkoituksena on koota yhteen ja tulkita saatavilla olevaa lähdeainestoa rakennustyön automatisoinnista. Tavoitteena oli tutkia mahdollisuuksia ja esteitä robotiikan käyttöönotossa rakennustuotannossa. Tämä on tutkimusalana uusi, ei ainoastaan Suomessa vaan myös muualla maailmassa. Aiheesta on tehty useita tutkimuksia Japanissa vuosina 1970-2000, mutta sen jälkeen uutta materiaalia ei olla juurikaan julkaistu. Teknologia on kehittynyt niin suorittimien nopeuksissa, kuin myös tekoälyn ja koneoppimisen saralla. Näiden kehittyneiden teknologioiden mahdollisuuksia ei ole tutkittu rakennustuotannon näkökulmasta. Uusien teknologioiden avulla voidaan hallita paremmin vaihtelevia muuttujia, joita rakennustyömaalla esiintyy.

Käytännön esimerkkinä tässä työssä toimii NCC Suomi Oy:n työmaan siivousrobotiprojekti, joka alkoi keväällä 2018 ja saatiin päätökseen huhtikuussa 2019. Projektissa tutkittiin siivoustyön automatisoinnin mahdollisuutta autonomisen rakennustyömaalle suunnitellun imurirobotin avulla. Projektissa kehitettiin autonominen imurirobotti, jota koeajettiin todellisessa työskentely-ympäristössä Murata Electronicsin tehdaslaajennustyömaalla Vantaan Martinlaaksossa.

Opinnäytetyötä tehdessä havaittiin, että myös ympäristön tulee muuttua robotiikan käyttöönoton yhteydessä. Robotteja on mahdollista käyttää jo nyt pienissä määrin osana rakennustyötä, mutta laajamittaisemman käyttöönoton edellytyksenä on suunnitella rakennustyömaa roboteille sopivaksi. Tutkimuksen yksi tavoitteista oli tunnistaa käyttöönottoon ja käyttöön liittyviä tekijöitä. Tämä toteutettiin yhdistelemällä kirjallisten lähteiden teoriaa ja käytännön tutkimustyön havaintoja laajemmaksi kokonaisuudeksi. Saatujen havaintojen perusteella työssä esitellään konkreettisia toimenpiteitä, joilla talonrakennustyömaan automatisoinnista voidaan saada mahdollisimman paljon hyötyä, niin tuotannollisesti kuin taloudellisestikin. Osana tätä laajempaa kokonaisuutta on myös vaikutukset työelämään, joita on arvioitu saatavilla olevan tilastotiedon avulla.

2 Johdanto rakentamisen robotiikkaan

2.1 Robotiikan historia rakennustuotannossa

Rakennustuotannon automatisoinnin voidaan katsoa alkaneeksi 1970-luvun lopussa, kun Japanissa onnistuttiin rakentamaan ensimmäinen suuren kokoluokan asuinrakennus esivalmistetuilla rakennusosilla. Automaatio suoritettiin siis tehtaassa, jossa esivalmistettiin rakennusosat ja työmaalla pelkästään koottiin rakennus valmiista osista. [1, s. 1.] Tämän jälkeen alettiin pohtia, että voiko esivalmistustuotannon siirtää tehtaasta työmaalle. Työmaalla toimineet ensimmäisen sukupolven rakennusrobotit suunniteltiin suorittamaan ainoastaan yhtä tehtävää perinteisiä töitä tekevien työntekijöiden rinnalla. Nopeasti kuitenkin havaittiin tämän kaltaisten puhtaasti STCR-ratkaisuiden (*Single Task Construction Robot*) ongelmia. Ongelmat liittyivät työvaiheiden limityksiin, koska laite oli suunniteltu vain yhtä tehtävää silmällä pitäen, ei sitä voinut hyödyntää muissa työvaiheeseen liittyvissä tehtävissä. Laitteiden siirrot ja ohjelmointi oli kallista, sekä erikoisosamista vaativaa työtä. Tämän lisäksi laitteiden käyttöturvallisuuteen piti kiinnittää huomiota, koska laitteiden lähellä työskenteli paljon ihmisiä. Näiden edellä mainittujen syiden takia laitteen tuottamat hyödyt jäivät usein hyvin pieniksi tai jopa negatiivisiksi tuotannollistaloudellisesti tarkasteltuna. [1, s. 1.]

Työvaiheiden väliseen integraatioon ja laitteiden modulaarisuuteen alettiin kiinnittää tarkempaa huomiota 1980-luvun puolivälin jälkeen. Laitteisiin alettiin lisäämään mahdollisuuksia käyttää muita järjestelmiä osana robottia, tämä tarkoitti sitä, että laite kykeni suorittamaan pienimuotoisia tehtäviä myös oman päätehtävänsä ulkopuolelta. Samaan aikaan alettiin myös ajatella laajemmin vaatimuksista, joita robottien käyttö työmaalla edellytti. Tämä johti robottipainotteisen suunnittelun käyttöönottamiseen työmailla. Ensimmäiset tällä idealla suunnittelut robotit ja työmaat otettiin käyttöön Japanissa 1990-luvun alkupuolella. [1, s. 2.]

Teknologian ja erityisesti tietotekniikan kehityksen myötä, kehitettiin 1990-luvulla Japanissa useita erilaisia konsepteja rakennustuotannon automatisointiin. Robotit kehittyivät koko ajan enemmän avustaviin suuntautuneiksi ja tämä osaltaan vaikutti ajatukseen, että koko työmaata ei tarvitse muuttaa robottien ehdoilla toimivaksi tehtaaksi. 2000-luvulle

tultaessa myös muut maat Japanin lisäksi ovat alkaneet tutkia robottien mahdollisuuksia rakennustuotannon automatisoimisessa. [1, s. 2.]

2.2 Rakennusalan robotiikan sovelluksia

Suurin osa rakennustuotantoa palvelevista roboteista on vielä prototyyppiasteella. Kapaleessa esitellään lupaavimmilta vaikuttavista konsepteista autonomisista rakennusroboteista ja tuotannon automaatioista. Tekijänoikeudellisista syistä ei ole mahdollista esittää kuvia havainnollistamaan näitä konsepteja.

Työmaiden valvontatoimintaan on kehitetty Irma3D-robotti, joka liikkuu työmaalla ja havainnoi ympäristöään millimetrin tarkasti. Irma3D:n on kehittänyt Würzburgin Yliopisto. Robotti käyttää havaintojensa tekemiseen 3D-laserskanneria, lämpökameraa, sekä Canon 1000D -järjestelmäkameraa. Robotin kehittäneet tutkijat uskovat, että robotin käyttö vähentää työmaan valvontaan ja raportointiin käytettävää aikaa 75%. [1, s. 15.] Mittaus-toimintaa varten on kehitetty drone-lennokissa toimiva robotti. Laitteen on kehittänyt saksalainen Ascending Technologies. Laitteeseen on mahdollista liittää erilaisia kameroita tai mittausensoreita. Laitteella on tarkoitus esimerkiksi kuvantaa maastonmuotoja ja rakennuksien sijainteja infrarakentamisen tarpeisiin. Tällä hetkellä tutkitaan mahdollisuutta ottaa vastaavanlaisissa drone-lennokeissa käyttöön scan-to-bim-toiminto, jolla voisi tulevaisuudessa tehdä rakennuksesta tai muusta vastaavasta kohteesta BIM tietomallin, pelkästään kuvaamalla se. [1, s. 19, s. 23.]

Isojen kohteiden raudoittamista varten on Japanilainen Kajima Corporation kehittänyt raudoitusrobotin. Raudoitusrobotin käyttötarkoitus on avustaa työntekijöitä raskaiden harjaterästen käsittelyssä ja paikalleen asentamisessa. Robotti pystyy käsittelemään useita eri kokoisia harjateräksiä ja edes yli 40 mm halkaisijaltaan olevat teräkset eivät tuota laitteelle ongelmia. Laitteessa on myös työnaikaisten terästen varastointi mahdollisuus, jonka kapasiteetti tangon koosta riippuen on n. 20 kpl. Laitteella kestää yhden tangon asentaminen paikalleen keskimäärin yhden minuutin verran. [1, s. 40.]

Tokimec-niminen yritys on kehittänyt betonilattioiden hiertoa varten robotin. Robotti muistuttaa ulkonäöllisesti paljon normaaleita isoja hiertokoneita ja sen toimintaperiaate on samankaltainen. Robottia on mahdollista ohjata manuaalisesti, mutta se

toimii myös täysin autonomisesti. Autonomisuus lisää sen tehokkuutta, koska työntekijän ei tarvitse olla läsnä robotin työskennellessä. Robotti on myöskin suhteellisen kevyt ja laitteen rakenne mahdollistaa sen käytön aloittamisen nopeammin valun jälkeen verrattuna perinteiseen hiertokoneeseen. Keveys helpottaa myös laitteen siirtämistä uudelle mestalle, esimerkiksi kerroksien välillä. [1, s. 96.]

Shimizu Corporation on kehittänyt työmaalogistiikkaa automatisoivan robotin. Robotti on ulkonäöltään lähellä isoja pumppukärryjä ja siinä onkin samanlaiset haarukat kuin trukissa. Laitteen kuljetuskapasiteetti on 1300 kg ja se saa virtansa akuista. Kun laitteen akut ovat tyhjentyneissä, se kykenee ajamaan laturiyksikköön itsenäisesti. Laite toimii täysin automaattisesti etukäteen ohjelmoitujen reittien avulla ja se on mahdollista myös integroida toimimaan työmaan hissijärjestelmän kanssa. [1, s. 113.]

Kipsilevyjen asennusta varten on Komatsu Ltd. kehittänyt työntekijää avustavan robotin. Robotti on toteutettu liikkuvalla alustalla ja se on suhteellisen kevytrakenteinen. Laitteen päätetyökalussa on alipainetarrain, jonka avulla se pitelee kipsilevyä halutussa sijainnissa. Työntekijän on laitteen keveyden takia mahdollista liikuttaa sitä oikealle paikalle. Työntekijän on myös mahdollista säätää oikea voima laitteelle. Tämä robotti ei ole autonominen, mutta se antaa hyvän esimerkin avustavista roboteista. [1, s. 216.]

Autonomista työmaan siivousrobottia käsitellään tarkemmin luvussa 5. Se on kokonaan Suomessa kehitetty robottipölynimuri, joka kykenee liikkumaan ja navigoimaan rakennustyömailla SLAM-järjestelmänsä avulla.

2.3 Rakennusala robotiikan kannalta

Rakennusalaa on pidetty pitkään hankalana alueena automatisoinnin, sekä robotiikan kannalta. Kuten aiemmin historiaosiossa kerroin, on rakennusalan robotiikkaa ryhdytty tutkimaan Japanin ulkopuolella ensimmäisen kerran vasta 2000-luvulla. Syynä tähän on ollut, että aiemmin saatavilla ollut tekniikka ei yksinkertaisesti olisi pystynyt hallitsemaan rakennustyömaan muuttuvaa ympäristöä siten, että robotti olisi kyennyt siellä toimimaan. Toinen haaste rakennusalalla on ollut, että suurin osa ammattityöntekijöiden tehtävistä on pitkälti käsityötä, joka sisältää muuttujia, joihin vain ihminen voi löytää ratkaisun. Esimerkkinä voidaan käyttää kysymystä, että koska maalipinta on riittävän hyvä?

Rakentamisen yleisissä laatuvaatimuksissa sanotaan, että maalaustyönlaatu arvostellaan silmämääräisesti [2, s. 429]. Miten tämänkaltaisen asia opetettaisiin robotille, joka toimii Boolean arvojen mukaan? Robotille on helppo opettaa vastaus kysymykseen, joka on arvoltaan joko tosi tai epätosi. Vasta hiljattain on saatu tutkimustuloksia tekoälystä ja koneoppimisesta, joilla edellä mainitun kaltaisia ongelmia voidaan ratkaista. Aika rupeaa olemaan kypsä saatavilla olevan teknologian suhteen siten, että rakennustuotannon automatisointi on mahdollista.

3 Robotiikan käyttöönotto

3.1 Käyttökohteen valinta

Robotin käyttökohteeksi ei voida valita mitä tahansa työvaihetta tai tehtävää. Yhteinen nimittäjä käyttökohteen sopivuudelle on toistuvuus, sekä työtehtävän, että työvaiheen pitää toistua riittävän usein. [1, s. 4.] Rakennustyömaalla se tarkoittaa, että työtehtäviltään ja ominaisuuksiltaan yhteneviä mesteja on riittävä määrä. Esimerkkinä tällaisesta mestasta voidaan käyttää lattiavaluja, kipsilevyasennuksia tai työmaan siivousta ja logistiikkaa. Työtehtävän toistuvuus liittyy ohjelmoinnin tarpeen vähentämiseen, jos työtehtävät ovat keskenään samankaltaisia. Samankaltaiset tehtävät voidaan kaikki suorittaa yhdellä ohjelmoinnilla, mikä osaltaan lisää robotin tuottavaa ajankäyttöä. Jos työtehtävä vaihtuu useasti, joudutaan robottia ohjelmoimaan uudestaan samalla syklillä. Aika joka ohjelmointiin kuluu ei robotinkäytön näkökulmasta tuota arvoa, vaan päinvastoin lisää ns. downtime-aikaa, jolloin robotti ei suorita tehtäväänsä.

Koska robotiikkaan liittyvät laitehankinnat ovat usein kalliita, pyritään hankintahintaa tuottamaan takaisin kasvatetulla tuotantovolyymilla. Rakennustyössä tuotantovolyymien kasvattaminen työmaakohtaisesti perustuu siihen, että neliöitä tuotetaan nopeammin ja halvemmalla kuin perinteisiä työmenetelmiä käyttäen. Eli mitä useamman tunnin robotti työskentelee vuorokaudessa ja vuodessa, sitä edullisemmaksi sen käyttö suhteessa tulee. [3, s. 26.]

