

Juho Heiska

RAKENNUSTÖIDEN AUTOMATISOINTI

RAKENNUSTÖIDEN AUTOMATISOINTI

Juho Heiska
Opinnäytetyö
Kevät 2019
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma, tuotantotekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tekijä(t): Juho Heiska
Opinnäytetyön nimi: Rakennustöiden automatisointi
Opinnäytetyön nimi: Automation of Construction Work
Työn ohjaaja(t): Antero Stenius
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2019
Sivumäärä: 38

Rakennusala on tällä hetkellä kaikista teollisuuden aloista vähiten automatisoitu. Kuten muillakin aloilla, myös rakentamisteollisuudessa automaation avulla on mahdollisuus saavuttaa suuria tuottavuusloikkia. Lisäksi teollisuusrobottien tarkkuus parantaa rakentamisen laatua ja auttaa vähentämään jätteiden määrää rakentamisen aikana.

Opinnäytetyössä perehdyttiin yleisellä tasolla automaatioon, teollisuusrobotiikkaan ja 3D-tulostamiseen. Tämän jälkeen esiteltiin rakennusalalla jo käytössä olevia automaatio- ja robotiikkajärjestelmiä sekä tuotiin esille niiden tuomat haasteet ja mahdollisuudet rakennustyömaalle.

Opinnäytetyössä havaittiin, että yksi suurimmista haasteista automaatiolle on itse rakentamisen aikana koko ajan muuttuva työympäristö. Vaikka toimivia järjestelmiä on olemassa useita erilaisia, on niissä vielä kehitettävää, jotta ne pystyttäisiin ottamaan yleisemmin käyttöön.

Asiasanat: Rakennustyö, automaatio, teollisuusrobotti, 3D-tulostus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, House Building

Author(s): Juho Heiska
Title of thesis: Automation of Construction Work
Supervisor(s): Antero Stenius
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2019
Pages: 38

Construction industry is currently the least automated in all industrial sectors. Automation allows you to achieve high productivity gains and also reduces waste generation during construction using the precision of industrial robots.

This thesis dealt with automation, industrial robotics and 3D printing in general. Afterwards, automation and industrial robotics systems that are already in use in the construction sites were introduced and their challenges and opportunities were highlighted.

This thesis found that the greatest challenges for automation are the ever changing work environment during the construction process. Although there are many different types of operating systems, there is still room for improvement in order to be able to use them more generally.

Keywords: Construction work, automation, industrial robots, 3D printing

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	6
2 AUTOMAATIO	7
3 TEOLLISUUSROBOTIIKKA	9
3.1 Teollisuusrobotin käyttökohteet ja tehtävät	9
3.2 Teollisuusrobotin tyypit	9
3.2.1 Kiertyvänivelinen robotti	9
3.2.2 Suorakulmainen robotti	10
3.2.3 Sylinterirobotti	11
3.2.4 Napakoordinaatistorobotti	12
3.2.5 SCARA-robotti	12
3.2.6 Rinnakkaisrakenteinen robotti	13
3.3 Teollisuusrobotin hyödyt ja haidat	14
4 RAKENNUSALAN TUOTTAVUUS JA TYÖTURVALLISUUS	15
5 3D-TULOSTUS	18
5.1 Materiaalien lisäävä muokkaus	19
5.2 Betonin 3D-tulostaminen	19
5.3 3D-tulostamisen mahdollisuudet	20
6 VALMIIT HANKKEET	22
6.1 MX3D-Kävelysilta	22
6.2 Construction Robotics	23
6.2.1 SAM100	24
6.2.2 MULE	25
6.3 Hiontarobotti	27
6.4 Tupo 8	30
7 POHDINTA	33
LÄHTEET	34

1 JOHDANTO

Suuri osa teollisuuden aloista on jo lähes kokonaan automatisoituja, lukuun ottamatta rakennusala, jossa työ tehdään pääsääntöisin vieläkin käsin. Opinnäytetyössä perehdytään siihen, miten automaatiota ja robotiikkaa hyödynnetään rakennusteollisuudessa ja miten sen käyttöä voitaisiin lisätä tuotannon tehostamiseksi ja kustannusten laskemiseksi.

Rakennustyömailla on erittäin paljon toistuvaa ja raskaita töitä, minkä vuoksi tuki- ja liikuntaelimestö kuormittuu turhaan, etenkin materiaalien nosto- ja siirtotöissä. Nykyään työn kuormittavuutta on saatu vähennettyä erilaisilla nostoapuvälineillä ja työergonomiia parantamalla.

Tässä opinnäytetyössä selvitetään automaation ja teollisuusrobotiikan toimintaperiaatteita rakennustyömailla sekä sitä, miten niiden avulla voidaan helpottaa ja keventää työskentelyä.

2 AUTOMAATIO

Automaatio (kreik. automatos) tarkoittaa itsetoimivaa laitetta tai järjestelmää. Nykyisin teollisuusautomaatio tarkoittaa usein tietokoneen käyttämistä koneiden ja tuotantoprosessien ohjaamisessa. Tuotantotekniikan osana teollisuusautomaatio on kehittyneempi aste mekanisaatiosta, jossa ihmiset käyttävät koneita työnsä apuna. Tunnetuin automaation alue on teollisuusrobotiikka. (1.)

Automaation tulo Suomeen alkoi 1950-luvun alussa. Tuolloin automaatio tunnettiin säätö- ja mittaustekniikkana ja instrumentointina. 1970-luvulla, kun ensimmäiset mikroprosessorit kehitettiin, siirtyi automaation toteutus hyödyntämään digitaalitekniikkaa. (2, s. 6.)

Automaatio on olennaisena osateknologiana paitsi teollisuudessa myös sulautettuna kuluttajatuotteisiin ja infrastruktuureihin. Automaatio on nykyisin taustatekijänä lähes kaikissa teknisissä järjestelmissä ja laitteissa ja myös kuluttajatuotteissa, kuten henkilöautoissa, kodinkoneissa sekä erilaisissa elektroniikkatuotteissa. (2, s. 3.)

Kun koneen, laitteen tai prosessin toiminta voidaan hallita automaation avulla, ei ole enää tarvetta ihmisen suorittamalle valvonnalle ja ohjaustoimenpiteille. Nykyään automaatio hoitaa monissa tehtävissään työnsä luotettavammin ja laadukkaammin kuin ihminen. On lisäksi myös suuri joukko monimutkaisia sovelluksia, joiden hallinta edellyttää automaation käyttöä, koska ihmisen nopeus ja kyvyt eivät riitä. (2, s. 4.)

Automaation hyötyjä ovat toistettavuus, laadunhallinta, jätteiden vähentyminen, integraatio muiden järjestelmien kanssa, kasvanut tuotanto ja pienempi työvoimantarve. Automaation haittapuolina ovat korkeat alkukustannukset sekä suurempi riippuvuus kunnossapidosta. (1.)

Automaation käyttöönotto on sen alusta alkaen koettu uhkana, koska se merkitsee myös muutosta alan työvoimatarpeeseen, kun koneet korvaavat ihmisen.

Toisaalta myönteiset vaikutukset, kuten tuottavuuden, laadun ja kilpailukyvyn paraneminen, työturvallisuuden ja työn sisällön paraneminen, ovat usein edellytys työpaikkojen säilymiselle ylipäätään. (2, s. 14.)

3 TEOLLISUUSROBOTIIKKA

Teollisuusrobotti on teollisuuden automaatiosovelluksissa käytettäväksi tarkoitettu automaattisesti ohjattu, uudelleen ohjelmoitavissa oleva monikäyttöinen käsittelylaite, jonka akseleista vähintään kolme on ohjelmoitavissa ja joka voi olla kiinteistä asennettu tai liikkuva. Teollisuusrobottiin kuuluvat myös käsittelylaite, ohjauslaite, ohjelmointilaite, tiedonsiirron rajapinnat sekä laitteisto ja ohjelmisto. (3, s. 12.)