Käyttökohteen valintaan vaikuttaa myös olennaisesti kohteen olosuhteet, koska robotti pitää suunnitella ja ohjelmoida erikseen eri olosuhteeseen. Toisin sanoen olosuhteiden pitää olla toistuvia ja myös muuten robotille suotuisat esimerkiksi: pölyisyyden,

lämpötilan, sekä kosteuden suhteen. Poikkeukselliset olosuhteet voivat helposti aiheuttaa sen, että robotin käyttö ei enää ole kannattavaa. [3, s. 26.]

Toistuvuuden ja olosuhteiden lisäksi käyttökohteen valintaan vaikuttaa työtehtävän yksinkertaisuus. Tämä vaikuttaa suoraan myös robotin vaatiman ohjelmoinnin monimutkaisuuteen, ohjelmoinnin onnistumisen ja mukautuvuuden kannalta yksinkertainen tehtävä on helpompi toteuttaa. Tehtävän yksinkertaisuus vaikuttaa myös robotin rakenteeseen, koska niihin tehtäviin valmistettavissa roboteissa päätetyökaluja ei tarvita useita erilaisia. [3, s. 25.] Yksinkertaisissa tehtävissä robottia on myös helpompi siirtää työmaalta toiselle, koska työtehtävät eivät eroa eri työmailla toisistaan. Näin ollen robottia on mahdollista hyödyntää useissa kohteissa ja robotin downtime-aika vähenee.

Edellä mainittujen käyttökohteiden valintaan vaikuttavien tekijöiden lisäksi on hyvä huomioida myös laitteiden saatavuus. Laitteiden saatavuudella tarkoitetaan, että markkinoilla on jo olemassa kyseiseen käyttökohteeseen suunniteltu robotti. Valmiin ratkaisun höytyinä on olemassa olevat tuki- ja huoltopalvelut, sekä osaavan ammattihenkilöstön saatavuus.

3.2 Laitteiston valinta

Robotin käyttökohde ja työtehtävä vaikuttaa ratkaisevasti minkälainen laitteisto kannattaa kehittää. Tällä hetkellä rakennusalan robotit ovat lähtökohtaisesti niin kutsuttuja STCR-laitteita, eli yhtä työtehtävää varten suunniteltuja rakennusrobotteja. [1, s. 8.] Toisen laitteiston valintaan vaikuttava tekijä on hinta. Työtä ei kannata suorittaa robotilla, jos laitteiston hankinta ja käyttökustannukset ovat suuremmat, kuin kustannukset perinteisillä menetelmillä työskenneltäessä (luku 4.2).

Ensimmäinen asia laitteiston valinnassa on päättää, toteutetaanko laite alustaperusteisesti vai puhtaana STCR-ratkaisuna. Näiden kahden tavan merkittävin ero on, että alustaperusteista laitetta voi sopivilla muutoksilla käyttää useassa eri työtehtävässä, kun taas STCR-laitetta voidaan käyttää vain nimenomaisesti sen suunnitellussa tehtävässä. [1, s. 8.] Näiden kahden ratkaisun välimaastosta löytyy myös hybridiratkaisuja, esimerkiksi; työmaan siivousrobotti, joka on toteutettu alustaperusteisesti suorittamaan vain yhtä työtehtävää. Tässä tapauksessa alustaan on integroitu imuriyksikkö, joka mahdollistaa

alustan käytön siivoustehtävässä. Alustaan olisi kuitenkin mahdollista integroida muunkinlainen työkalu tai tarvike. Tämä tosin vaatisi myös käyttöliittymän ja laitteen ohjelmistokoodin muokkaamista uudelle työtehtävälle sopivaksi. Edellä mainittu esimerkki osoittaa, että toteutustapojen välillä erot voivat olla hyvinkin häilyviä.

Toteutustavan valintaan vaikuttaa laitteen käyttöpaikka, eri ratkaisulla on selkeitä vaihtoehtoja käyttöpaikan suhteen [1, s. 8.] Esimerkiksi julkisivulla toimiva robotti voi olla helpoin ja halvin toteuttaa STCR-ratkaisuna, koska mestana julkisivu on melko stabiili ja työtehtävät helposti ennalta määriteltävissä. Jos taas käyttöpaikkana on rakennustyömaa yleisesti, on alustaperusteinen lähestymistapa kannattavampi, kuten esimerkiksi työmaan logistiikkaan suunnitellulla sovelluksella. Tämä johtuu siitä, että alusta voidaan valmistaa palvelemaan logistiikkatehtäviä ja alustaan on helppo rakentaa modulaarinen sovellus, joka mahdollistaa robotin muuntautumiskyvyn eri logistiikkatehtäviin. Kipsilevyt vaativat omanlaisensa telineen samoin kuin IV-kanavat. Alustalla ja modulaarisilla komponenteilla mahdollistetaan saman alustan käyttö useassa samankaltaisessa, mutta ominaisuuksiltaan eroavissa tehtävissä. Verrattuna STCR-ratkaisuun, tässä tapauksessa alustaratkaisu on kannattavampi, koska samankaltaisiin tehtäviin ei tarvitse hankkia useampaa erilaista robottia.

Toteutustavan valinnan jälkeen suunnitellaan robotin peruseriaatteen toiminta, joka vaikuttaa ratkaisevasti laitteen hintaan. Mitä enemmän laitteen manipulaattorissa on aktuaattoreita, sitä kalliimpi laite tulee olemaan [1, s. 13]. Manipulaattorissa, eli robotin työkalua liikuttavassa osassa, liikkeen toteuttamiseen vaadittavat komponentit voidaan jakaa karkeasti linkkeihin ja niveliin [1, s. 10]. Linkkien ja nivelien määrä on suoraan verrannollinen laitteen hintaan. Manipulaattoreita valmistavien yritysten, kuten ABB:n verkkosivuilta löytyy kuvia erilaisista manipulaattoreista. Toisaalta kaikissa roboteissa ei välttämättä ole manipulaattoria, esimerkiksi em. logistiikkarobotti ei välttämättä tarvitse sitä toimiakseen. Logistiikkarobotti kuitenkin vaatii tarkempia sensoreita liikkuakseen ja navigoidakseen työmaalla. Sensorien valinta perustuu laitteen perustoiminnan vaatimuksiin. Mitä monipuolisemmat ja tarkemmat sensorit robotti vaatii toimiakseen, sitä kalliimmaksi laitteen hinta muodostuu. Sensorien valinnalle asetettavia vaatimuksia ovat mm. parametrit, joita halutaan havainnoida (etäisyys, liike, lämpö jne.) ja näiltä parametreiltä vaadittu tarkkuus ja sensorien sijainti (laitekohtainen vai ulkoinen) [1, s. 8].

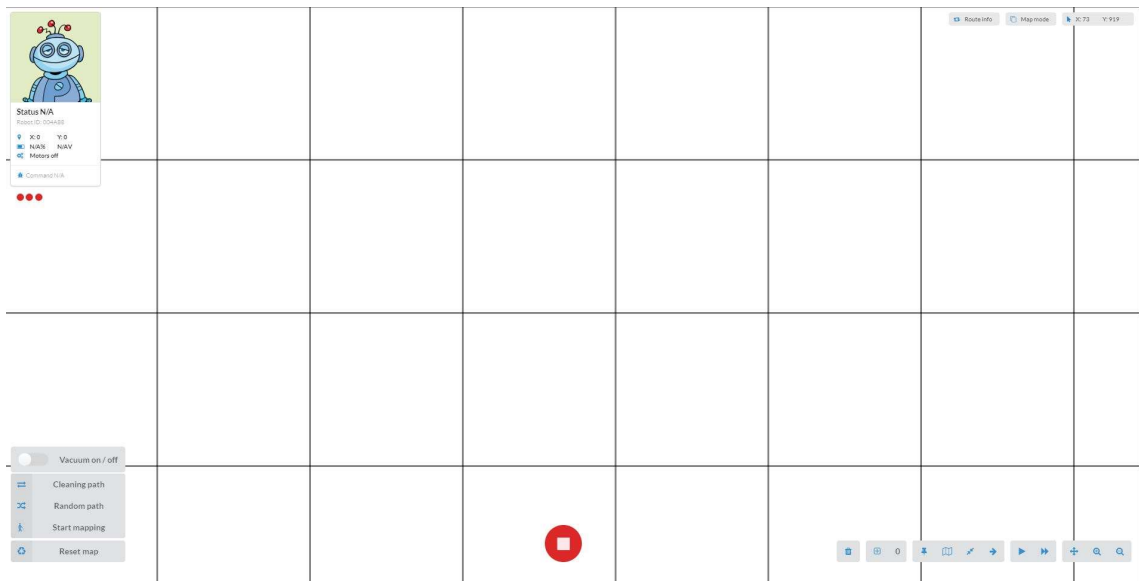
Robotin tärkein osa on päätetyökalu (*End-effector*), eli osa, joka suorittaa robotille annettun konkreettisen tehtävän [1, s. 8]. Päätetyökalun valinta määräytyy luonnollisesti robotin tehtävän mukaan, mutta laitteiston hinnan kannalta on syytä miettiä, onko päätetyökalun liitettä mahdollista standardisoida. Standardisointi mahdollistaa saman robotilaitteiston käyttämisen usealla eri päätetyökalulla, riippuen siitä mitä robotilla kulloinkin tehdään. Standardisointi mahdollistaisi eri valmistajien tuotteiden käytön ristiin eri laitteissa, tällöin jokaiselle toimenpiteelle ei tarvitse hankkia omaa laitetta. Standardisoinnin avulla päästäisiin eroon STRC:n perusongelmasta, eli laitteen toimimisesta vain tietyssä tehtävässä. [1, s. 13.] Standardisoinnista liittyvyyden suhteen esimerkkinä voidaan pitää porakoneiden ja poravaroiden SDS-liitettä, joka mahdollistaa poranterien ja talttojen liittämisen eri koneisiin valmistajasta riippumatta.

Laitteistoa suunnitellessa kannattaa aina pohtia onko markkinoilta jo saatavilla valmiita ratkaisuja. Esimerkiksi työmaan siivousrobottia suunniteltaessa oli jo lähtökohtaisesti selvää, että imuriosaa ei lähdetä suunnittelemaan uudestaan, koska markkinoilta löytyy jo teollisuussiivoukseen tarkoitettuja laitteita. Käytettäessä jo olemassa olevia ratkaisuja säästetään kehitystyössä sekä aikaa, että rahaa. Olemassa olevia ratkaisuja joutuu usein muokkaamaan sopivammaksi uuteen ratkaisuun. Siivousrobotin imuriosaa esimerkiksi muokattiin toimimaan tasavirralla, sekä suodattimeen rakennettiin ravistelutoiminto. Nämä muutokset olivat edullisia, sekä helposti toteutettavissa, verrattuna siihen, että koko imuriosa olisi suunniteltu ja valmistettu alusta loppuun itse.

Robotin laitteistovalinnassa on syytä myös kiinnittää huomiota työmaan valmiuksiin robotityöskentelyä varten. Robotin kannalta tämä tarkoittaa sen sijoittamiseen tai liikkumiseen vaikuttavia olosuhteita. Robotin liikkuminen voi esimerkiksi vaatia raiteet/kiskot tai rakenteellisia tukipisteitä. Mikäli työmaalle ei ole suunniteltu esimerkiksi raiteiden tai kiskojen asentamista mahdollistavaa rakennetta, ei siellä voida myöskään käyttää tätä toimiakseen vaativaa laitteistoa. [1, s. 8, s. 13.] Toimintaympäristö pitää huomioida laitteistovalinnassa, siten, että valitun robotin on mahdollista toteuttaa tehtävänsä siellä. Valitusta ratkaisusta riippuen tämä vaikuttaa esimerkiksi robotin voimansiirtoon laitteesta maahan. Muita vaikuttavia tekijöitä on mm. liikkumisesta aiheutuvat jäljet pintoihin ja pintojen kaltevuus, sekä tasaisuus. Siivousrobotin osalta tämä tarkoitti, että rengasratkaisun tuli olla sellainen, että se ei vahingoita valmiita lattiapintoja, mutta kykenee samanaikaisesti toimimaan myös epätasaisilla pinnoilla.

3.3 Käyttöliittymä ja rajapinnat

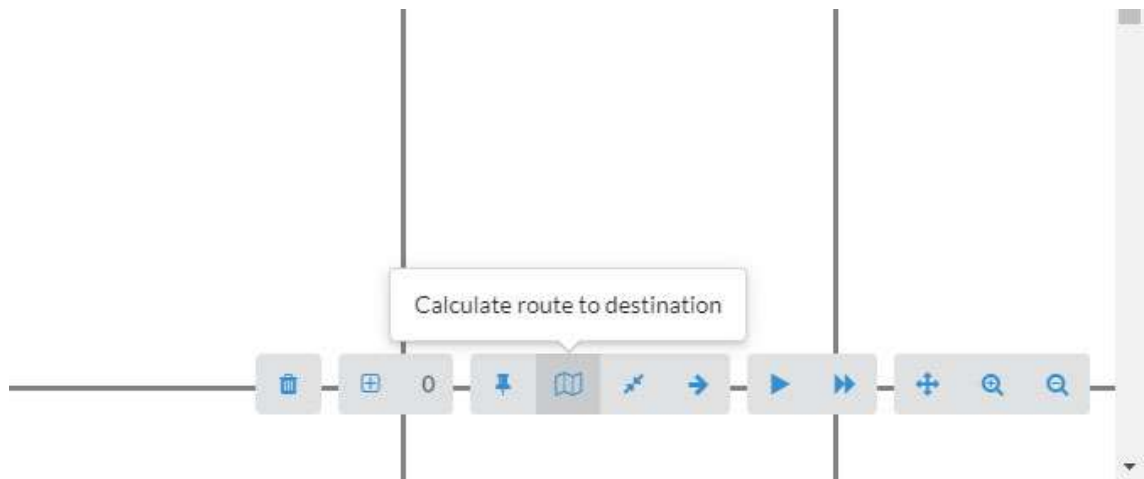
Robottien käytössä käyttöliittymällä ohjataan robotin toimintaa. Teknisesti ottaen robotin ohjaaminen on mahdollista myös ilman sitä. Se ei kuitenkaan monessakaan tapauksessa ole käytännöllistä, koska käyttäjällä pitäisi olla täysi ymmärrys robotin toimintaperiaatteista, sekä kielestä, jolla robotti on ohjelmoitu. Käyttöliittymän voidaankin ajatella olevan eräänlainen tulkki robotin ja käyttäjän välisessä kommunikoinnissa. [5.] Työmaan siivousrobotissa sillä (kuvassa 1) määritetään esimerkiksi siivousalue, mahdolliset kielletyt alueet ja ajetaan robottia manuaalisesti. Ohjaamisen lisäksi käyttöliittymä välittää käyttäjälle tärkeitä tietoja laitteen toiminnasta. Tällaisia tärkeitä tietoja ovat esimerkiksi laitteen sen hetkinen tehtävä, akun varaustila, moottorien kytkeytyminen päälle ja pois, sekä mahdolliset vikailmoitukset. Sen avulla toteutetaan myös vuorovaikutteinen toiminta käyttäjän ja laitteen välillä. Siivousrobotin käyttöliittymä lisää karttaan merkinnät missä alueilla robotti on imuroinut. Robottia käyttävä henkilö, tässä tapauksessa siivoaja, pystyy siis näkemään, missä robotti on jo siivonnut ja näin keskittämään omat resurssinsa siivoamattomiin paikkoihin.



Kuva 1. Robotti-imurin käyttöliittymä [Harri Heinonen].

Loppukäyttäjää ajatellen käyttöliittymä on laitteiston tärkein osa-alue, koska se muodostaa kuvan laitteen yleisestä toimivuudesta. Sen suunnittelussa tulee huomioida erityisesti loppukäyttäjän profiili, insinöörille ja siivoojalle ei esimerkiksi tule suunnitella

samankaltaista käyttöliittymää, koska voidaan olettaa, että heidän tarpeensa ja käyttötottumukset ovat erilaisia. Tästä syystä suunnittelussa tulisi kiinnittää huomiota käyttäjäystävälliseen suunnitteluun ja loogiseen toteutukseen. [5.] Esimerkiksi siivousrobotin käyttöliittymässä navigointi on tehty mahdollisimman helpoksi. Kaikki toiminnot on sijoitettu etusivulle, eikä siitä löydy yhtäkään pudotusvalikkoa. Käyttöä on lisäksi helpotettu lisäämällä painikkeisiin interaktiiviset selitykset niiden toiminnasta, jotka tulevat esille, kun osoittimen siirtää painikkeen päälle. Tämä toiminto on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Painikkeen interaktiivinen info [Harri Heinonen].

Käyttöliittymää suunniteltaessa tulee alkuvaiheessa päättää, mikä on se pääsääntöinen alusta sen käyttämiselle. Käyttöliittymän voi toteuttaa joko tietylle alustalle suunniteltuna sovelluksena, tällainen alusta voi olla esimerkiksi Windows tai macOS -tietokone, tai vaikkapa android-tabletti. Tämän ratkaisun hyvinä puolina voidaan pitää vakaata toimintaa alustalla, johon käyttöliittymä on suunniteltu käytettäväksi. Huonoja puolia on esimerkiksi alustakohtaisuus, android-tabletille suunniteltua sovellusta ei suoraan voida käyttää esimerkiksi Windows käyttöjärjestelmällä varustetussa tietokoneessa.

Toinen vaihtoehto, jolla alustariippuvaisuus ratkaistaan, on suunnitella käyttöliittymä web-pohjaisena. Tämä tarkoittaa sitä, että periaatteessa se toimii kaikilla laitteilla, joilla on käytettävissä internetiselain. Web-pohjaisen toteutuksen hyviä puolia on sen helppo käyttöönotto millä tahansa laitteella riippumatta käyttöjärjestelmästä. Huonoja puolia on, että sovelluksen toimivuutta ei kuitenkaan voida 100 % taata kaikilla laitteilla ja selaimilla. [5.] Työmaan siivousrobotissa käyttöliittymä päätettiin toteuttaa web-pohjaisena, jotta käyttöliittymän asentaminen eri toimijoiden laitteille olisi tulevaisuudessa mahdollista.

Toteutuksessa rajapinnat eli API:t mahdollistavat laitteen tai sovelluksen ohjaamisen käyttöliittymän avulla. Ohjelmointirajapintojen tarkoitus on mahdollistaa robotin ja käyttöliittymän vaihtaa tietoja keskenään, eli kommunikoida. Erilaisten ohjelmointirajapintojen avulla laitteeseen on myös mahdollista liittää muitakin palveluita ja erilaisia käyttöliittymiä, kuin pelkästään laitteen ohjaamiseen tarkoitetut. Näitä muita palveluita voi olla esimerkiksi datan keräämiseen ja käsittelyyn tarkoitetut tietokanta ohjelmistot. [5.]

Ratkaisun tuottamisen toteuttaa usein ulkopuolinen yritys, tilaajalla on kuitenkin mahdollisuus osallistua sen suunnitteluun. Toteuttajan ja tilaajan keskinäisen vuorovaikutuksen onnistuminen takaa yleisesti ottaen, että käyttöliittymä vastaa loppukäyttäjän tarpeita niin visuaalisuudeltaan, toiminnallisuudeltaan ja käytettävyydeltään. [5.] Rakennusyrityksellä ei siis tarvitse välttämättä olla omaa osaamista sen tuottamisesta, mutta ilman rakennusyrityksen tietotaitoa loppukäyttäjän vaatimuksista on ohjelmistoyrityksen lähes mahdollonta luoda tilaajalle sopiva ratkaisu.

3.4 Yritysten välinen yhteistyö

Kun 1970-luvun loppupuolella Japanissa aloitettiin kokeellisesti testaamaan ensimmäisiä rakennustuotantoon soveltuvia robotteja, oli Japanin kauppa ja teollisuusministeriö perustanut työryhmän pelkästään tätä varten. Työryhmään oli kutsuttu mukaan edustajia kaikista aikansa merkittävistä japanilaisista rakennusyhtiöistä. [1, s. 2.] Työryhmää johdettiin yliopistovetoisesti Professori Yukio Hasegawan toimesta. Työryhmä toteutti ja kokeili useita erilaisia ratkaisuja rakennustyömaiden automatisointiin ja samalla alalle syntyi hetkeksi robottiboomi, joka synnytti paljon uusia innovaatioita. Työryhmän toimintaa rahoitettiin valtiollisesti, sekä mukana olevien yritysten toimesta. [1, s. 3.]

Yhteistyö eri yritysten välillä luo synergiaetuja, joita on esimerkiksi osaamisen jakaminen tai toisen yrityksen tilojen käyttäminen testaustoiminnassa. Eri alojen osaajien yhteistyöllä saadaan ratkaistua yleensä paremmin ongelmia. Yhteistyö on myös erinomainen tapa verkostoitua oman ammattialan ulkopuolelle. Erityisesti tilaajaa saa suurta hyötyä avoimesta yhteistyöstä eri yritysten välillä. Tilaajaan näkökulmasta hänelle toteutetaan räätälöity ratkaisu juuri hänen tarpeisiinsa. Toisaalta tuottavat osapuolet pääsevät todistamaan omaa osaamistaan ja saavat samalla uutta tietoa heille vieraasta ammattialasta. Tätä hankittua osaamista on helppo käyttää tulevaisuuden projekteissa referenssinä.

Tässä työssä esitelty siivousrobotiprojekti toteutettiin myös yhteistyössä eri yritysten välillä. Projektiryhmän laaja-alainen osaaminen mahdollisti tämän kaltaisen hankkeen toteuttamisen. Rakennusyhtiöllä ei itsellään olisi ollut osaamista toteuttaa robotiikan vaatimaa teknistä tuotantoa ja yhteistyön myötä Helsingin yliopiston tietojenkäsittelylaitos sai omalle tutkimukselleen työelämäperusteista tutkimusdataa. Eli projektiryhmän eri osapuolien osaaminen ja intressit otettiin huomioon. Kuvassa 3 on havainnollistettu yhteistyön lähtökohtia.



Kuva 3. Yhteistyön lähtökohdat [Aarni Heiskanen AE Partners, Harri Heinonen].

Rakennusyhtiöiden tulisi myös jatkossa miettiä yhteistyötä toistensa kanssa. Samanlainen malli, jolla Japanissa on toteutettu ratkaisuiden kehittämistä, voisi toimia myös Suomessa. Kun kehitystyötä tehdään yhdessä myös projektin mahdolliset riskit jakautuvat tasaisesti. Yhteistyön ansiosta myöskään projektille kohdistuvat henkilöstöresurssit eivät kasva yksittäiselle yritykselle liian suuriksi. Yhteistyön tuloksena saadaan luotua useamman yrityksen liiketoimintaa hyödyttävä ratkaisu. Yhteistyöstä pitää kuitenkin sopia aina tarkasti etukäteen projektisopimuksilla, jotta eri osapuolilla on selvillä heidän oikeutensa ja velvollisuudet. Tämä korostuu erityisesti projektin loppuvaiheessa, kun lopputuloksen käyttökelpoisuutta ja valmiusastetta arvioidaan.

3.5 Käyttöönoton esteet

Toisin kuin tehdasteollisuudessa, rakennustuotannossa on vasta hiljattain lähdetty miettimään tuotannon automatisointia. Tämä on seurausta teknologian kehittymisestä, uudella teknologialla on mahdollista hallita rakennustyömaan muuttuvaa ympäristöä. Teknologian uutuuden takia markkinoilla ei juurikaan ole saatavilla valmiita laitteistoja. Saatavilla olevat laitteistot ovat enemmän tai vähemmän prototyyppiasteella. Tästä esimerkiksi mm. Mateus Lemes de Aquiarin kehittämä muurausrobotti [1. s 72]. Robotista on rakennettu prototyyppin 1/4 pienoismalli. Prototyyppin avulla on todistettu konseptin toimivuus, mutta tuotteen kaupallistaminen on vielä kaukana tulevaisuudessa. Tämän kaltaisia konseptin toimivuuden todistavia prototyyppisiä esiintyi lähdeaineistossa useita. Jotta yritykset ottaisivat robotteja käyttöön, tulisi niitä olla saatavilla.

Toinen ongelma olemassa olevissa laitteistoissa on, että suuri osa niistä vaatii ihmistyöntekijän toimiakseen. Esimerkiksi edellä mainittu muurausrobotti tarvitsee ihmisen laataamaan tiiliä laitteeseen. Jos robotiikan tarkoituksena on saada vähennettyä ihmistyön tarvetta, ei laite, joka tarvitsee käytännössä katsoen saman verran työvoimaa, kuin perinteiset työmenetelmät, vastaa tällöin haluttuun tarpeeseen.

Edellä esitelty laitteiden saatavuusongelma luo myös toisenlaisen ongelman robotiikan käyttöönotolle. Koska laitteita ei yksinkertaisesti ole ollut saatavilla, ei niiden käyttämiseen ole voitu kouluttaa työvoimaa. Robottien käyttöönotto vaatii useissa tapauksissa syvällistä ymmärrystä laitteiston toiminasta, itse laitteen käyttö kuitenkin pyritään suunnittelemaan siten, että kuka tahansa pystyy käyttämään sitä lyhyen koulutuksen jälkeen. Esimerkiksi työmaan siivousrobotti on suunniteltu siten, että rakennussiivoja pystyy hyödyntämään sitä työssään ilman, että hänellä täytyisi olla erityisiä teknisiä valmiuksia. Syvällisen tuntemuksen tarpeellisuus tulee esille, kun laitetta aiotaan ottaa käyttöön tai sitä huolletaan. Laitteistojen teknisestä operoinnista vastaavilla henkilöillä tulisikin olla ammattitaitoa, niin rakentamisesta kuin robotiikasta ja ohjelmoinnistakin.

Työmaan siivousrobotiprojektissa tuli usein esille työmailla työskentelevien henkilöiden kielteiset asenteet robotiikkaa kohtaan. Nämä kielteiset asenteet johtuivat kuitenkin useasti puhtaasta tietämättömyydestä. Ennakoasenteina oli havaittavissa epäluuloisuutta uutta teknologiaa kohtaan ja myös pelkoa oman työpaikan puolesta. Havaitun kaltaiset ennakoasenteet uutta teknologiaa kohtaan niin työntekijöiden kuin toimihenkilöiden

osalta, eivät ainakaan helpota käyttöönottoa. Useasti kielteiset ennakoasenteet kääntyivät positiivisiksi, kun kuulijalle selvisi, mistä on kyse. Alalla toimivia henkilöitä on selvästi tarve valmistella uuden teknologian tuomien muutosten osalta. Työntekijöille on tärkeää antaa realistinen käsitys tulevasta muutoksesta.