3.1 Teollisuusrobotin käyttökohteet ja tehtävät

Teollisuusrobotteja löytyy tällä hetkellä jokaiselta teollisuuden alalta. Teollisuusrobotit valmistavat joko osittain tai kokonaan autot, bussit ja rekat. Robotiikkaratkaisuja käytetään myös moottorien ja voimansiirron kokoonpanossa, korin peltiesien puristimissa, korihitsaamossa ja autojen maalauksessa ja hionnassa. (4.)

Teollisuusrobotit poimivat, pakkaavat ja lastaavat yritysten valmistamia tuotteita valmiiksi. Elektroniikkakomponenttien kokoamisessakin käytetään robotiikkaa, jolloin vaaditaan äärimmäistä tarkkuutta, sillä osat ovat todella pieniä. Huonekalujen kaiverrukset, hionnat, kiillotukset ja maalaukset hoidetaan käyttäen teollisuusrobotteja. (4.)

Teollisuusrobottien avulla myös lääketeollisuus toimii. Teollisuusrobotit poimivat, pakkaavat ja lastaavat pillerit ja muut lääkkeet. (4.)

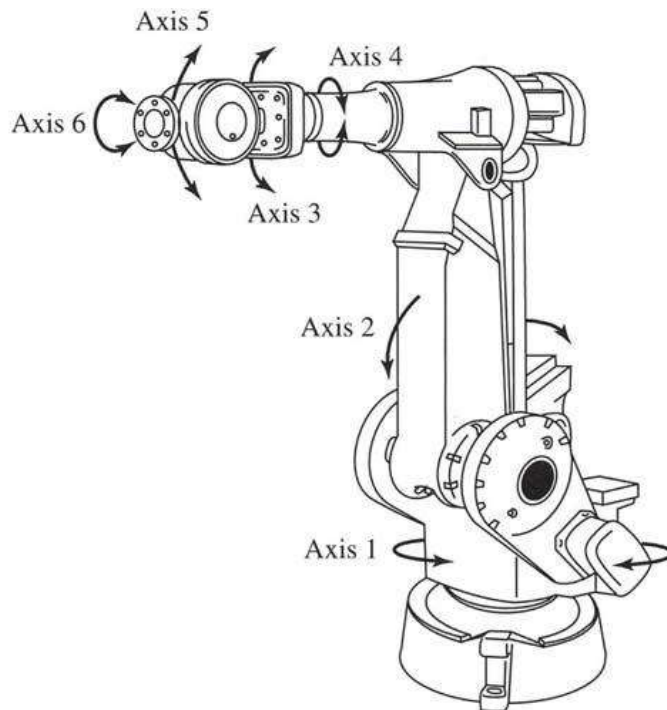
3.2 Teollisuusrobotin tyypit

Teollisuusrobotit jaetaan rakenteensa ja koordinaatistonsa mukaan kuuteen eri päätyyppiin, mutta näitä kuutta tyyppiä yhdistellen saadaan lukuisia eri kokoonpanoja aikaiseksi. Seuraavassa mainitaan teollisuusrobotin päätyypit. (5.)

3.2.1 Kiertyvänivelinen robotti

Kiertyvänivelisissä roboteissa on yleensä neljä tai kuusi akselia, mutta niitä voi olla jopa 10 (kuva 1). Kiertyvänivelisillä roboteilla on eniten liikkumavaraa kuin

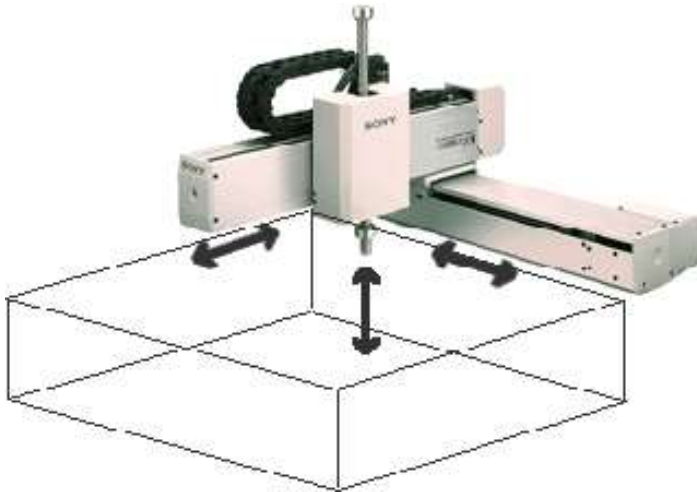
muilla roboteilla, mikä antaa niille enemmän käyttökohteita ja tarkoituksia, minkä vuoksi ne ovatkin kaikista yleisimpiä robotteja. Kiertyvänivelrobotteja voidaan käyttää kymmeneen eri tarkoitukseen. (6.)



KUVA 1. Kiertyvänivelinen robotti (7)

3.2.2 Suorakulmainen robotti

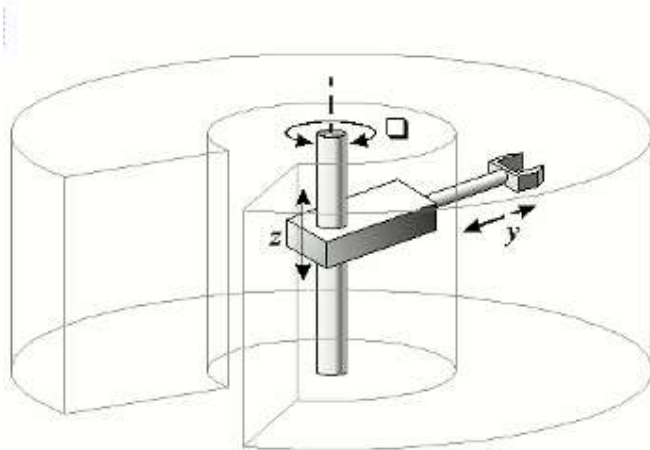
Suorakulmaisessa robotti liikkuu kolmessa ortogonaalisessa akselissa X, Y ja Z suorakulmaisten koordinaattien mukaan. Suorakulmaisen robotin rakenne on tuttu palkeilla sen työalueen nurkista. Yleensä suorakulmainen robotti asennetaan toimimaan työalueen päälle ylösalaisin, jolloin säästetään myös lattiatilaa (kuva 2). Tavallisimmin suorakulmaista robottia käytetään logistiikan sovellutuksissa. (8.)



KUVA 2. Suorakulmainen robotti (7)

3.2.3 Sylinterirobotti

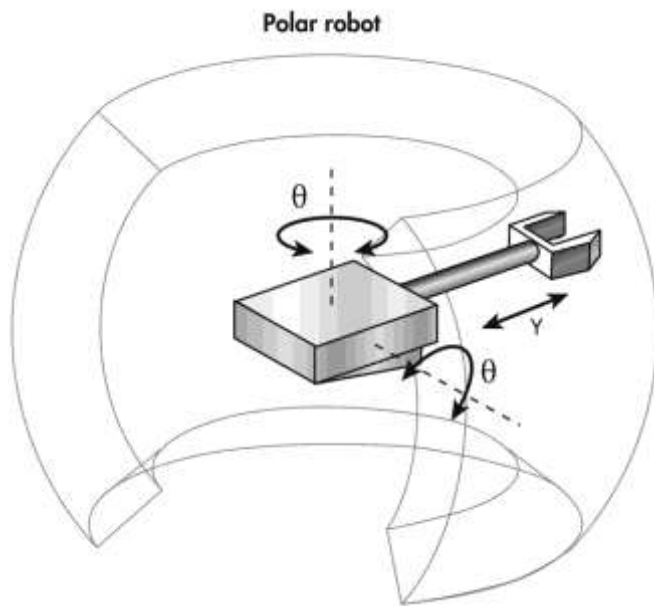
Sylinterirobotissa on yksi pyörivä nivel ja kaksi lineaarisesti liikkuvaa niveltä. Sylinterirobotin nimi tulee sen koordinaatiojärjestelmästä ja työalueen sylinterimäisestä muodosta (kuva 3). Sylinterirobotti on yksi harvinaisimmista käytetyimmistä roboteista. Sylinterirobottia käytetään yleensä manipulaattorina. (9.)



KUVA 3. Sylinterirobotti (9)

3.2.4 Napakoordinaatistorobotti

Napakoordinaatistorobotteja kutsutaan myös pallomaisiksi roboteiksi (kuva 4). Tässä akselit muodostavat polaarisen koordinaattijärjestelmän ja luovat pallomaisen työalueen. Napakoordinaatistorobottia käytetään yleisesti pistehitsaukseen, ruiskuvaluun, työstökoneiden palveluun sekä kaasu- ja kaarihitsaukseen. (10.)



KUVA 4. Napakoordinaatistorobotti (10)

3.2.5 SCARA-robotti

SCARA-robotin nimi tulee englanninkielisistä sanoista Selective Compliance Assembly Robot Arm (kuva 5). SCARA-robottia käytetään pääasiassa kokoonpanosovelluksissa sen liikkeen luonteen vuoksi. SCARA-robotin vahvuuksia ovat nopeus ja tarkkuus. Sitä käytetäänkin yleisimmin pienien kappaleiden kokoonpano- ja tarkastustöihin elektroniikka- ja lääketieteellisyydessä. (10.)



KUVA 5. SCARA-robotti (7)

3.2.6 Rinnakkaisrakenteinen robotti

Rinnakkaisrakenteiset robotit (kuva 6) tunnetaan myös deltarobotteina. Rinnakkaisrakenteisen robotin mekaaninen rakenne muodostuu kolmesta liikeakselista, jotka on asennettu rinnan. Rinnakkaisrakenteisia robotteja käytetään niiden nopeuden ja tarkkuuden takia usein poiminta- ja sijoitussovellutuksissa, kuten lääkkeiden ja elintarvikkeiden lajittelussa. (5.)



KUVA 6. Rinnakkaisrakenteinen robotti (7)

3.3 Teollisuusrobotin hyödyt ja haidat

Teollisuusrobotit tekevät saman työn kuin ihmiset, mutta paljon nopeammin ja tarkemmin. Teollisuusrobotilla on yksi tai useampi tehtävä, minkä tekemistä se vain jatkaa koko ajan. Robotit eivät tarvitse taukoja, unta tai lomaa, joten ihmiseen verrattuna ne tuottavat enemmän lyhyemmässä ajassa. Tuotteiden laatu pysyy korkealla, kun robotti on ohjelmoitu toistamaan samat liikkeet kerrasta toiseen, jolloin laatuheittelyä ei pääse syntymään. Teollisuusrobotin muokattavuus on myös yksi tärkeä tekijä. Ohjelmoimalla robotin uudestaan saadaan se tekemään uusia työvaiheita tarvittaessa. Ohjelmoinnin vuoksi roboteista saadaan erittäin tarkkoja, minkä kautta pystytään vaikuttamaan hukkapalojen ja jätteen vähentämiseen. (11.)

Robottiikka lisää myös työturvallisuutta, kun raskaat työvaiheet voidaan korvata teollisuusrobotilla. Työntekijää ei välttämättä korvata robotilla, vaan työntekijä siirtyy valvomaan ja huoltamaan robotin työtä. (11.)

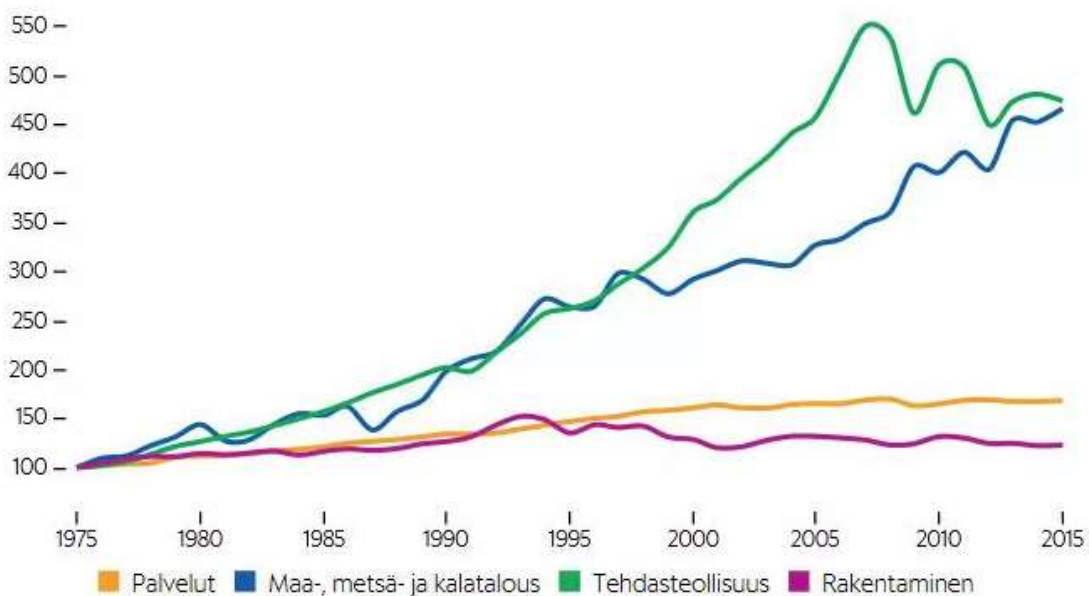
Haittapuolena teollisuusrobottien mukana tulee iso alkuinvestoinnin tarve. Halvimmat teollisuusrobotit maksavat noin 20 000 €. Toinen merkittävä haitta on myöhemmin ilmenevät kustannukset, kuten huollot sekä uudelleenohjelmoinnit. Teollisuusrobottien on laskettu maksavan itsensä takaisin noin 2-3 vuodessa parantuneen tuotannon ja vähentyneen työvoiman ja palkkakulujen jälkeen. Tämän ajan jälkeen robotti pystyy tekemään työtä ja tuottamaan yritykselle tuloa jopa seuraavan 20 vuoden ajan ilman ongelmaa. (12.)

4 RAKENNUSALAN TUOTTAVUUS JA TYÖTURVALLISUUS

Luvuissa 4.1 ja 4.2 kerrotaan rakennusalan tuottavuuden kehityksestä ja työturvallisuudesta sekä yleisimmistä tapaturmista, joita työmailla tapahtuu.

4.1 Rakennusalan tuottavuuden kehitys

Lähes kaikilla aloilla teknologian kehittymisen vuoksi, on työn tuottavuus kasvanut erittäin paljon 1970-luvun jälkeen. Kuitenkin rakennusalalla on jääty tuottavuuden puolesta samalle tasolle kuin vuonna 1975 (kuva 7). (13.)



KUVA 7. Työn tuottavuus toimialoittain (13)

Yksi syy tähän on se, että rakentaminen on muuttunut todella paljon 40 vuodessa. Rakenteista on tullut monimutkaisempia ja talotekniikan määrä on lisääntynyt kaikissa kohteissa. Työmaiden koneellistaminen on viime vuosikymmeninä edennyt paljon ja nopeuttanut kaikkia osasuorituksia kokonaistuottavuuteen kuitenkin vaikuttamatta. (13.)

Firan mittaukset ja seurannat osoittivat, että kylpyhuoneremontissa 80 % työajasta kylpyhuoneessa ei tapahdu mitään. Kun taas putkiremontissa asentajan

päivästä on kymmenen prosenttia tehokasta työaikaa. 60 % työajasta kuluu hukkaan työkalujen, materiaalien ja esimiesten etsimiseen ja tehdyn työn korjaamiseen. Tämänkaltainen tarpeeton hukka näkyy työn tuottavuudessa. (13.)

Rakennusalalla on mahdollisuus merkittäviin säästöihin koko kansantalouden kannalta, koska noin 60 prosentti suomen kansallisomaisuudesta on sidottu rakennettuun ympäristöön. (13.)