Robottiikan suhteen puhutaan useasti ainoastaan sen hyvistä puolista ja negatiiviset asiat jätetään käsittelemättä kokonaan [4, s. 30]. Korostamalla ainoastaan hyviä puolia, johdetaan asiassa kohderyhmää harhaan. Tämä harhaanjohtaminen paljastuu kuitenkin ennen pitkään ja voi aiheuttaa suurtakin robotiikan vastustamista, joka voi viivästyttää teknologian käyttöönottoa. Robotiikan käyttöönoton yhteydessä olisikin tärkeää avata keskusteluyhteys myös työntekijöitä edustaviin ammattiyhdistyksiin. Tosin ammattiliittojen merkitys työelämän kannalta supistuu koko ajan [4, s. 74]. Muutos on paljon helpompi hyväksyä, jos sen vaikutuksista on keskusteltu jo etukäteen avoimesti.

Edellä mainittujen esteiden lisäksi käyttöönottoon vaikuttaa työmaiden kokonaisvaltainen valmiusaste robottien käyttöä ajatellen. Toimiakseen useimmat robotit edellyttävät työmaan infrastruktuurin soveltuvan robottien käyttöön. Infrastruktuurisia vaatimuksia voi olla mm. riittävä sähköistys, tilan tarve, rakenteisiin kiinnitettävien apulaitteiden käyttö ja työmaan yleisjärjestys. Nämä infrastruktuurille esitettävät vaatimukset pitää suunnitella etukäteen ja kaikkien työmaalla toimivien urakoitsijoiden tulee sitoutua ylläpitämään toimintaympäristö roboteille suotuisana.

Robottilaitteistojen hinnat ovat vielä tässä vaiheessa varsin korkeita. Työmaan siivousrobotti projektissa tehdyssä hintavertailussa selvisi, että markkinoilla olevat ammattikäyttöön suunnitellut robotti-imurit maksavat 40 – 50 000 €. Laitteistojen hinta vaikuttaa suoraan investoinnin kannattavuuteen. Kuten edellisessä kappaleessa mainitsin, täytyy myöskin työmaan infrastruktuuri useissa tapauksissa suunnitella ja toteuttaa eri tavalla. Tämä nostaa laiteinvestoinnin, sekä työmaan suunnittelun kustannuksia helposti tasolle, jolla investointi ei enää ole kannattava. Toisaalta kun uusi teknologia yleistyy myös hankintahinnat halventuvat vrt. tietotekniikan hintakehitys [6]. Koska hankintahinnat ovat vielä toistaiseksi korkeita, tulee robottien tekemä työ suunnitella erityisen hyvin, jotta laitteisto kykenee maksamaan itsensä takaisin verrattuna perinteisten työmenetelmien käyttöön.

Edellä mainitut hintaan ja saatavuuteen liittyvät esteet tulevat kuitenkin tulevaisuudessa poistumaan käytännössä itsestään, kun markkinoille tulee enemmän robotiikkaan keskittyneitä yrityksiä. Myös rakennusyhtiöiden oma-aloitteiset projektit tukevat kehityksen nopeutumista ja osaltaan murtavat negatiivisia ennakkoasenteita. Työmaan siivousrobotti projekti esimerkiksi lähti vastaamaan saatavuusongelmaan, mutta lisäsi samalla myös rakennusalan työntekijöiden osaamista robotiikan saralla.

4 Vaikutukset rakennustuotantoon

Robotiikan vaikutuksia rakennustuotantoon tarkastellaan tuotannon, talouden ja työelämän näkökulmasta. Rakennustuotannossa ei vielä tällä hetkellä hyödynnetä robotiikka siinä mittakaavassa, että vaikutuksia olisi mahdollista arvioida täysin tosielämäperusteisesti. Arvioinnin apuna on käytetty muilta teollisuudenaloilta löytyvää tietoa, jota on sopivissa määrin muokattu vastaamaan rakennusalan tarpeita.

4.1 Tuotannolliset vaikutukset

Rakennustuotannossa robotiikan voi nähdä yhtenä työkaluna muiden joukossa, helpottamassa työnsuorittamista. Robottien avulla voidaan esimerkiksi kasvattaa tuotantonopeutta tai suorittaa vaarallisia työtehtäviä. Robotit voivat myös avustaa työmaatoimihenkilöitä, esimerkiksi laadunvalvonnassa tai tietomallien päivityksessä. Toisaalta robottien tulo työmaalle vaikuttaa myöskin työmaan ja työn suunnitteluun, robottia varten on luotava toiminnan mahdollistava ympäristö.

Työturvallisuuden parantaminen on yksi isoimmista haasteista nykypäivän rakennustyömaalla. Uusia keinoja haetaan aktiivisesti ja työturvallisuutta seurataan viikoittain tehtävillä työturvallisuusmittauksilla. Työturvallisuutta pyritään usein parantamaan ottamalla käyttöön erilaisia apuvälineitä, kuten työpukkeja tai nostoergonomiaa parantavia laitteita. Robottien avulla työturvallisuutta voidaan parantaa kahdesta eri näkökulmasta: siirtämällä vaarallinen työ kokonaan robotin tehtäväksi tai käyttämällä robottia apuvälineenä vaaran poistamisessa [1, s. 89].

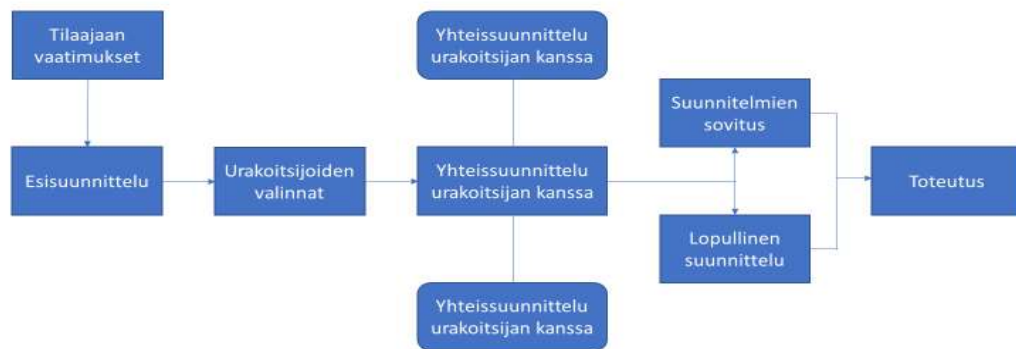
Robotin avulla voidaan suorittaa fyysisesti raskas osuus työstä ja samalla ennaltaehkäistä työntekijän vammautuminen esimerkiksi nostamista vaativissa töissä. Työ, joka aiheuttaa haitallisten aineiden pääsyä työskentelytilan ilmaan, kuten esimerkiksi hitsaus tai lattian hionta, voidaan suorittaa robotilla. Tällöin työntekijän ei tarvitse olla samassa tilassa haitallisten aineiden kanssa ja terveyttä vaarantavaa altistusta ei pääse syntymään. [1, s. 5, s. 40.] Robottien avulla tapahtuva työturvallisuuden parantuminen tulee yleensä synergiaetuna robottien käyttöönoton myötä. Työmaan siivousrobotin yksi tehtävä esimerkiksi on parantaa työmaan pölynhallintaa.

Yksinkertaiset työtehtävät voidaan yleensä opettaa robotille melko helposti. Yksinkertaisten työtehtävien suorittaminen robotilla on myös yleensä nopeampaa kuin ihmistyönä [1, s. 5]. Robotin käyttö esimerkiksi betonin levityksessä vähentää n. 30 % työvoimantarvetta [1, s. 82]. Tämä vapautunut työvoima voidaan siten resursoida muihin tehtäviin. Parantuneella tehokkuudella voidaan lyhentää rakentamisaikaa ja näin tuottaa kilpailuetua rakennusyritykselle. Tehokkuuden ohella robotti tuottaa yleensä tasalaatuisempaa ja mittatarkempaa jälkeä kuin ihminen. Esimerkiksi Fastbrick Roboticsin muurausrobotti asentaa jokaisen tiilen $\pm 0,5$ mm tarkkuudella [1, s. 75]. Useasti robottien käyttämät sensorit ovat monikertaisesti ihmisiilmää tarkempia ja inhimillisen virheen todennäköisyys pienenee.

Koska robotin työnjälki on tasalaatuista, helpottuu myöskin työn valvonta. Mikäli virheitä esiintyy, ne ovat todennäköisesti toistuvia. Toistuvien virheiden hallinta ja havainnointi on monesti helpompaa kuin satunnaisten virheiden. Tähän samaan aiheeseen liittyy myös valvonnan parantuminen. Robotilta on saatavissa yksityiskohtainen raportti sen toiminnasta, esimerkiksi jokaisen asennetun ruuvien sijaintitiedot. Tämän kaltaisen vuorovaikutuksen toimivuus ihmisen ja robotin välillä on yksi robotiikan hyödyntämisen kulmakivistä. Robotit voidaan useissa tapauksissa myös varustaa monenlaisilla sensoreilla, kuten LiDAR, lämpökamera, TOF-kuvantaja, kosteusmittari jne. Robottien keräämästä datasta saadaan käsittelyn jälkeen monenlaista tietoa itse rakennuksesta ja rakentamisen edistymisestä. [1, s. 14.] Robotti voi toimia myös apuvälineenä työnsuorittamisessa, esimerkiksi perässä kulkevana työkaluvaununa tai apukäsinä [1, s. 201].

Robottien avulla voidaan myös osa rakennusosien valmistuksesta suorittaa työmaalla. Työmaalla valmistettavia rakennusosia voi olla esimerkiksi raudoitukset. Raudoitusten valmistamiseen työmaalla on kehitetty oma robotti, jonka on valmistanut japanilainen

Taisei Corporation [1, s. 41]. Työmaalla tapahtuvan valmistamisen etuja on mm. osien nopea toimitus, sekä työmaalta helposti saatavilla olevat oikeat mitat tuotteelle. Robotin käyttö esimerkiksi raudoitusten valmistuksessa työmaalla mahdollistaa aikaisempaa suurempien tankokokojen taivuttamisen.



Kuva 4. Robotti perusteisen suunnittelun periaate [Harri Heinonen].

Suunnittelun merkitys korostuu, jos työmaalla otetaan käyttöön robotteja. Työmaan ja työsuunnittelusta robottien kannalta suotuisaksi käytetään termiä ROD (*Robot-Oriented Design*). [1, s. 1, s. 89.] ROD:n avulla pyritään luomaan puitteet, jossa robotin on mahdollista toimia. Käytännössä ROD vaikuttaa kaikkeen työmaan toimintaan ja se onkin tärkeä osa-alue robottien käytössä. Robottien käyttöönotto työmaalla lisää tarvetta etupainoiselle suunnittelulle. Esisuunnittelun jälkeen valitaan toteuttaja, jonka kanssa suunnitellaan mestan vaatimukset robotin käyttöä ajatellen. Vaatimukset voivat olla esimerkiksi väliaikaisten tukipisteiden rakentaminen tai ne voivat liittyä robotin asentamiseen ja siirtämiseen liittyvän logistiikan suunnitteluun [1, s. 89].

Koska eri toteuttajilla on käytössään erilaisia robotteja, joilla on käytön suhteen erilaisia vaatimuksia, on suunnittelu käytännössä pakko hoitaa yhdessä toteuttajan kanssa. Suunnittelun prosessi on havainnollistettu kuvassa 4. Suunnittelun etupainoisuus korostuu erityisesti, jos työmaalla on suunniteltu käytettävien robotteja useammassa työvaiheessa ja työssä. Robotteja varten pitää siis yhtä lailla suunnitella työjärjestyksiä, mestan vaatimuksia ja edeltävien, sekä seuraavien työvaiheiden vaatimuksia, kuin

ihmistyövoimallekin. ROD:sta löytyy tarkemmin tietoa kirjasta Cambridge Handbooks in Construction Robotics Volume 1: Robot-oriented Design and Management.

4.2 Taloudelliset vaikutukset

Rakennustuotannon automatisoinnin taloudellisia vaikutuksia on vielä tässä vaiheessa vaikeaa arvioida tarkasti, koska tämänkaltaiselle uudelle tuotantomuodolle ei ole kehitetty vakiintuneita arviointimenetelmiä. Tehdasteollisuuden automatisoinnille on kehitetty menetelmät arvioida automatisoinnin taloudellisia vaikutuksia. Näitä samoja menetelmiä voi käyttää myös rakennustuotannossa, mutta ne eivät välttämättä tuota tarkkaa arviota.

Robottiikan ja automatisoinnin taloudellisia vaikutuksia arvioidessa tarkastellaan kolmea tekijää: takaisinmaksuaikaa, investoinnin tuottoa, sekä nykyarvomenetelmää [3, s. 153].

Takaisinmaksuaikaa arvioidessa voidaan käyttää kaavaa (1) [3, s. 153].

$$P = \frac{I}{L-M} \quad (1)$$

- P = Takaisinmaksuaika (*Payback*)
- I = Kokonaisinvestointi robottiin ja lisälaitteisiin (*Total investment*)
- L = Vuosittaisten työvoimakustannusten säästö (*Annual labor savings*)
- M = Vuosittaiset huoltokustannukset (*Annual maintenance*)

Sijoitetun pääoman tuottoasteen laskemiseen voidaan käyttää kaavaa (2) [3, s. 154].

$$R = \frac{\text{Kassavirta Netto investointi}}{\text{Työvoimakustannusten säästö - Käyttökustannukset - Arvon alenema Nettoinvestointi}} \quad (2)$$

- R = Sijoitetun pääoman tuottoaste (*Return of investment*)

- Kassavirran arvot ovat vuosittaisia (*Annual*)

Tulevaisuuden tuottojen nykyarvon laskemisessa tulee huomioida, että osa muuttujista perustuu arvioon. Näitä arvioitavia muuttujia ovat esimerkiksi todelliset huoltokustannukset, sekä inflaation vaikutus. Lähdeaineistossa esiintyneessä kaavassa käytettiin diskonttauskerroinena (*Present Value Factor*) taulukkovakiota. Lähdeaineistossa käytetyn taulukkovakion alkuperää ei ollut mahdollista varmentaa ja arvo vaikutti liian suurelta. Tästä johtuen käytän diskonttauskerroimen laskemisessa yleisesti taloustieteessä hyväksyttyä kaavaa (3) [6].

$$PVF = \frac{1}{(1+r)^n} \quad (3)$$

- PVF = Diskonttauskerroin (*Present Value Factor*)
- r = Laskentakorko (*Rate of return*)
- n = Tarkastelujaksojen määrä (*Number of periods*)

Nykyarvomenetelmää käytettäessä tulee huomioitua rahanarvon muuttuminen ajanjaksolla. Perusajatuksena on, että raha on tänään kalliimpaa kuin tulevaisuudessa. Nettonykyarvon (4) avulla arvioidaan sijoituksen kannattavuutta. [3, s. 155, 7.]

$$NPV = -C_0 + \frac{C_1}{(1+r)} + \frac{C_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{C_T}{(1+r)^T} \quad (4)$$

- NPV = Nettonykyarvo (*Net Present Value*)
- C_0 = Investoitu rahamäärä (*Initial investment*)
- $C_{1...T}$ = Ajanjakson kassavirta (tulot – menot)
- r = Laskentakorko
- T = Ajanjaksot

Nettonykyarvon laskemisella saadaan aikaiseksi melko luotettava kuva mahdollisen investoinnin kannattavuudesta. Laskentakoron voi ajatella vertautuvan tavoiteltuun tuotto-prosenttiin tai yrityksen pääomastaan maksamaan reaalikorkoon. Toisaalta laskentakoron avulla voidaan tutkia esimerkiksi pelkästään inflaation vaikutusta sijoitetun pääoman tuottoon ajanjaksolla. Nettonykyarvosta tulee vähentää, nollannen vuoden negatiivinen tuotto, eli sijoitettu pääoma.

Taloudellisten vaikutusten arviointi on ensisijaisesti investoinnin kannattavuuden arviointia. Kannattavuuden arvioinnissa voidaan käyttää edellä mainittuja laskentatyökaluja. Kannattavuuden arvioinnin nyrkkisääntönä voidaan pitää, että sijoitetun pääoman pitää tuottaa käyttöaikanaan enemmän kuin investoinnin tulevaisuuteen diskontattu lähtöarvo. Eli tuottojen arvon pitää olla suhteessa suurempia kuin rahanarvon alenema ajanjaksolla. Seuraava esimerkkilaskelma pohjautuu työmaan siivousrobotin taloudellisten vaikutusten arviointiin. Laskennan lähtötiedot on esitetty taulukossa 1, jossa arvonaleneman keskiarvo on laskettu käyttämällä Verohallinnon ohjetta, jossa arvo alenee 25% vuosittain [9].

Taulukko 1. Laskennan lähtötiedot.

Kertainvestoinnit	
Robotti ja lisälaitteet	5 000,00 €
Vuosittaiset investoinnit	
Vuosittaiset huoltokustannukset	500,00 €
Vuosittaiset lisenssimaksut	500,00 €
Vuosittaiset henkilöstökulut	7 200,00 €
Arvonaleneman keskiarvo	672,32 €
Vuosittaiset säästöt	
Henkilöstökulut	20 000,00 €

Lähtötietojen avulla laskettu takaisinmaksuaika, sijoitetun pääoman tuottoaste, sekä nettonykyarvo.

Takaisinmaksuaika laskettuna kaavalla (1).

$$P = \frac{5000 \text{ €}}{20\,000 \text{ €} - 8872 \text{ €}} = 0,45 \text{ a}$$

Sijoitetun pääoman tuottoaste laskettuna kaavalla (2).

$$R = \frac{20\,000 \text{ €} - 10\,455 \text{ €} - 672 \text{ €}}{5000 \text{ €}} \times 100 \approx 223 \%$$

Nettonykyarvo laskettuna kaavalla (4), jossa laskentakorkona on käytetty reaalikorkoa ja investoinnin käyttöikäksi on arvioitu viisi vuotta.

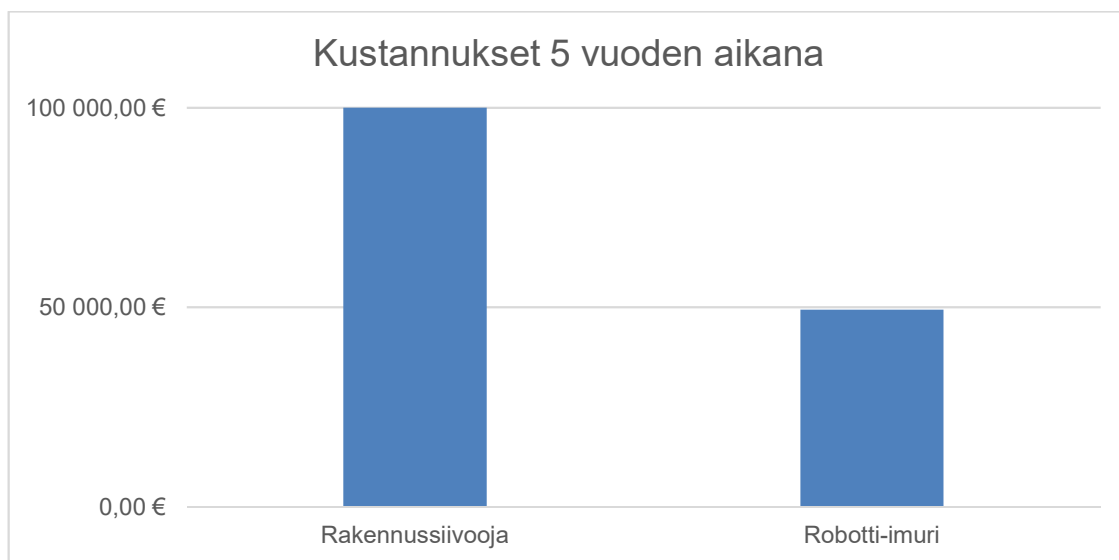
$$NPV = -5000 \text{ €} + \frac{11127 \text{ €}}{1+0,01} + \frac{11127 \text{ €}}{(1+0,01)^2} + \frac{11127 \text{ €}}{(1+0,01)^3} + \frac{11127 \text{ €}}{(1+0,01)^4} + \frac{11127 \text{ €}}{(1+0,01)^5} \approx 49\,200 \text{ €}$$

Laskennan tulokset taulukoidaan, jotta on mahdollista tehdä vertailuja eri investointi mahdollisuuksien välillä. Taulukossa 2 on esitetty keskeisimmät investoinnin kannattavuuden arvioinnissa käytetyt tekijät.

Taulukko 2. Kannattavuuslaskelman vertailuarvot

Nettoinvestoinnit	5 000,00 €
Keskiarvo vuosittaisesta kassavirrasta	11 127,68 €
Investoinnin käyttöikä vuosina	5
Käyttöiän kassavirta	55 638,40 €
Takaisinmaksu aika vuosina	0,45
Sijoitetun pääoman tuottoaste	222,55 %
Diskontattu nettonykyarvo	49 167,15 €

Tässä tapauksessa investointi osoittautuu erittäin kannattavaksi, koska laskemista selviää, että investoinnin käyttöön päätyttyä investointi on tuottanut yritykselle investoinnin arvon yli kymmenkertaisena takaisin. Laskelmassa on verrattu 1000 m² imuroimisesta aiheutuvia kustannuksia rakennussiivoojan ja imurirobotin välillä. Laskennan taustatietona mainittakoon, että rakennussiivoojalla kuluu 1000 m² imuroimiseen aikaa neljä tuntia, eli kustannussäästö henkilöstökuluissa on päivää kohden rakennussiivoojan neljän tunnin palkka. Laskelma osoittaa yksiselitteisesti, että robotiikan ja automaation käyttöönotto siivouksesimerkissä on kannattavaa. Kustannus välinen ero on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Kustannusero robotin ja perinteisen siivoojan välillä.

Taloudellisten vaikutusten arviointi on aina tapauskohtaista ja jokaiselle investointipäätökselle tulisikin laatia mahdollisimman paikkansapitävillä arvoilla kannattavuuslaskelmat. Uuteen palveluun, jonka tarkoituksena on tuottaa voittoa investoitaessa, voidaan tuotto-odotukseksi valita 15-20% [10]. Jos kannattavuuslaskelmat osoittavat, että investoinnilla saavutetaan vähintään valittu tuotto-odotus, on investointi kannattava. Esimerkiksi, jos siivousrobotin alkuinvestointi olisi 50 000 € ja arvioitu käyttöikä kymmenen vuotta, olisi sijoitus enää juuri ja juuri perusteltavissa, koska tuottoaste olisi 14,7 %. Toisin sanoen sijoituksen tuotto sen riskiin nähden on liian pieni.

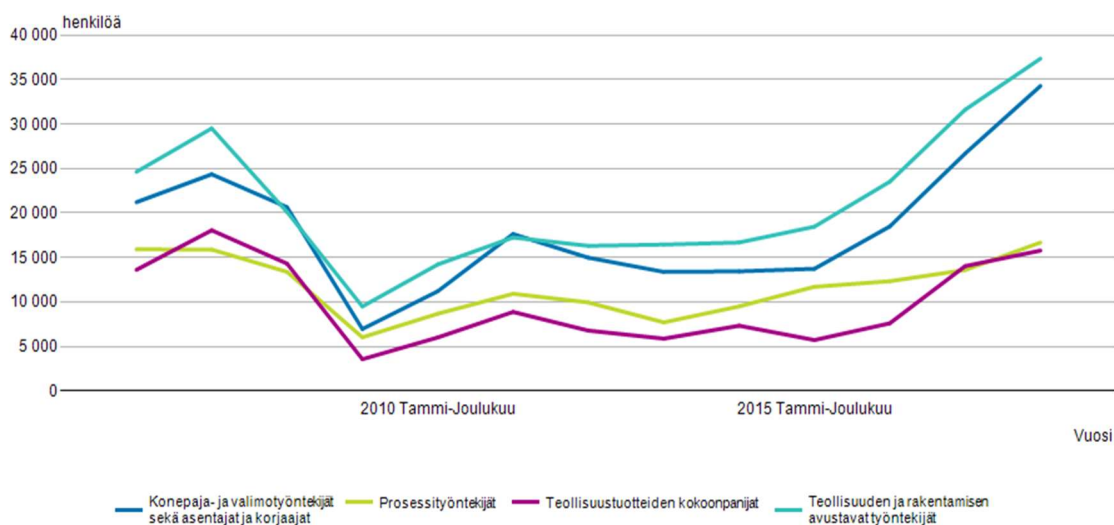
4.3 Vaikutukset työelämän kannalta

Robottien yleistyminen tulee muuttamaan myös rakennustuotantoa tulevaisuudessa, varsinkin yksinkertaisia työtehtäviä suorittavien työntekijöiden osalta. Juuri nämä yksinkertaiset työtehtävät ovat ensimmäisiä automatisoitavia kohteita. [5, s.20.] Rakennustuotannosta tulee tulevaisuudessa katoamaan työpaikkoja, esimerkiksi puhtaanapito ja työmaalogistiikka ovat helppoja automatisoinnin kohteita ja ratkaisuja niiden automatisointiin on jo kehitteillä.

Työpaikkojen väheneminen on tällä hetkellä kuitenkin kiistanalainen aihe. Yhdysvalloissa teollisuuden työpaikkoja on automaation ja robotiikan takia kadonnut jo 1970-luvun alusta alkaen [5, s.58]. Suomessa tällaista työpaikkojen katoa automatisaation ja robotiikan takia ei ole tapahtunut yhtä laajamittaisesti, toisaalta Suomen teollistuminen on alkanut vasta 1960-luvulla, eli paljon myöhemmin kuin Yhdysvalloissa [5, s.289].

Tilastokeskuksen mukaan teollisuustoimialojen avoimien työpaikkojen määrä on kasvanut lähes joka vuosi, vuoden 2009 talousromahdusta lukuun ottamatta [11]. Avoimien työpaikkojen määrä teollisuustoimialoilla Suomessa on esitetty kuvassa 6. Suurempi uhka suomalaisille teollisuuden työpaikoille on ollut tuotannon siirtäminen ulkomaille halvemman työvoiman perässä. Suomalaisten teollisuuden työpaikkojen kannalta automatisointi ja robotiikan käyttöönotto voi olla jopa parempi vaihtoehto, koska Suomalaisen teollisuuden on vaikea kilpailla työvoimakustannuksilla ulkomaista työvoimaa vastaan.

Avoimet työpaikat teollisuustoimialoilla



Lähde: Työ- ja elinkeinoministeriö, Työnvälitystilasto

Kuva 6. Avoimien työpaikkojen määrä vuosina 2006-2018 [11].

Automaation ja robotiikan avulla on mahdollista laskea tuotantokustannuksia kotimaassa ja näin ollen saada työvoimakustannuksissa menetetty kilpailuetu takaisin. Jos tuotantokustannuksia saadaan alennettua, ei suomalaisella yrityksellä ole enää tarvetta pitää tuotantoaan ulkomailla. Tämä johtaa tuotannon palautumiseen Suomeen, josta seuraa uusia työpaikkoja. [5, s.27.] Rakennustuotannossa tämä voi tarkoittaa kahta asiaa: rakentamista palveleva teollisuus, kuten terästeollisuus lisääntyy Suomessa ja työmailla tulee työskentelemään vähemmän ulkomaista työvoimaa. Ulkomaisen työvoiman käyttö vähentyy, koska heidän yleensä suorittamat yksinkertaiset työtehtävät automatisoidaan.