Tehdasteollisuus on yli nelinkertaistanut tuottavuutensa hyödyntäen prosessiautomaatiota, jossa teknologia on sitoutunut koneisiin. Tätä automaation kehitystä tulisi osata hyödyntää myös rakennusalalla, jolloin ihmistyötä voitaisiin korvata koneilla. (14.)

4.2 Rakennusalan työturvallisuus

Rakennusala on yksi kaikista tapaturmaherkkimistä toimialoista. Työpaikkatapaturmien taajuutta kuvataan luvulla, montako tapaturmaa per miljoonaa työtuntia kohden on tapahtunut. Vuonna 2016 kaikkien toimialojen yhteen laskettu tapaturmataajuus oli 28 työpaikkatapaturmaa/miljoona työtuntia. Rakennusalalla tapaturmataajuus sen sijaan oli 59,8 työpaikkatapaturmaa/miljoona työtuntia. (15.)

Työliikekipeytymisiä rakennusalalla vuonna 2016 oli 892 tapausta. Noin 70 % työliikekipeytymisistä johtui taakan käsivoimin siirtämisestä, ja suurin osa näistä kävi rakennustyöntekijöille. (16.)

Vuonna 2015 noin 45 % sairaspäivistä aiheutui putoamisen, hyppäämisen, kaatumisen tai liukastumisen seurauksena. Suurin osa näistä vahingoista oli vakuudeltaan lieviä kaatumisia tai liukastumisia. (16.)

Rakennusalalla on suuressa vaarassa myös kädet. Noin puolet työtapaturmista kohdistuu sormien, käsien ja ranteiden alueelle ja näistä lähes kolmannes työtapaturmista kohdistuu jollain tapaa sormiin. (17.)

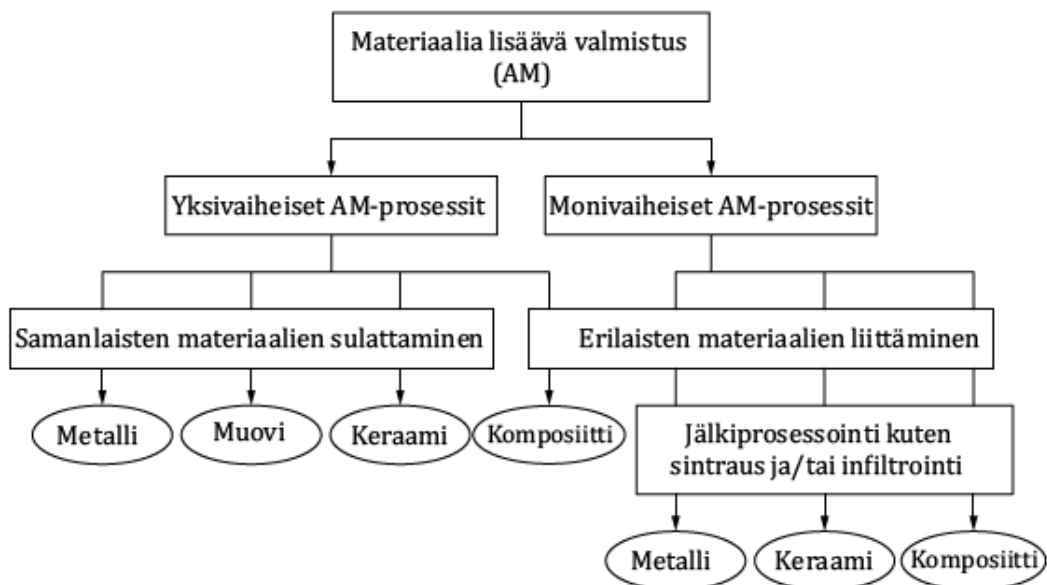
Työtapaturmista pään alueelle sattuu noin 16 % työtapaturmista ja suurin osa näistä kohdistuu silmiin. Suojalasiasetuksen voimaan tulon jälkeen silmätapatu-
mat ovatkin kääntyneet laskuun. Pään alueen tapaturmista suuri osa on myös
vakavia. Tämän takia on tärkeää, että suojalasit pysyvät päässä ja kypärä on ehjä
ja leukahihnallinen, jotta se myös pysyy päässä. (17.)

Onkin aiheellista pohtia, voisiko automaatio olla apuna ehkäisemässä työtapatu-
mia. Suurin osa tapaturmista liittyy juurikin työntekijän liikkumisiin ja väärin nos-
tettujen taakkojen takia kipeytymisiin. Automaation avulla voitaisiin vähentää ris-
kiä esimerkiksi sillä, että työntekijöiden ei tarvitsisi kantaa raskaita tavaroita käsin.
Näin työntekijällä pysyisi vireystila korkeammalla ja hän voisi keskittyä paremmin
itse liikkumiseen. Tällöin tulisi harvemmin astuttua harhaan ja nyrjäytettyä paik-
koja. Muutos toisi suoraa säästöä yrityksille, sillä työntekijöiden sairaspoissaolot
vähenisivät ja työt pääsisivät jatkumaan ennallaan.

5 3D-TULOSTUS

3D-tulostus (additive manufacturing) eli materiaalia lisäävä valmistus on yhteinen nimitys menetelmille, joilla fyysinen kappale valmistetaan geometriakuvauksen perusteella ainetta lisäävillä tekniikoilla. Näitä menetelmiä käytetään laajasti eri sovelluksissa teknologiateollisuudessa, mutta myös yhteiskunnan muilla sektoreilla, kuten lääketieteessä, koulutuksessa, arkkitehtuurissa, kartografiassa sekä lelu- ja viihdeteollisuudessa. (18, s. 5.)

Materiaalia lisäävät valmistusprosessit luokitellaan yksi- ja monivaiheisiksi prosesseiksi. Yksivaiheisessa prosessissa kappale saa perusgeometriansa ja tavoitellut materiaaliominaisuutensa yhdessä prosessivaiheessa, kun taas monivaiheisessa kappale saa geometriansa ensimmäisessä prosessivaiheessa ja sen jälkeen tavoitellut materiaaliominaisuutensa toisessa prosessivaiheessa (kuva 7). (18, s. 17.)



KUVA 8. Yksivaiheiset ja monivaiheiset materiaalia lisäävät valmistusprosessit (18, s. 17)

5.1 Materiaalien lisäävä muokkaus

Kappaleen muoto valmistusprosessissa voidaan saavuttaa yhdellä tai yhdistelmällä useampaa seuraavasta kolmesta peruseriaatteesta. (18, s. 16.):

- Muovaus: tavoiteltu muoto saavutetaan kohdistamalla paine lähtöaihioon, kuten esimerkiksi taonta, taivutus, valaminen, ruiskuvalu, aihoiden tiivistäminen jauhemetallurgiassa tai keraamien prosessoinnissa.
- Poistaminen: Tavoiteltu muoto saavutetaan poistamalla materiaalia halutuista kohdista, kuten jyrsintä, sorvaus ja poraus.
- Lisäys: Tavoiteltu muoto saavutetaan lisäämällä materiaalia peräkkäin.

Näistä yleisin ja myös kotitalouksien saatavilla oleva periaate on materiaalin lisäys. Siinä virtuaalinen malli tulostetaan fyysiseksi esineeksi käyttäen yleensä muovia. Tulostusmateriaali johdetaan kasetistaan tulostuspäähän nauhana tai jauheena. Tulospää sulattaa tai liuotta nesteeseen tulostusmateriaalin ja suihkuttaa tulostinalustalle liukenevan materiaalin, joka kovettuu ohuina kerroksina haluttuun kohtaan. Malli muodostuu näin ohuista kerroksista. (19.)

5.2 Betonin 3D-tulostaminen

Nykyään on mahdollista 3D-tulostaa kokonaisia rakennuksia käyttäen betonia materiaalina. Kuten muihinkin 3D-tulostuksiin, tarvitaan vain tietomalli tulevasta rakennuksesta, jotta robotti osaa alkaa tulostaa betonia oikeisiin kohtiin. Betonia tulostetaan sitten normaalisti kerros kerrokselta tulostuspäältä ulos. (20.)