Perinteisten tarkkuutta vaativien käsitöiden, kuten kirvesmiehen tai rakennusmiehen töiden muuttuminen automatisoiduksi on kuitenkin hidasta. Tämä johtuu siitä, että työ vaatii äärimmäistä tarkkuutta ja loogisia päättelykykyjä, joita on todelle vaikeata opettaa robotille. Tällaisten perinteisten käsityöammattien rooli on tulevaisuudessa täydentää robotien tekemää työtä. [4, s. 21.] Koska tulevaisuudessa tullaan mitä todennäköisemmin työskentelemään automatisoidussa ympäristössä robottien kanssa, tulee myös koulutus väistämättä kokemaan muutoksia. Ammattikoulujen kuin korkeakoulujenkin on muokattava opintojansa vastaamaan teollisuuden tarpeita työvoimasta, jolle automaatio ja robotiikka on osa jokapäiväistä työtä. Perusopetuksessa on jo Suomessa

opetussuunnitelmaan otettu ohjelmointi yhdeksi oppiaineeksi, joka on myös robotiikassa keskeisessä osassa varsinkin algoritmien osalta. [12.]

Tuotannon arvo tulee kasvamaan robotiikan ja automatisoinnin myötä, mikäli rakennusala noudattaa muiden teollisuudenalojen trendejä. Tuotannon arvon kasvaessa olisi loogista ajatella, että yrityksen kasvavien voittojen myötä myös työntekijöiden palkat kasvaisivat samassa suhteessa. Yhdysvalloissa ja Isossa-Britanniassa näin ei kuitenkaan ole käynyt, vaan palkat ovat pysyneet samalla tasolla kuin 1970-luvun alun ensimmäisen automaatioaallon alkaessa, tuottavuuden arvon on kuitenkin kaksinkertaistunut. [4, s. 53.] Tilastokeskuksen mukaan Suomessa ei ole havaittavissa samankaltaista ilmiötä, vaan palkat ovat kehittyneet yhtäläisesti tuotannon arvon kanssa. Suomessa teollistuminen alkoi myöhemmin, kuin Yhdysvalloissa tai Isossa-Britanniassa, joten on hyvinkin mahdollista, että Suomessa tulee tapahtumaan samankaltaisia muutoksia tuottavuuden arvon ja palkkakehityksen suhteen. [4, s. 289.]

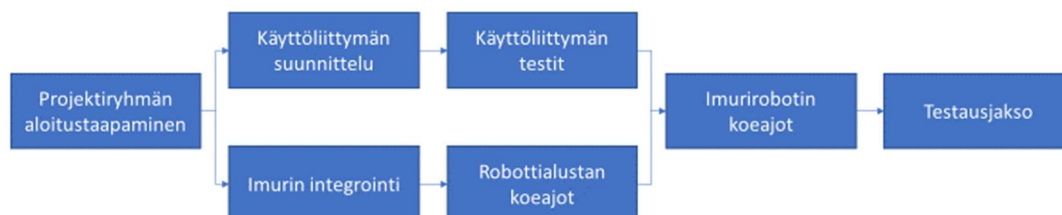
5 Työmaan siivousrobotti

5.1 Kehitystyö

Työmaan siivousrobotin kehitystyö alkoi keväällä 2018. Siivousrobotin projektiryhmään kuului NCC Suomi Oy, Pulurobotics Oy, Palmia Oy ja Helsingin yliopiston tietojenkäsittelylaitos. Kehitystyön lähtökohtana oli toteuttaa toimiva konsepti, jolla työmaan imurointityötä voidaan automatisoida. Rakennusliikkeen tehtävänä oli koordinoida projektiryhmän toimintaa, määrittää toteutettavan laitteen vaatimukset ja järjestää sopivat olosuhteet laitteen testaamiselle. Kehitystyön näkökulmasta oli kriittisen tärkeää, että projektiryhmä on sitoutunut ja ammattitaitoista. Projektin eteneminen on esitetty kuvassa 7.

Kehitystyön ensimmäisessä vaiheessa määritettiin laitteiston ja ohjelmistojen vaatimukset. Käyttötapausmääritysten avulla tilaaja kertoo toteuttajille, mitä laitteen ja ohjelmiston tulee kyetä suorittamaan. Määritysten laatiminen on tärkeä osa kehitysprojektia ja niiden luomiseen kannattaa paneutua kunnolla, sekä ottaa koko projektiryhmä mukaan. Yleistä on myös, että näitä sovelletaan myös projektin loppuvaiheessa, kun todetaan, onko laite tai ohjelmisto tilatun mukainen. Viimeistään tässä vaiheessa huonosti valmistellut käyttötapausmääritykset tuottavat tilaajalle ongelmia, kun laite tai ohjelmisto ei vastaakaan

alkuperäisesti suunniteltua. Siivousrobotin osalta otettiin kantaa mm. robotin etenemis-
kykyyn, tietoliikenneyhteyksiin, käyttöliittymän toteutustapaan sekä määriteltiin tavan-
omainen tehtävä, joka laitteella suoritetaan.



Kuva 7. Robotti-imuriprojektin eteneminen [Harri Heinonen].

Käyttötapausmääritysten hyväksymisen jälkeen alkaa varsinainen kehitystyö. Tämä kehitystyö pohjautuu käyttötapauksiin, josta laitteen tulee suoriutua. Tässä projektissa tilaaja ei varsinaisesti määritellyt, miten osakokonaisuudet tulee teknisesti toteuttaa. Pääpaino oli tehtävän suorittamisen onnistumisissa. Kehitystyön edistymistä seurattiin viikotiedotteiden avulla, joita projektiryhmän osapuolet toimittivat tilaajalle.

Koeajoja laitteelle järjestettiin noin kerran kuukaudessa. Koeajoissa todettiin laitteen valmiusaste ja jatkokehitystarpeet, jotka pitää korjata ennen seuraavaa koeajoa. Koeajotilanteessa edettiin käyttötapausmäärittelyn mukaisessa järjestyksessä, todeten aina yhden osakokonaisuuden toimivuus tai toimimattomuus. Esille tulleet puutteet kirjattiin ylös ja jokaiselle osapuolelle annettiin ns. kotiläksyt, jotka tulee olla tehtynä ennen seuraavaa koeajopäivää.

Koko kehitystyön tärkeimmäksi osaksi muodostui yhteydenpito projektiryhmän jäsenten välillä. Koeajot ja niiden yhteydessä pidetyt palaverit varmistivat, että osapuolet olivat

koko projektin ajan tasalla omista tehtävistään ja siitä, että laitetta kehitetään oikeaan suuntaan. Ilman yhteydenpitoa olisi voinut helposti käydä siten että, esimerkiksi laitteisto ja sitä ohjaava käyttöliittymä eivät olisi toimineet keskenään, tai että laite ei pystyisi teknisten ominaisuuksien puuttumisen vuoksi suorittamaan sille tilaajan kannalta tärkeää toimenpidettä.

Rakennusliikkeen kannalta tämänkaltaiseen kehitysohjelmaan osallistuminen vaatii perehtymistä tietoteknisen alan standardeihin, sopimusehtoihin ja termistöihin. On erityisen tärkeää varmistaa, että laite tulee valmistuessaan täyttämään mm. konedirektiivin ja CE-sertifioinnin vaatimukset käyttöturvallisuuden osalta. Ilman vaadittavia dokumentteja käyttöturvallisuudesta laitetta ei voida luovuttaa kolmannen osapuolen käyttöön esimerkiksi kaupallistamisen yhteydessä. Kuten rakennusalalla, myös IT-alalla on omat yleiset sopimusehdot, jotka määrittelevät palveluiden ja laitteiden toimituksia. Erona rakennusalan YSE:en on, että IT-alan YSE on huomattavasti suppeampi sisällöltään ja näin ollen jättää tulkinnanvaraa sopimuksen sisältöihin. On erittäin suositeltavaa tutustua kattavasti IT-alan sopimusehtoihin ja käytänteisiin itse, tai konsultoida alaa tuntevaa lakimiestä.

Kehitystyö herättää usein myös median kiinnostumisen aiheesta. Siivousrobotiprojektista tehtiin yhteensä neljä artikkelia, esimerkiksi Rakennuslehti 10/2019. Median kanssa toimiessa kannattaa hyödyntää oman yrityksen viestinnästä vastaavaa henkilöstöä. Heillä on useimmiten enemmän osaamista ja kontakteja hoitaa mediasuhteita yritystä hyödyttävällä tavalla. Median edustajille kannattaa järjestää demotilaisuuksia, joissa kerrotaan laitteesta ja sen kehitystyöstä, sekä tehdään toiminnallinen esitys laitteen ominaisuuksista. Demotilaisuuksiin tulee valmistautua hyvin ja esiteltävän asian toiminta on syytä varmistaa etukäteen. Toisaalta on myös hyvä pohtia projektiryhmän kesken, mitä toiminnallisuuksia ei vielä kannata esitellä, esimerkiksi niiden osittaisen toimimattomuuden tai salassa pidettävyyden vuoksi.

5.2 Laitteisto ja tekniset ratkaisut

Laitteiston osalta sovellettiin ohjelmistokehityksestä käytettyä alustatalousmallia. Tässä mallissa toinen osapuolista tuottaa alustan esimerkiksi sovelluksen tai tässä tapauksessa laitteen, jonka päälle toinen osapuolista kehittää liiketoimintaansa palvelevan

tuotteen [13]. Alustatalouden toimivuuden näkökulmasta keskeisintä on kahden tuotteen välinen rajapinta, joilla kaksi eri tuotetta liitetään yhdeksi toiminalliseksi kokonaisuudeksi.

Siivousrobotissa on kolme eri yksittäistä kokonaisuutta, jotka on yhdistetty toiminnalliseksi kokonaisuudeksi. Puluroboticsin tuottama robottialusta Pulu M toimii perustana koko laitteelle. Pulu M alusta on suunniteltu toimimaan autonomisena robottialustana, joka mahdollistaa liikkumisen ja navigoinnin. Alustan päälle voisi liittää melkein minkä tahansa sovelluksen.

Tässä projektissa alustan päälle liitettiin tavallinen teollisuuspölynimuri, sekä yhdistelmäkoneen suulakeosat. Näiden kahden laitteen välille saatiin rakennettua hyvin pienin muutoksin toimiva rajapinta. Teollisuusimuri muutettiin toimimaan tasavirralla, jotta sen käyttö alustassa olevalla akustolla olisi mahdollista. Alustaan lisättiin suulake sekä akuaattori suulakkeen nostoa ja laskua varten. Imurin integroinnissa lähestulkoon kaikki käytetyt komponentit olivat valmiiksi markkinoilta saatavia, pois lukien suulakkeen ja imurin kiinnityksessä käytetyt komponentit, jotka valmistettiin itse. Integroinnin yhteydessä alustan ohjelmistokoodiin lisättiin mahdollisuudet imurin virran pois- ja päällekytkemiseen, sekä suulakkeen nostoon ja laskuun.

Kolmas kokonaisuus oli laitteen käyttöliittymä, jonka Helsingin Yliopiston tietojenkäsittelylaitos tuotti. Käyttöliittymän ja alustan ohjelmiston välille luotiin rajapinta, jolla käyttöliittymä ja ROS eli robot operating system keskustelevat keskenään. Käyttöliittymän ja ROS:n välinen rajapinta on käytännössä tärkein rajapinta koko laitteessa. Jos tämä rajapinta ei toimisi, ei laite olisi käyttökelpoinen. Käyttöliittymän toteutustavaksi valittiin web-pohjainen käyttöliittymä, jotta ohjelmiston asentaminen koneelle olisi mahdollista ilman yrityksen it-tukea.

Käyttöliittymä mahdollistaa tällä hetkellä myös täysin manuaalisen ajon tilan. Se saa robotilta mittausdatan avulla muodostetun pistepilvikartan, jota käytetään navigoinnissa ja reitinsuunnittelussa. Käyttöliittymässä on myös algoritmi, joka laskee ja luo siivousreitit robotille. Reitit suunnitellussa käytetään pohjana tilasta muodostettua karttaa, josta algoritmi valitsee paikat, joissa robotti voi kulkea. Paikkojen valinnan jälkeen algoritmi laskee robotille tehokkaan reitin, jota ajamalla tila tai valittu alue tulee siivottua. Siivoustehävän jälkeen robotti palaa takaisin latausasemaansa ja jää odottamaan seuraavaa tehtävää.

Käyttöliittymän suunnittelussa kiinnitettiin erityistä huomiota käytettävyyteen. Käytettävyyden osuus käyttökokemuksesta, eli käyttäjän näkemyksestä laitteen käytön mielekkyydestä on suuri. Huonoilla ratkaisuilla voi helposti pilata täysin toimivan konseptin, koska jos laitteen tai ohjelmiston käyttö koetaan hankalaksi, käytetään mieluummin jotain toista menetelmää [14].