Kun tietomalli on ladattuna ja robotti asennettuna työmaalla, voidaan betonia tuoda työmaalle normaalisti betoniautolla. Betoni kaadetaan säiliöön, josta se pumpataan betoniletkuun, joka on yhdistetty betonin tulostuspäähän. (20.)

Yksi tärkeimpiä asioita on oikeanlaisen betonin koostumuksen löytäminen. Betonin tulee olla tarpeeksi juoksevaa, jotta tulostuspää ei tukkeudu. Sen tulee myös kovettua nopeasti ja pysyä tarpeeksi märkänä, jotta se sitoutuu ja pystyy kannattamaan uuden kerroksen betonia. Tähän käytetäänkin betonin lisäaineita apuna,

jotta betoniin ei tarvitse käyttää niin paljoa vettä, jolloin se kovettuu nopeammin. (20.)

Betonin 3D-tulostaminen säästää myös paljon aikaa, rahaa ja vähentää työtapa-turmien riskiä. Siinä ei tule vastaan lainkaan muottityötä, joten myös tulostettavan rakennuksen muodot voivat olla paljon monimutkaisempia. (21.)

Betonin 3D-tulostaminen tuottaa myös paljon vähemmän jätettä. Kun betonia tulostetaan tarpeen mukaan ja vain oikeaan paikkaan, jätettä ei käytännössä synny yhtään. Se on myös paljon edullisempaa kuin tavanomainen rakentaminen, koska työvaiheita on vähemmän, tarvitaan vähemmän työntekijöitä ja käytetään vähemmän materiaalia. (22.)

5.3 3D-tulostamisen mahdollisuudet

3D-teknologia on ollut olemassa noin 30 vuotta, mutta vasta viime vuosikymmenellä yleistynyt kuluttaja-asiakkaiden piiriin. Tämä on vauhdittanut teknologian kehitystä ja 3D-tulostamisen tietoon tulemistä ihmisten keskuudessa. Nykyään 3D-tulostamista käytetään melkein jokaisella teollisuuden alalla ja sen avulla pystytään tulostamaan melkein mitä tahansa materiaalia. (23.)

Vuonna 2016 Yhdysvalloissa tutkijat onnistuivat tulostamaan eläviä kudoksia, jotka säilyivät elossa koe-eläimessä. Kokeessa tutkijat siirsivät tulostetun korvan hiiren ihon alle ja kaksi kuukautta siirtämisen jälkeen korva oli säilynyt hengissä ja muuttunut rustoksi. Tämä avaa etenkin lääketieteelle mahdollisuuksia, kun tutkimusten mukaan on mahdollista tulostaa myös luuta, lihasta ja rustoa ihmisille. (23.)

Lentokonevalmistaja Airbus on ottanut 3D-tulostamisen käyttöön. Airbus A350 XWB lentokoneessa on käytetty 3D-tulostettuja osia yli 1 000 kappaletta. Tämäkin kertoo jo tulostettavien osien laadusta ja luotettavuudesta, kun ne ovat läpäisseet lentoyhtiöiden turvallisuusstandardit. (24.)

Kehitteillä on ollut viimeiset vuodet suuria tulostimia, joilla voi rakentaa suuria kokonaisuuksia, esimerkiksi rakennuksia. Näissä rakennus tulostetaan betonia purstottavan suuttimen avulla. NASA aloitti vuonna 2014 haasteen, jonka tarkoituksena on suunnitella, kehittää ja 3D-tulostaa kestäviä ihmisille asuttavaksi tarkoitettuja rakennuksia. Haasteen tarkoituksena on edistää sellaisten teknologioiden kehittämistä, joiden avulla voidaan valmistaa rakennuksia käyttäen ympäriltä saatavaa olevaa materiaalia. Näkemyksenä NASAlla on, että automaattiset koneet lähetetään avaruuskohteeseen ennen ihmisiä ja ne rakentaisivat elintilat valmiiksi ihmisille. Maapallolla näitä samoja tekniikoita voitaisiin käyttää kohtuuhintaisten asuntojen tuottamiseen sinne, missä niille on tarvetta tai missä rakennusmateriaalien ja taitojen käyttö on rajallista. (25.)

6 VALMIIT HANKKEET

Luvuissa 6.1 - 6.4 kuvataan rakennusalalla toimivia valmiita automaatio- ja teollisuusrobottijärjestelmiä. Teollisuusrobotit eivät ole muuttaneet rakennusalaa vielä oikein mihinkään suuntaan, mutta kehitteillä on useita aikaisessa vaiheessa olevia järjestelmiä, jotka saattavat mullistaa rakentamisen aivan uudelleenlaisiksi.

6.1 MX3D-Kävelysilta

Alankomaalainen yritys MX3D 3D-tulosti ruostumattomasta teräksestä täysin toimivan kävelysillan (kuva 8). Kävelysillasta tuli 12,5 m pitkä ja 6,3 m leveä. Kävelysiltaa 3D-tulostettiin neljän kiertyvänivelisen teollisuusrobotin avulla 6 kuukautta ja se vaati 1 100 km teräslankaa, eli 4 500 kg ruostumatonta terästä. (26.)



KUVA 9. Kävelysillan tulostaminen (26)

Käyttämällä vähintään 6-akselista kiertyvänivelistä teollisuusrobottia pystytään tulostamaan paljon monimutkaisempia muotoja kuin perinteisissä 3-akselisissa järjestelmissä. Tämän takia pystytään myös tulostamaan suurempia osia, jotka ovat teollisuusrobotin ulottuvuuden ulkopuolella, yksinkertaisesti vain siirtämällä robottia tulostuksen aikana. Tätä käytäntöä kutsutaan laatikon ulkopuolella tulostamiseksi. (27.)

3D-tulostaminen myös vähensi materiaalin käyttöä ja jätteen syntyä. 6-akselisella teollisuusrobotilla pystytään tulostamaan juuri sellaisia muotoja kuin tarvitaan. Kun kävelysillan muodot oli optimoitu painoon ja lujuteen, voitiin vähentää merkittävästi materiaalin käyttöä (kuva 9). (28.)



KUVA 10. Valmis kävelysilta (29)

CAD:sta tulostukseen kuluu aikaa useimmissa tapauksissa vain alle tunti ja pystytään tulostamaan jopa yli 2 kilogrammaa tunnissa. Tällä tekniikalla pystytään lisäämään tuotantoa ja vähentämään läpimenoaikaa huomattavasti. (28.)

6.2 Construction Robotics

Yhdysvaltalainen yritys Construction Robotics on perustettu vuonna 2007 tavoitteenaan tuoda robotiikan ja automaation oikeille rakennustyömaille. Construction Robotics on kehittänyt muuraukseen ja suurien harkkojen nostoon tarkoitettuja teollisuusrobotteja ja apuvälineitä. Tärkeimpiä näistä ovat luvuissa 6.2.1 – 6.2.2 kuvattavat SAM100 ja MULE.

6.2.1 SAM100

SAM on lyhenne Semi-Automated Masonista (kuva 10) eli puoliautomaattisesta muurarista. Se on ensimmäinen kaupallisesti saatavilla oleva muurausrobotti, joka on suunniteltu toimimaan yhteistyössä muurarien kanssa. SAM100 ei kuitenkaan kykene täysin automatisoituun työhön vaan tarvitsee vähintään kaksi ihmistä toimimaan sen kanssa. Toisen ihmisen täytyy syöttää järjestelmään tiiliä ja laastia, toisen taas viimeistellä ja saumata muurausta robotin perässä. (30.)