Koko toteutuksessa tuli pohtia erityisesti loppukäyttäjän vaatimuksia ja ominaisuuksia. Laitteen pääsääntöinen käyttötarkoitus on toimia siivoojan avustavissa tehtävissä, eli tässä tapauksessa imuroida isompia alueita ja vapauttaa siivooja esimerkiksi pyyhkimään korkeampia tasopintoja. Tämä johtaa automaattisesti siihen, että käyttöliittymä ei voi sisältää sellaisia elementtejä, joiden käyttö tai ymmärtäminen vaatisi teknistä osaamista. Käyttöliittymän ulkoinen asu pyrittiin toteuttamaan mahdollisimman selkeäksi. Laitteen saattaminen käyttöön ei esimerkiksi vaadi käyttäjältä alustamistoimenpiteitä tai pudotusvalikkojen käyttöä. Kaikki oleelliset laitteen käyttöön liittyvät painikkeet on sijoitettu päänäköalalle. Tästä näkymästä selviää myöskin laitteen sen hetkinen status, eli akun varaustila, moottorin tila ja kyseisellä hetkellä suoritettava tehtävä.

Siivousrobotti havainnoi ympäristöään 3D TOF -antureiden avulla. Anturien toiminta perustuu etäisyyden mittaukseen valonnopeuden ja takaisin heijastuksen perusteella. Anturien saaman datan perusteella robotti muodostaa tilasta kolmiulotteisen mallin. Mallin avulla robotti hahmottaa tilan ääriviivat ja korkeuden. Erityisen edistyksestä on robotin kyky hahmottaa ja väistää tilassa liikkuvat ihmiset ja esteet. Esteiden korkeuden hahmottaminen on tärkeä ominaisuus, koska laite tietää oman korkeutensa. Näin ollen se voi ajaa sellaisten esteiden alta, mistä fyysisesti mahtuu kulkemaan tai vastaavasti välttää törmäyksen esteeseen, jossa joku taso on alempana kuin robotin korkeus on. Tämänkaltaista ominaisuutta ei olla saatu toteutettua 2D LiDAR -anturitekniikalla. TOF-anturitekniikka havaitsee hyvin myös läpinäkyvät esteet kuten lasiseinät tai ovet.

5.3 Koeajot

Projektin yksi osa-alue oli järjestää säännöllisesti koeajotilaisuuksia, joihin osallistui yleensä koko projektiryhmä. Koeajotilaisuudet toimivat projektiryhmän jäsenille mahdollisuutena esitellä omaa työtään, sekä kuunnelle kehitys ja muutosehdotuksia. Tilaajalle koeajot toimivat erinomaisena mahdollisuutena seurata projektin etenemistä, sekä

vaikuttaa kehitystyöhön. Koeajotilaisuuksia oli pääsääntöisesti kolmenlaisia, alustakoeajoja, käyttöliittymän demoja, sekä näiden yhdistelmiä.

Ensimmäinen koeajo suoritettiin Helsingin yliopiston ensimmäisen sukupolven pulu M robotilla (kuvassa 8) Fredriksbergin työmaalla Helsingin Vallilassa, jossa laitteella ajettiin n. 200 m² alueella. Koeajon tarkoitus oli selvittää ja kerätä tietoa robottialustan toimivuudesta työmaaolosuhteissa. Tässä vaiheessa robottiin ei vielä ollut integroitu imuria tai luotu erillistä käyttöliittymää. Koeajossa robotin annettiin vapaasti kartoittaa tilaa, jonka jälkeen sille annettiin karttapisteitä, joihin sen tulee ajaa. Samalla kartoitettiin robotin kykyä liikkua alustaltaan vaihtelevassa tilassa. Testausalueelle rakennettiin koeajoa varten myös eräänlainen ”esterata”, eli tilaan sijoitettiin tavallisia rakennustyömailta löytyviä tarvikkeita, kuten eristevillaa, harjateräksiä, roska-astiota ja pumppukärkyt. Koeajossa havaittiin, että esteiden, joiden korkeus oli maksimissaan 4 cm ylittäminen ei tuottanut robotille haasteita.



Kuva 8. Ensimmäisen sukupolven Pulu M -robottialusta [Harri Heinonen].

Ensimmäisen sukupolven robotti käytti vielä kartoituksessa apunaan LiDAR-sensoria, jonka havaittiin tuottavan ongelmia esimerkiksi lasiseiniä kanssa. Ongelmalliseksi huomattiin myös pumppukärkyjen haarukka, johon robotti onnistui ajamaan itsensä

pohjastaan kiinni (kuva 7). Erityisen tärkeä havainto oli kartoitusdatassa esiintynyt ajelehtiminen, eli seinät piirtyivät joskus kaareviksi tai niiden sijainti siirtyi. Näihin havaittuihin ongelmiin lähdettiin hakemaan ratkaisuja laitteen kehitystyöllä. Koeajo oli kokonaisuudessaan onnistunut, koska sen avulla saatiin tunnistettua uusia ongelmia ja samalla todistettua alustan riittävä etenemiskyky työmaalla.

Käyttöliittymädemoja järjestettiin yhteensä kolme kertaa. Ensimmäinen käyttöliittymä demo järjestettiin Helsingin yliopiston Software Factorylla. Laitteen käyttöliittymää esiteltiin ensimmäisen sukupolven Pulu M -laitteistolla. Koska ensimmäisen sukupolven laitteisto erosi teknisesti merkittävällä tavalla tässä vaiheessa kehityksessä olleesta toisen sukupolven laitteistosta, ei käyttöliittymädemossa saatu esiteltyä kaikkia toiminnallisia ominaisuuksia.

Taulukko 3, Esimerkki käyttötapaus.

1	Käyttäjä kytkee laitteen päälle. Myös etäkäyttö mahdollisuus.
2	Laite ilmoittaa valmiuden tehtävän suorittamiselle 2a. Mikäli laitteella ei ole tarvittavia parametrejä tilasta, pyytää se käyttäjää joko ajamaan parametrit pohjakuvatiedostona (3d malli tms) tai lähtee kartoittamaan tilaa autonomisesti. 2b. Laite pyytää määrittämään tehtävän tai valitsemaan valmiiksi määritellyn tehtävän.
3	Laite suorittaa sille annetun tehtävän. Käyttäjällä on kuitenkin mahdollisuus keskeyttää tehtävä koska tahansa ns. hätäseis tyyppisellä ratkaisulla.
4	Tehtävän suoritettuaan laite palaa takaisin latausasemaansa. Ja ilmoittaa käyttäjälle olevansa valmis. Laitteelta on saatavissa raportti suoritetusta tehtävästä, josta ilmenee, operoitu alue ja virhetilanteet.
5	Laite ilmoittaa valmiutensa suorittaa seuraava tehtävä. Laitteiston kunto, pölypussin täyttöaste, akuston varaustila yms. kriittiset tiedot laitteen toiminnan kannalta.
6	Käyttäjä kytkee laitteen pois päältä. Myös etäkäyttö mahdollisuus.

Käyttöliittymädemot järjestettiin aina samalla kaavalla, seurattiin esimerkki käyttötapausta (taulukko 3) ja edettiin niin pitkälle kuin sillä hetkellä oli mahdollista. Ensimmäisessä demossa todettiin käyttöliittymän toimivuus sillä tasolla, että jatkokehitys on mahdollista. Käyttöliittymän ja robotin välinen rajapinta toimi ja käyttöliittymällä oli mahdollista ohjata robottia. Käyttöliittymän yksi oleellisimmista toiminnoista oli automaattisen

reitinluonnin mahdollistava algoritmi. Algoritmin toimivuutta testattiin ja lopputulemana todettiin, että algoritmi toimi ainoastaan välttävästi. Suurin ongelma algoritmin kanssa oli määrättyyn reittipisteeseen pääseminen, jos robotti kohtasi esteen matkalla. Tätä oli siis kehitettävä eteenpäin ennen seuraavaa käyttöliittymä demoa.

Seuraavat käyttöliittymä demot noudattivat samaa kaavaa ja todellisia tuloksia alettiin samaan, kun toisen sukupolven Pulu M -alusta valmistui testausta varten. Uuden alustan parantunut kartoitus- ja navigointikyky vaikuttivat merkittävästi myös käyttöliittymän toimintaan. Algoritmin toiminta kuitenkin oli vielä epävarmaa, teoriassa algoritmi toimi niin kuin sen oli tarkoituskin. Todelliset testit kuitenkin osoittivat vielä tiettyjä heikkouksia. Heikkoudet liittyivät algoritmin kykyyn käsitellä robotin kokoa, eli jos kartoituksen piste-pilvidatan muodostamat tilan ääriviivat eivät olleet täysin koherentteja, käsitteli algoritmi ääriviivan aukot siten, että robotin oli mahdollista liikkua tällaisesta ”aukosta”, vaikka todellisuudessa kohdassa oli seinä.

Projektin ensimmäinen käyttötapausmäärityksen toteuttanut koeajo suoritettiin maaliskuussa 2019. Laitteeseen oli tässä kohtaa uusittu muutamia piirilevyjä, sekä käyttöliittymään oli tehty parannuksia. Merkittävä parannus liittyi käyttöliittymään lisättyyn mahdollisuuden rajata siivottava alue manuaalisesti. Kun alue on rajattu manuaalisesti, toimii myös reitin luomisessa käytetty algoritmi ongelmitta.

Tässä vaiheessa aloitettiin testaustoimenpiteitä myös laboratorio olosuhteiden ulkopuolella. Laitte suoriutui sille annetuista tehtävistä työmaalla vähintäänkin hyvin. Laitte pystyi kartoittamaan tilan, suorittaa sille annetun siivoustehtävän, sekä palamaan latausase- maansa. Myöskään kartoituksen jälkeen tilaan tehdyt dynaamiset muutokset eivät estäneet robottia toimimasta suunnitellulla tavalla. Laitteen toimintaa ei häirinnyt tilassa työskentelevät ihmiset tai sinne asetetut rakennusmateriaalit. Laitteen siivousjälki oli merkittävästi parempi kuin rakennussiivoojan tekemä (kuvassa 9). Tässä kohtaa voitiin todeta laitteen olevan lähestulkoon valmis.



Kuva 9. Robotin taustalla siivousjälkeä perusimuroidussa tilassa [Aarni Heiskanen AE Partners].

Seuraavaksi vuorossa oli jatkokehityksen suunnittelu ja robotti-imurin ottaminen työmaalle pidempi aikaiseen koeajoon. Pidempi aikaisen koeajon tarkoituksena on selvittää, onko laitteen tai käyttöliittymän toiminnassa vielä joitain sellaisia virheitä puutteita, joita aikaisemmillä koeajoilla ei ole saatu selville. Laitteen ohjelmistoja on tarkoitus vielä optimoida toimimaan jouhevammin, tällä hetkellä on havaittavissa vielä hieman hitautta yleisessä toiminnassa. Optimoinnilla on tarkoitus parantaa laitteen toimintaa ohjaavan koodin toimintaa, mutta säilyttää kaikki toiminnallisuus. Optimointia voisi verrata vaikkapa rakennuksen viimeistelytyöhön; rakennus on käytännössä täysin toimiva, eikä käyttöä estäviä puutteita ole, mutta yksittäisiä listoituspuitteita tai maalausvirheitä esiintyy vielä.

5.4 Tulokset ja yhteenveto

Projektista saamamme tulokset ovat hyvin lupaavia tulevaisuuden rakennustyömaan automatisointia ajatellen. Tämä projekti yksiselitteisesti todistaa, että rakentamista ja siihen liittyviä toimintoja voidaan automatisoida. Rakennusalaa, kuten aikaisemmin olen esittänyt, on pidetty robotiikan kannalta haasteellisena. Suurin haaste on, että robotille suotuisin työympäristö olisi mahdollisimman staattinen. Siivousrobotiprojektissa olemme kyenneet ratkaisemaan tämän ongelman ja onnistuneet luomaan robotin (kuvassa 10),

joka kykenee toimimaan dynaamisessa työympäristössä. Robotiikka voisi olla ratkaisu sekä tuottavuuden, että työturvallisuuden parantamiseen.



Kuva 10. Valmis prototyyppi latausasemassaan [Aarni Heiskanen AE Partners].

Rakennustyömaiden pölyisyyttä pidetään isona terveydellisenä ongelmana. Perinteisessä rakennussiivouksessa esiintyvä ongelma liittyy työskentelyaikana suoritettavaan siivoukseen. Siivoustyö olisi järkevintä aloittaa vasta muutaman tunnin kuluttua töiden loppumisen jälkeen. Tällöin töissä syntynyt ja työntekijöiden ilmaan nostattama pöly on ehtinyt laskeutua ja on siivottavissa pois. Työnjohto- ja työntekijäresurssien vuoksi tätä ei kuitenkaan yleensä toteuta edellä mainitulla tavalla. Siivousrobotin avulla tämä ongelma on helposti ratkaistavissa, koska robotin ei tarvitse välittää työajoista, vaan on aina käytettävissä.

Koeajojen perusteella siivousrobotin tuottama työnlaatu on merkittävästi parempaa kuin perinteisellä rakennussiivoojalla. Siivousrobotti siivoaa tunnollisesti ja väsymättömästi kaikki sille määrätyt alueet. Rakennussiivoojalla saattaa esimerkiksi epähuomiossa jäädä jokin alue imuroimatta tai työ suoritetaan aikataulupaineiden takia liian hätäisesti. Robotin suurin etu verrattuna rakennussiivoojaan on työnlaadun tasaisuus. Kuitenkin, robotti toimii parhaimmillaankin vain avustavana työkaluna siivoojalle. Siivooja voi käyttää imuroinnista vapautuneen ajan esimerkiksi pyyhkimällä pölyä ylemmiltä tasoilta,

jonne robotti ei pääse. Robotiikan avulla siivoustyön kokonaisuuden laatua pystytään parantamaan.

Siivousrobotin käyttöönotto tuottaa yritykselle myös kustannussäästöjä, mm parantuneen työturvallisuuden ja tehokkaampien resurssienkäytön myötä. Olen aikaisemmin tässä tutkimustyössä arvioinut, että robotiikan käyttöönotto siivoustyössä luo parhaimmillaan 25% kustannussäästön. Työterveyteen ja työkykyyn liittyvistä kustannussäästöistä on vielä mahdotonta tehdä arviota, koska käytössä ei ole tilastoja terveydellisten poissaolojen määrästä ennen ja jälkeen siivousrobotin käyttöönottoa. On kuitenkin kiistatonta, että rakennustyömaan pölyisyys aiheuttaa työperäisiä sairauksia ja poissaoloja. Pölynmäärän vähentyminen työmaalla vaikuttaa varmasti tulevaisuudessa poissaolojen ja työkyvyttömyyseläkkeelle jääntien määrää. Tästä aiheutuvat kustannussäästöt tulevat olemaan merkittäviä.

Siivousrobotin kehittäminen loi myös paljon uusia kontakteja ja opetti yhteistoiminta malleja muiden kuin rakennusalan yritysten kanssa. Tulevaisuudessa tullaan varmasti työskentelemään enenevässä määrin yli omien ammattirajojen. Tämä projekti todisti, että toisilta aloilta tulevat ihmiset, jotka eivät tunne toisiaan tai toisten alaa, kykenevät työskentelemään tehokkaasti keskenään. Tämä toki vaatii avoimuutta ja toisen työn kunnioittamista. Tämän kaltaiset projektit ovat erinomainen keino laajentaa omaa osaamistaan ja tuottavat varmasti kullekin osapuolelle lisäarvoa omaan toimintaansa.

Siivousrobotti vaikutti lupaavalta avaukselta rakennusalan automatisaation kannalta ja projektia onkin tarkoitus jatkaa. Seuraavat haasteet liittyvät tuotteen kehittämiseen kaupallistamista varten, sekä itse kaupallistamiseen. Uuden kokeileminen vaatii päämäärätietoisuutta ja rohkeutta. Omia ideoita ei kannata haudata sen takia, että joku muu sanoo, että se ei toimi. Tästä esimerkkinä vaikkapa ruotsalainen tv-toimittaja, joka vuonna 1984 lausunnossaan sanoi, ”Pidän täysin naurettavana ajatuksena, että teatteriliput tai ruokareseptin voisi tulevaisuudessa hankkia tietokoneen avulla.” [15]. Uskonkin, että seuraavan viiden vuoden sisällä rakennustyömailla imuroinnin hoitaa ihmisen sijasta robotti.

6 Yhteenveto robotiikan tulevaisuudesta rakennustuotannossa

Tämän tutkimustyön perusteella on selvinnyt, että rakennustuotannon automatisointia on suunniteltu jo pidemmän aikaa. Hankkeet eivät kuitenkaan ole edenneet prototyyppiastetta pidemmälle, joko rahoituksen tai toimivan teknologian puuttumisen takia. Robotiikka alan kehittymistä seuraamalla on käynyt ilmi, että useita uusia innovaatioita on syntynyt tekniikan kehittymisen seurauksena. Suomessakin toimii tällä hetkellä useampi robotiikkaan keskittynyt startup yritys. Yksi näistä on Wallrobotic Oy, joka kehittää ikkunanpesurobottia. Kun alalle syntyy kilpailua, tulee kehityskin sen myötä kiihtymään. Vaikka kaikkia robotiikan käyttöönottoon työmaalla liittyviä ongelmia ei saataisi tällä hetkellä ratkaistua, ei se tarkoita, etteikö niitä voisi tulevaisuudessa selättää. Mooren lain, joka pitäänee vielä muutaman vuoden ajan paikkansa, perusteella prosessorin laskentateho kaksin kertaistuu 18 kuukauden välein. Toisin sanoen se mikä ei tällä hetkellä ole mahdollista, voi hyvinkin toteutua jo lähitulevaisuudessa.

Rakennusalan kannalta lupaavana voidaan pitää tekoälyn ja koneoppimisen kehitystä. Näiden avulla voidaan ratkaista monia robotin toimintaympäristöön liittyviä ongelmia. Ajatellaan vaikka työmaalla toimivaa siivousrobotia. Robotilla olisi sen konenäön avulla mahdollisuus havainnoida ympäröivää maailmaansa saman kaltaisesti kuin ihminen. Kun tähän konenäköön yhdistetään tekoäly, pystyy robotti tekemään päätelmiä ympäröivästä maailmastaan. Esimerkiksi esteiden tunnistaminen helpottuu, kun robotti erottaa työskentelevän ihmisen esimerkiksi roska-astiasta. Tekoälyn avulla päätellään, että ihminen ei ole pysyvä este, kun taas roska-astia on. Eli todennäköisesti roska-astia on samassa paikassa vielä seuraavana päivänä. Mutta, koska tekoäly tunnistaa, roska-astian myös sijainniltaan vaihtelevaksi kohteeksi, se myös ymmärtää, että sen sijainti saattaa vaihdella. Tekoälyn avulla voidaan myös tunnistaa portaikkoja ja ikkunoita entistä tarkemmin.

Tekoälyn omaavien robottien avulla voidaan myös kerätä ennennäkemätön määrä dataa työmaalta. Tätä kerättyä dataa voidaan yhdistää muuhun olemassa olevaan dataan ja hyödyntää liiketoimintaa palvelevasti. Tämä nk. Big Data -ilmiö mahdollistaa automaation viemisen aivan uudelle tasolle. Kuten aiemmin kerroin, tekoäly tunnistaa roska-astian dynaamiseksi kohteeksi, tämän avulla voidaan esimerkiksi roska-astian tyhjentämistä seurata automaattisesti sen mukaan, miten se on sijainniltaan liikkunut. Toinen seurattavissa oleva asia on työmaan henkilövahvuus, jota voidaan seurata jopa huoneen

tarkkuudelle. Tämä on tulevaisuuden kannalta erittäin mielenkiintoinen tutkimuskohde ja kaikkia sen tuomia mahdollisuuksia ei olla varmastikaan vielä tunnistettu.

Kolmas kehittyvä kohde robotiikan saralla tulee olemaan parviäly. Eli jos työmaalla työskentelee useita robotteja, voivat nämä kommunikoida keskenään ja välittää tärkeää dataa toisilleen. Siivousrobotilla parviälyä voidaan hyödyntää esimerkiksi siivoustehtävien antamisen automatisoimiselle, joku muu työmaalla työskentelevä robotti havaitsee pölyä tietyssä tilassa ja välittää tästä tiedon siivousrobotille, joka tulee imuroimaan tilan.

Robottien käyttö tulee myös muuttamaan tällä hetkellä tunnettua rakentamisen etenemisketjua. Tulevaisuuden rakentamisessa suunnittelun merkitys korostuu entisestään. Suunnittelussa tulee olemaan kaksi lähtökohtaa, jotka tulee huomioida robotteja käytettäessä. Ensimmäinen määräävä tekijä on tilaajan vaatimukset käytönaikaisten robottien suhteen. Tämä ei sinällään eroa tämänkään päivän tilaajan esittämistä vaatimuksista rakennuksen käyttöä ajatellen, mutta vaatii robotiikkaan ja rakentamiseen perehtyneen suunnittelijan.

Rakennustuotantoa ajatellen muutokset tulevat olemaan isompia. Tuotanto on suunniteltava yhdessä toteuttajan kanssa, koska robottiväestöisen tuotannon edellytykset eroavat laitekohtaisesti ja eri toteuttajat saattavat käyttää eri laitteistoja saman tehtävän suorittamiseen. Robottituotannon järjestely saattaa myös vaatia itse rakennukselta ja tilalta erityisiä ominaisuuksia, jotka pitää olla suunnittelun lähtötietoina. Tämä tulee synnyttämään rakennusalan sisälle täysin uuden palvelualan. Palvelualan, joka yhdistää sekä tilaajan, että rakentajan vaatimukset rakennuksen toiminnallisesta kokonaisuudesta robottien suhteen. Tämä tulee myös ratkaisemaan tämän päivän ongelmia, jossa työnteuttaja toimii suunnitelmilla, joiden suunnitteluun ei ole itse osallistunut. Etupainotteinen suunnittelu tulee siis parantamaan laatua ja lyhentämään rakennusaikaa.

Tietomallien hyödyntäminen tulee olemaan isossa osassa rakennusalan robottivallankumousta. Tietomallien osalta tällä hetkellä tutkitaan tietomallien luomisen osittaista automaatiota, joka voi vähentää tietomallin luomiseen käytettyä aikaa jopa puoleen nykyisestä. Tietomalleja pitäisi voida tulevaisuudessa hyödyntää osana robottien navigointia ja toimintaa. Esimerkiksi rakennusosan asennuksen voisi tietomallin avulla opettaa robotille. Tätä itseasiassa hyödynnetään jo infrarakentamisessa, jossa kaivinkone voi itsestään muokata maata tietomallin perusteella.

Robottien saapuminen työmaille ei välttämättä tapahdu huomenna tai ylihuomenna, mutta se tulee kuitenkin tapahtumaan lähitulevaisuudessa. Tämä johtaa väistämättä perinteisten työtapojen muutokseen ja koko alan teknistymiseen. On totta, että paljon käsi-työtä vaativat työt säilyvät ainakin osittain tallella, mutta moni muu työ tulee katoamaan sellaisena kuin me sen nykyisellään tunnemme. Tämä ei tule vaikuttamaan pelkästään suorittavan portaan työtehtäviin, vaan myös toimihenkilöiden töitä tulee katoamaan. Toimihenkilöiden suorittamat valvontatehtävät ja paperityöt on myös mahdollista automatisoida ohjelmistorobotiikan avulla. Joka tapauksessa ainoastaan aika tulee näyttämään mihin suuntaan ja kuinka paljon rakennusala tulee muuttumaan robotiikan saapumisen myötä.

Lähteet

- 1 Thomas Bock & Thomas Linner (2016) Cambridge Handbooks on Construction Robotics Volume 3: Construction Robots. New York: Cambridge University Press
- 2 Rakennustietosäätiö RTS (2012) MaalausRYL 2012 Maalaustöiden yleiset laatuvaatimukset ja käsittely-yhdistelmät. Helsinki: Rakennustieto Oy
- 3 Harry Colestock (2004) Industrial robotics : selection, design and maintenance. New York: McGraw-Hill Professional
- 4 Martin Ford (2015) Robottien kukoistus. Suomentanut Kirsi Laitila Helsinki: Sannakko. Englanninkielinen alkuteos Rise of the Robots.
- 5 Liite 1. Haastattelun perusteella.
- 6 United States Department Of Labor, Bureau of Labor Statistic Verkkojulkaisu: <https://www.bls.gov/opub/ted/2015/long-term-price-trends-for-computers-tvs-and-related-items.htm> Vierailtu: 31.3.2019
- 7 Aalto Yliopisto Wiki Tuotantotalouden peruskurssi. Verkkojulkaisu: <https://wiki.aalto.fi/display/TU22/8.+Investointilaskelmat> Vierailtu: 22.3.2019
- 8 Microsoft Excel 2019 käyttöohje. Verkkojulkaisu: <https://support.office.com/fi-fi/article/nna-nna-funktio-8672cb67-2576-4d07-b67b-ac28acf2a568> Vierailtu: 23.3.2019
- 9 Verohallinnon ohje. Verkkojulkaisu: <https://www.vero.fi/yritykset-ja-yhteisot/tieto-yritysverotuksesta/tuloverotus/liikkeen-tai-ammattinharjoittaja/poistot-k%C3%A4ytt%C3%B6omaisuudesta/> Vierailtu: 24.3.2019
- 10 BusinessOulu. Verkkojulkaisu: <https://www.yritystulkki.fi/fi/alue/oulu/aloittava-yritystulkki/suunnittelu/taloussuunnitelmat/investoinninkannattavuus/> Vierailtu: 24.3.2019
- 11 Tilastokeskuksen PX-Web-Tietokannat Verkoportaali: <http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/sq/f6d0e7b4-4a07-4675-9c27-47eecf88725a> Taulukko luotu 5.4.2019
- 12 Opetushallitus OPS 2016 Verkkojulkaisu: https://www.edu.fi/perusopetus/matematiikka/ops2016_tukimateriaalit/ohjelmointi Vierailtu: 2.4.2019

- 13 Elinkeinoelämän keskusliiton verkkouutinen Mika Tuulainen Julkaistu:
11.10.2017 <https://ek.fi/ajankohtaista/uutiset/2017/10/11/viikon-kysymys-mita-on-alustatalous/> Vierailtu: 19.3.2019
- 14 Heikki Hangasmaa (2010) Opinnäytetyö Käytettävyyden merkitys ja käytettävyydestä. Vaasan Ammattikorkeakoulu
- 15 Videomateriaali <https://www.youtube.com/watch?v=5xJBMkkCkw> Katsottu:
20.3.2019

Haastattelukysymykset

Haastattelin Finnair Oy:n IT konsultti Santtu Kostetta, liittyen käyttöliittymän suunnitteluun ja ohjelmointirajapintoihin. Haastattelu toteutettiin kasvokkain Tapiolassa 3.4.2019.

1. Mihin käyttöliittymää käytetään ohjelmistoissa ja roboteissa?
2. Mitä käyttöliittymän suunnittelussa tulisi huomioida?
3. Tuleeko loppukäyttäjä huomioida käyttöliittymän käytettävyyttä suunnitellessa?
4. Miten käyttöjärjestelmä vaikuttaa käyttöliittymän suunnitteluun?
5. Mitä ohjelmointirajapinnat eli API:t ovat ja mihin niitä käytetään?
6. Kannattaako tilaajan olla mukana käyttöliittymän suunnittelussa?