KUVA 11. SAM100 (28)

SAM100:ssa on useita automaattisia järjestelmiä, jotka toimivat yhdessä. Siinä on kiertyvänivelinen teollisuusrobotti kätenä, joka tarttuu tiileen ja vie sen laastipisteelle. Laastipisteellä SAM100 kiinnittää laastin suoraan tiileen ja vie sen muurattavalle seinälle oikeaan kohtaan. SAM100 löytää oikean kohdan seinästä anturiteknologialla. Kun SAM100 on mastolavalla ja ihmiset kulkevat vieressä ja tuuli heiluttaa mastolavaa, on SAM100:n korjattava omaa liikettään vastaamaan heilumista. Se onnistuu, kun seinään ja robotin käteen on kiinnitetty laseranturi, jolloin se laskee tiilen siihen paikkaan, missä lasersäteet kohtaavat. (31.)

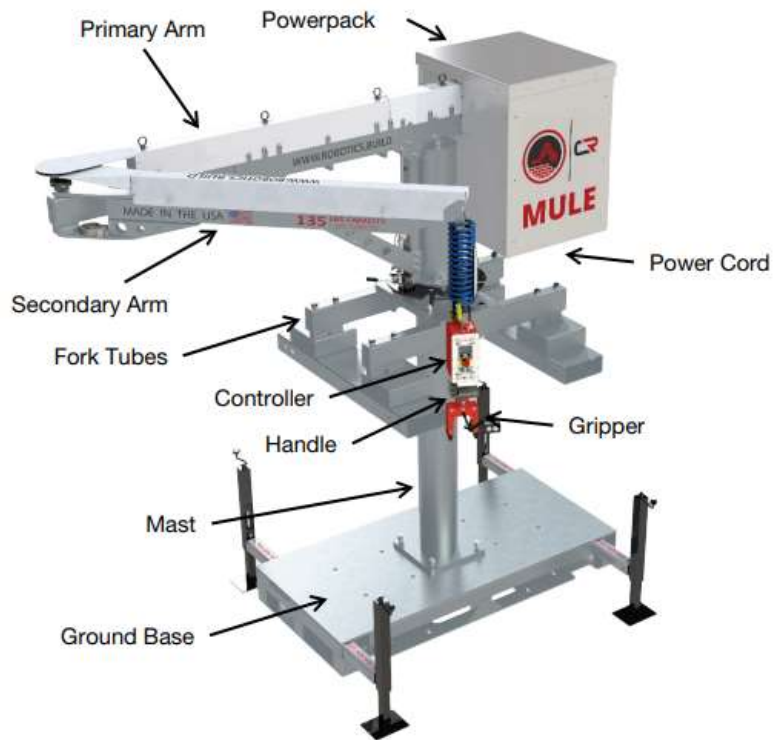
SAM100 kykenee muuraamaan 3 000 tiiltä päivässä, kun ihminen pystyy vain noin 1 000 tiiltä. Construction Robotics on onnistunut kaksinkertaistamaan muurausrobotin nopeuden vain muutamassa vuodessa. Se edistää myös työntekijöiden työterveyttä ja työturvallisuutta, kun itse nostotyö on laskenut 80 %. Tällä

hetkellä riittää, että työntekijät syöttävät tiilet ja muurauslaastit koneeseen niin SAM100 hoitaa loput. (30.)

SAM100:n asentamisessa työmaalle on kolme eri vaihetta. Ensimmäisessä vaiheessa on muurattavan seinän kohdalle asennettava mastolava ja mastolavaan raiteet SAM100:lle. Seuraavaksi SAM100 nostetaan mastolavalle esimerkiksi kurottajalla. Toinen vaihe on mittausprosessi, kun SAM100 kytketään päälle se pyytää tietoja siitä, missä ikkunat, ovet tai muut detaljit sijaitsevat. Kolmannessa vaiheessa laitetaan SAM100 päälle ja töihin. Työntekijä lataa muurausrobottiin tiilet, laastin ja näyttää robotille, missä laserohjaus sijaitsee. Sen jälkeen SAM100 kykenee muuraamaan itsenäisesti. (31.)

6.2.2 MULE

MULE on lyhenne Material Unit Lift Enhancerista (kuva 11), mikä on suomeksi materiaaliyksikön nostolaite. MULE on nostoapuväline, joka on suunniteltu käsittelemään ja asentamaan apuna paikoilleen jopa 65 kg painavia kappaleita rakennustyömaalla. MULE:n lisälaitteita voidaan suunnitella mihin tahansa nostotyöhön sopiviksi, mikä tekee siitä erittäin monipuolisen. MULE:n avulla nostettava materiaali saadaan tuntumaan painottomalta. (32.)



KUVA 12. MULE (32)

Työntekijältä MULE poistaa toistuvista nostotöistä aiheutuvan uupumisen ja fyysisen haitan (kuva 12). Yksinkertaisen ohjauksen ja käytön vuoksi se lisää työn tuottavuutta työskentelemällä älykkäämmin ja johdonmukaisemmin koko päivän. Se myös pidentää työuria, koska fyysistä voimaa ei tarvitse käyttää enää niin paljo. (32.)



KUVA 13. MULE käytössä työmaalla (32)

MULE maksaa itsensä takaisin jopa kuudessa kuukaudessa. Säästöt syntyvät, kun työ nopeutuu ja työntekijöiden ei tarvitse enää nostaa tuhansia kiloja turhaan itse. Myös tapaturmariski pienenee huomattavasti, kun työntekijät eivät ole uuvuksissa pelkästään nostotöistä. Tämä parantaa myös laatua huomattavasti, kun energiaa ei kulu pelkästään kappaleiden liikuttamiseen. (33.)

6.3 Hiontarobotti

VTT:lle tehdyssä maisterin työssä käytettiin teollisuusrobottia tasomaisen pinnan ja suoran sauman hiontaan. Työ oli osa projektia, jossa tutkittiin, suunniteltiin ja kehitettiin pidemmälle teollisuusrobotin käyttöä hiontaan käyttäen off-line -ohjelmointityökalua. Työssä teollisuusrobotti varustettiin voima-anturilla, hiontatyökaluilla, 3D-kameroilla ja 2D-profiiliskannereilla. (34.)

Testeissä käytetty teollisuusrobotti oli KUKA KR120 R2500 PRO (kuva 13), mikä on 6-akselinen teollisuusrobotti. Sen käsittelykyky on 120 kg ja ulottuvuus 2,5 m.



KUVA 14. KUKA KR120 R2500 PRO (34, s. 48)

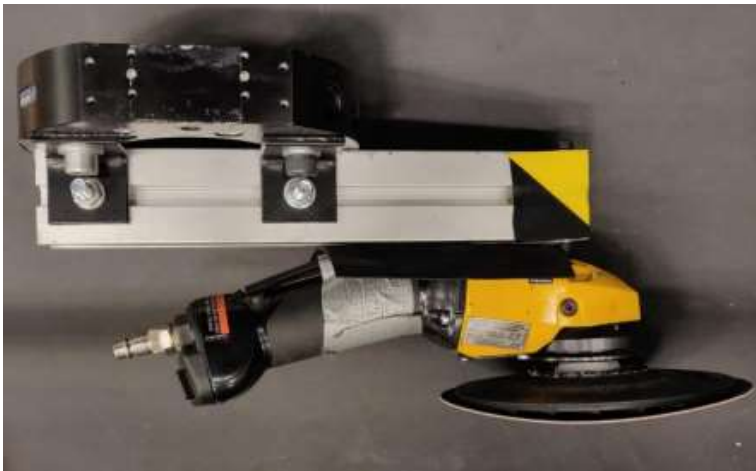
Teollisuusrobottiin on viidenteen niveleen kiinnitetty voima-anturi ja se muuntaa väännöstä ja voimasta saadut signaalit arvoiksi, jotka voidaan lähettää robotille. Anturi mittaa jopa 2 500 newtonin voimia X- ja Y-suunnista ja 6 250 newtonin voimia Z-suunnasta. Mitattavissa oleva maksimi vääntömomentti on 400 newtonmetriä kaikissa suunnissa. (34, s. 49.)

Teollisuusrobottiin on kiinnitetty myös 2D-Profiiliskanneri, joka on suunniteltu teolliseen käyttöön. Se tarjoaa profiilin skannaukseen tarvittavan tarkkuuden ja siihen saa myös suojakuoren vaativimpiin teollisuuden ympäristöihin. (34, s. 50.)

Teollisuusrobotissa käytetty 3D-syvyyssensori sisältää parin syvyyssensoreita, RGB (Red, Green, Blue) sensorin ja infrapunaprojektorin. Kaksi syvyyssensoria käyttää stereokuvaa laskeakseen syvyyden ja infrapunaprojektorin käytetään valaisemaan kappaleita strukturoidulla valolla ja parantamaan siten saatua syvyysdataa. Kuva-anturit tarjoavat tarkkuudeltaan jopa 1 280x720 kuvaa, joista syvyys voidaan laskea eroavuuksien perusteella. (34, s. 52.)

Teollisuusrobotille tehtiin kaksi paineilmalla toimivaa hiontatyökalua, kulmahiomakone ja hiomakone. Työkaluja pystyi olemaan vain yksi kerrallaan käytössä

teollisuusrobotissa ja niitä vaihdettiin käsin eri hiontoja varten (kuvat 14 ja 15).
(34, s. 52.)



KUVA 15. Atlas Copco GTG21 F085-18 kulmahiomakone (34)



KUVA 16. Atlas Copco LST30 HO90-15 hiomakone (34)

Ennen kuin hiontaprosessi voi alkaa, tulee hiottava kappale globaalipaikantaa 3D-syvyyskameralla ja nämä tiedot syötetään ohjelmaan. Ohjelma laskee kappaleen sijainnin ja suunnan ja antaa 3D-mallin sijainnin suhteessa robottiin. Tämä kappaleen päivitetty sijainti sallii skannausliikkeiden aloittamisen. Kappaleen sauma skannattiin 2D-profiiliskannerilla, jotta saatiin luotua tarkempi kuva hiottavasta alueesta. (34, s. 71.)

Kun tarkka kuva on saatu hiottavasta alueesta, aloitetaan sauman kumminkin puolin hiominen kulmahiomakoneella kahteen kertaan, jotta saadaan kaikki ylimääräinen materiaali pois hitsauksesta. Tämän jälkeen hionnan tuloksena oli terävä nurkkaus sivujen välillä. Jos saumaan haluttiin lisää pyöreyttä, sitä hiottiin kulmahiomakoneella pyöreämmäksi. Viimeisenä vaihdettiin hiomakone kulmahiomakoneen tilalle ja hiottiin sauma pyörivillä liikkeillä tasaiseksi (kuva 16). (34, s. 74.)



KUVA 17. Kappaleen sauma ennen hiontaa, kulmahiomakoneen jälkeen ja hiomakoneen jälkeen (34)

6.4 Tupo 8

Kiinalaisen Tupo machineryn kehittämä seinäntasointusrobotti on hyvä esimerkki ihmisen ja koneen automaation välisestä yhteistyöstä. Tupo 8 vaatii vähintään yhden ihmisen auttamaan konetta työssään. Tupo 8 pystyy itse tasoittamaan seinän kohdan, johon se on sijoitettu, mutta vaatii ihmisen täyttämään laastilla kaukalonsa (kuva 17), siirtämään sen seuraavaan kohtaan ja tukemaan sen paikoilleen. (35.)



KUVA 18. Kaukalon täyttö (36)

Tupo 8 käyttö aloitetaan tuomalla se huoneeseen ja asettamalla sen tasoitettavan seinän viereen. Tämän jälkeen alhaalla olevat tukijalat tuetaan maahan, minkä jälkeen Tupo 8 alkaa tasaamaan itseään kohtisuoraan seinästä käyttäen hydraulisia sauvoja. Kaltevuusanturi kertoo sitten, kun järjestelmä on kohtisuorassa seinää kohden. Kun Tupo 8 on kohtisuorassa seinään kohden, tuetaan se sivussa olevilla tuilla kattoon asti käyttäen hydraulista jalkapumppua. Tämän jälkeen laastikaukalo täytetään laastilla ja Tupo 8 irrottaa seinästä hydrauliset sauvat, jotta tasoitelasta pääsee niiden ohi kattoon saakka. Sitten Tupo 8 laitetaan käyntiin ja se nostaa laastikaukalonsa ja kaataa laastia seinään ja kiinnittää sen kattoon asti tasoitelastalla (kuva 18). Alaspäin tullessaan Tupo 8 tasoittaa työn jälkensä vielä. Alastulon jälkeen voidaan alhaalla olevat tukijalat nostaa takaisin ylös ja laskea koneen sivutuet irti katosta. Seuraavana vuorossa on siirtää Tupo 8 koneen verran, jotta seuraava kohta voidaan tasoittaa. (37.)



KUVA 19. Laastin kiinnitys seinään (38)

Tupo 8:aa voidaan käyttää kaikille erilaisille seinille ja kaikilla olemassa olevilla laastitasoiteilla, mikä tekee siitä erityisen monipuolisen laitteen. Siinä on myös taittavat sivutuet, jotta sen voi siirtää oviaukoista huoneesta toiseen helposti. (39.)

Tupo 8 tasaa itsensä kohtisuoraan 14 sekunnissa ja yhden kohdan tasoitukseen kuluu aikaa noin 45 sekuntia. Nopean syklin vuoksi sillä pystytään tasoittamaan päivässä jopa 450-650 neliometriä. Tupo 8 on myös erittäin tarkka, sillä työn jälki pysyy +/- 1 mm:n toleranssissa. Se myös vähentää hukkaan menevän laastin määrää noin 60 prosentilla, koska seinältä pudonneet laastit voidaan lapioida laastikaukaloon takaisin. (40, 41.)

7 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä automaation ja robotiikan hyödyntämiseen rakennusalalla. Ensimmäisenä esiteltiin teoriaa automaation ja robotiikan taustalla, minkä jälkeen selvitettiin, miksi automatisointia tarvitaan rakennusallakin. Lopuksi tuotiin esille valmiita teollisuusrobotijärjestelmiä.

Opinnäytetyössä todettiin, että automaatio ja teollisuusrobotit tulevat lähitulevaisuudessa vaikuttamaan merkittävästi rakennusalaan, kun rakennusyrietykset pyrkivät automatisoimaan yhä enemmän tehtäviä maksimoidakseen tehokkuuden ja tuottavuuden. Tämän vuoksi myös rakennusrobottien kysyntä tulee kasvamaan tasaisesti.

Automaation avulla pitäisi olla myös mahdollista parantaa laatua ja nopeuttaa työn läpimenoaikaa, jolloin asiakastytyväisyyskin olisi korkeammalla. Tulevaisuudessa, kun suurin osa kohteista on jo täysin mallinnettu liitoksia myöten, voisi olla mahdollista itse rakennustyömaalla 3D-tulostaa tarvittava kappale.

Haasteena robotiikan tuomisessa rakennustyömaalle tulee olemaan se, että yleensä teollisuusrobotit on pultattu maahan tehdashallissa, mikä ei ole mahdollista rakennustyömaalla. Robottien ja muiden laitteiden aiheuttamat vaaratilanteet tulee kuitenkin saada hallintaan, mikä käytännössä tarkoittaa sitä, että robotti tulee rajata kokonaan muusta ympäristöstä, koska rakennustyömaalla tulee aina olemaan ihmisiä mukana.

Robotit ja automaatio tulevat myös parantamaan ihmisen elämänlaatua poistamalla raskaita ja paljon toistoa vaativia työvaiheita. Tällöin loukkaantumisia ja muita vammoja syntyy vähemmän, kun raskaat työvaiheet on ulkoistettu koneelle. Tämä mahdollistaa aiempaa pidemmät työurat rakentamisen parissa.

LÄHTEET

1. Automaatio. 2018. Wikipedia. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Automaatio>. Hakupäivä 30.10.2018.
2. Koskinen, Kari 2018. Automaation historia, nykytila ja tulevaisuus. Automaatioseura. Saatavissa: https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1380/automaatio_ennen_nyt_ja_tulevaisuudessa_av_artikkelisarja_2018.pdf. Hakupäivä 30.4.2019.
3. SFS-EN ISO 10218-1. 2011. Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Teollisuusrobotit. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
4. Teollisuusrobotit. ABB. Saatavissa: <http://www.abb.fi/cawp/seitp202/eb0f9942b4ed6301c125784d0053bb94.aspx>. Hakupäivä 30.10.2018.
5. Robotin tyypit. Robotworx. Saatavissa: <https://www.robots.com/faq/what-are-the-main-types-of-robots>. Hakupäivä 30.10.2018.
6. Kiertyvänivelinen robotti. Robotworx. Saatavissa: <https://www.robots.com/articles/articulated-robots-more-axes-equal-more-possibilities>. Hakupäivä 30.10.2018.
7. Robottityypit. 2017. Arbotist. Saatavissa: <http://www.arbotist.com/types-of-robots.html>. Hakupäivä 30.10.2018.
8. Collins, Danielle 2018. Cartesian robot Saatavissa: <https://www.linearmotion-tips.com/what-is-a-cartesian-robot/>. Hakupäivä 30.10.2018.
9. Sylinterinen robotti. All on robots. Saatavissa: <http://www.allonrobots.com/cylindrical-robot.html>. Hakupäivä 30.10.2018.
10. Gonzalez, Carlos 2016. Sylinterinen robotti. Saatavissa: <https://www.machinedesign.com/robotics/what-s-difference-between-industrial-robots>. Hakupäivä 30.10.2018.

11. Teollisuusrobotin hyödyt ja haitat. Robotworx. Saatavissa: <https://www.robots.com/blogs/advantages-and-disadvantages-of-automating-with-industrial-robots>. Hakupäivä 30.10.2018.
12. Robotin takaisinmaksuaika. Robotworx. Saatavissa: <https://www.robots.com/articles/how-to-calculate-the-return-on-investment-of-a-robotic-system>. Hakupäivä 30.10.2018.
13. Mölsä, Seppo 2017. Rakennusalalla työn tuottavuus ei ole kasvanut 40 vuodessa. Saatavissa: <https://www.rakennuslehti.fi/2017/09/rakennusalalla-tyon-tuottavuus-ei-ole-kasvanut-40-vuodessa-onko-allianssista-tai-leanista-apua/>. Hakupäivä 23.5.2019.
14. Tuottavuus. 2002. Tuottavuus valuu käsistä. Saatavissa: <https://www.talouselama.fi/uutiset/tuottavuus-valuu-kasista/1230a67c-88d3-31f0-a529-48b95bf71137>. Hakupäivä 23.5.2019.
15. Taajuudet. 2018. Tapaturmavakuutuskeskus. Saatavissa: <https://www.tvk.fi/tietopalvelu-ja-julkaisut/tilastokirja-2018/taajuudet/>. Hakupäivä 16.5.2019.
16. Toimialojen tilastot. 2018. Tapaturmavakuutuskeskus. Saatavissa: <https://www.tvk.fi/tietopalvelu-ja-julkaisut/tilastokirja-2018/toimialojen-tilastot/rakentamisen-tyopaikkatapaturmataajuus-jatkaa-laskua/>. Hakupäivä 16.5.2019.
17. Työturvallisuus rakennusalalla. 2018. Rakennusteollisuus. Saatavissa: <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Tyoturvallisuus/Tyoturvallisuus-rakennusalalla-perustietoa/>. Hakupäivä 16.5.2019.
18. SFS-EN ISO 52900. 2017. Materiaali lisäävä valmistus. Yleiset periaatteet. Terminologia. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
19. Kolmiulotteinen tulostus. 2019. Wikipedia. Saatavissa: https://fi.wikipedia.org/wiki/Kolmiulotteinen_tulostus. Hakupäivä 9.5.2019.

20. Greguric, Leo 2018. Concrete 3D printing. Saatavissa: https://all3dp.com/2/concrete-3d-printing-how-to-do-it-and-application/?fbclid=IwAR2JQXVLkXpsTPGHIZaeJWc-9KmJ_sehdzkl7GwDDYdVLd9yRkXKQo5TCTs. Hakupäivä 17.5.2019.
21. The future of construction. 2018. 3Dnatives. Saatavissa: <https://www.3dnatives.com/en/3d-printing-construction-310120184/>. Hakupäivä 17.5.2019.
22. Cherdo, Ludivine 2019. Construction 3D printers. Saatavissa: <https://www.aniwaa.com/house-3d-printer-construction/>. Hakupäivä 17.5.2019.
23. 3D kudostulostus. 2016. Nature biotechnology. Saatavissa: <https://www.nature.com/articles/nbt.3413#close>. Hakupäivä 9.5.2019.
24. Airbus. 2015. Bbc. Saatavissa: <https://www.bbc.com/news/technology-32597809>. Hakupäivä 9.5.2019.
25. 3D-printed Habitat challenge. 2018. NASA. Saatavissa: https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/centennial_challenges/3DPHab/top-10-virtual-model-stage. Hakupäivä 9.5.2019.
26. Kävelysilta. DDW. Saatavissa: <https://www.ddw.nl/programme/140/mx3d-bridge>. Hakupäivä 20.11.2018.
27. Siltaprojekti. MX3D. Saatavissa: <https://mx3d.com/projects/bridge-2/>. Hakupäivä 20.11.2018.
28. Siltaprojekti MX3D. Saatavissa: <https://mx3d.com/about/>. Hakupäivä 20.11.2018.
29. Kävelysilta. 2018. DDW. Saatavissa: <https://www.ddw.nl/en/news/234/mx3d-bridge-wins-public-award-at-dutch-design-awards-2018>. Hakupäivä 20.11.2018.
30. SAM100 ja MULE. Construction Robotics. Saatavissa: <https://www.construction-robotics.com/sam100/>. Hakupäivä 6.1.2019.

31. SAM100. Construction Robotics. Saatavissa: <https://www.construction-robotics.com/video/#>. Hakupäivä 6.1.2019.
32. MULE. Construction Robotics. Saatavissa: <https://www.construction-robotics.com/mule/>. Hakupäivä 15.4.2019.
33. MULE. Construction Robotics. Saatavissa: <https://www.construction-robotics.com/wp-content/uploads/2019/02/MULE-135-MANUAL.pdf>. Hakupäivä 15.4.2019.
34. Saukkoriipi, Janne 2019. Design and implementation of robot skill programming and control. Oulun yliopisto. Saatavissa: <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201902071166.pdf>. Hakupäivä 10.5.2019.
35. Tupo 8. Tupo machinery. Saatavissa: <https://www.tupo-machinery.com/info/automatic-wall-rendering-machine-is-5-times-than-the-labor-work-i00013i1.html>. Hakupäivä 15.5.2019.
36. Tupo 8. 2017. Tupo machinery. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=mpUwMDEPWOY>. Hakupäivä 15.5.2019.
37. Tupo 8. 2019. Tupo machinery. Saatavissa: <https://www.tupo-machinery.com/art/tupo-plastering-machine-series-1-to-8-32.html>. Hakupäivä 15.5.2019.
38. Tupo 8. 2017. Tupo machinery. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=mpUwMDEPWOY>. Hakupäivä 15.5.2019.
39. Tupo 8. Tupo machinery. Saatavissa: <https://www.tupomachinery.com/info/8-breakthrough-in-tupo-8-i00008i1.html>. Hakupäivä 15.5.2019.
40. Tupo 8. Tupo machinery. Saatavissa: <https://www.tupo-machinery.com/info/automatic-wall-rendering-machine-is-5-times-than-the-labor-work-i00013i1.html>. Hakupäivä 15.5.2019.

41. Tupo 8. Tupo machinery. Saatavissa: <https://www.tupo-machinery.com/info/automatic-rendering-machine-tupo-8-can-help-you-a-lot-in-the-summer-i00015i1.html>. Hakupäivä 15.5.2019.