

Heikkinen Peetu

Raepuhalluksen automatisoinnin esiselvitys



Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Kevät 2021



KAMK • University
of Applied Sciences

Tiivistelmä

Tekijä(t): Heikkinen Peetu

Työn nimi: Raepuhalluksen automatisoinnin esiselvitys

Tutkintonimike: Insinööri (AMK), konetekniikka

Asiasanat: Raepuhallus, esikäsitteily, robotiikka, automaatio, prosessi

Tämän työn toimeksiantajayrityksenä toimi Škoda Transtech Oy. Yrityksessä valmistetaan vaativiin olosuhteisiin suunniteltuja kiskokalusto- ja konepajatuotteita. Tällä hetkellä kaikki tuotteet esikäsitellään raepuhaltamalla käsin. Käsin tehty raepuhallus on ihmiselle raskasta, kuluttavaa ja riskialtista. Yrityksessä on mietitty raepuhalluksen automatisointia, joten tässä opinnäytetyössä on selvitetty, onko raepuhalluksen automatisointi mahdollista laitteisto- ja tilavaatimukset huomioiden. Työn tavoitteena oli tehdä selvitys siitä, onko automatisoitu raepuhallus soveltuva toimeksiantajan käyttöön ja mitä hyötyjä tai haittoja siitä olisi.

Metallin esikäsitteily ennen pinnoitusta on todella tärkeää. Pinta tulee puhdistaa rasvasta ja liasta huolellisesti, jonka jälkeen pinta esikäsitellään joko käsin tai koneellisesti. Raepuhallus on esikäsitteilymenetelmistä tehokkain. Robotisoidulla raepuhalluksella voidaan saavuttaa parannuksia tuotteen esikäsitteilyn laadussa, puhallusprosessin tehokkuudessa sekä työturvallisuudessa.

Työssä esiteltiin raepuhallusrobottitoimittajat Blastman Robotics Oy ja Clemco Danmark A/S, joilla on valikoimissaan toimeksiantajayrityksen raepuhaltamoon soveltuva gantry-tyyppinen robottimalli. Molemmat toimittajat räätälöivät robotin aina asiakkaan pintakäsittelylinjaan sopivaksi. Blastman Robotics Oy simuloi toimeksiantajayrityksen esimerkkikappaleen raepuhallusajan robotilla.

Lopputuloksena selvisi, että robottipuhallus sopisi erinomaisesti toimeksiantajan käyttöön tuoden huomattavan säästön raepuhallustunneissa, sekä merkittävän nousun tehokkuudessa ja työturvallisuudessa.

Abstract

Author(s): Heikkinen Peetu

Title of the Publication: Preliminary Study of Abrasive Blasting Automation

Degree Title: Bachelor of Engineering, Mechanical Engineering

Keywords: abrasive blasting, pretreatment, robotics, automation, process

The company commissioning this work was Škoda Transtech Oy. The company manufactures rail equipment and workshop products designed for demanding conditions. Currently, all the products are pre-treated with a hand-held abrasive blaster. Abrasive blasting with a hand-held blaster is hard, wearing and risky. The company has been thinking of automating abrasive blasting, so in this thesis it has been investigated whether abrasive blasting automation is possible with hardware and space requirements in mind. The aim of the work was to find out whether automated abrasive blasting is suitable for the client's use and what the advantages or disadvantages would be.

Pre-treatment of metal before coating is vitally important. The surface must be thoroughly cleaned of grease and dirt, after which the surface is pretreated either manually or mechanically. Shot blasting is the most efficient of the pre-treatment methods. Robotic shot blasting can achieve improvements in product pre-treatment quality, blasting process efficiency and occupational safety.

The work introduced the blasting robot suppliers Blastman Robotics Oy and Clemco Danmark A / S, which have a gantry-type robot model suitable for the client's blasting plant. Both suppliers always tailor the robot to suit the customer's surface treatment line. Blastman Robotics Oy simulates the abrasive blasting time of the client company's example product with a robot.

As a result, it was found that robotic blowing would be ideal for the client, bringing considerable savings in blasting hours, as well as a significant increase in efficiency and occupational safety.

Alkusanat

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimi työnantajani Škoda Transtech Oy. Työskentelen päivittäin pintakäsittelyyn liittyvien asioiden parissa ja mahdollisuutta raepuhalluksen robotisointiin olen pyöritellyt päässäni pidemmän aikaa. Näin ollen aihe oli minulle hyvin mielenkiintoinen ja sain tehdä työn tutussa työympäristössä. Koulun puolelta ohjaavana opettajana toimi Sami Räsänen ja toimeksiantajan puolelta työtä ohjasi Janne Huotari.

Haluan kiittää edellä mainittuja henkilöitä saamastani avusta opinnäytetyöprosessin aikana. Kiitos myös muille Škoda Transtechilla työskenteleville henkilöille, jotka tukivat minua prosessin aikana. Sain myös Blastman Robotics Oy:lta hyvin tärkeää tietoa opinnäytetyön lopputuloksiin, joten kiitos sinne päähän yhteyshenkilölle Teemu Junilalle ja ohjelmointiporukan Kalle Soutukorvalle. Lisäksi haluan kiittää perhettäni ja ystäviäni kaikesta saamastani tuesta ja ymmärryksestä opinnäytetyön sekä koko opiskelun aikana.

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Škoda Transtech Oy	2
3	Metallin puhdistus ja esikäsittely ennen maalausta	3
3.1	Rasvan ja lian poisto	3
3.2	Esikäsittelymenetelmän valintaperusteita	4
3.3	Raepuhallus	5
3.4	Puhdistus koneellisesti ja käsityökaluilla.....	6
4	Teollisuusrobotit.....	7
4.1	Robotti.....	7
4.2	Robottien historiaa.....	8
4.3	Robotit nykypäivänä.....	9
4.4	Teollisuusrobottityypit	13
4.5	Robotin käyttökohteita	14
4.6	Automatisoitu raepuhallus.....	14
4.7	Robotisoinnin hyötyjä	16
4.8	Robotisoinnin kustannukset.....	17
4.8.1	Investointikustannukset	17
4.8.2	Käyttökustannukset.....	18
5	Teollisuusrobotin turvallisuus	19
5.1	Vaarat ja niiden tekijät	19
5.2	Riskialttiit työtehtävät	21
5.3	Turvallisuussuunnittelu	22
6	Robotisoinnin suunnittelu	23
6.1	Vaihtoehdot robotin hankinnassa.....	23
6.2	Lähtötilanteen analysointi.....	24
7	Nykytilanteen määrittäminen.....	25
7.1	Raepuhaltamo	25
7.2	Raepuhalluslaitteisto ja rakeen kierrätys	28

8	Raepuhallus käsin vai robotilla	34
9	Laitteiston ja tilan vaatimukset	35
10	Raepuhallusrobottevalmistajia	36
10.1	Blastman Robotics Oy	36
10.2	Clemco Danmark A/S	38
11	Kapasiteettivertailun tulokset	40
12	Jatkoehdotukset	41
13	Yhteenveto	42
	Lähteet	43
	Liitteet	

Käsitteitä:

Esikäsitteilyaste	Kuvaa pinnan esikäsitteilymenetelmää ja puhdistusastetta.
Korroosio	Metallin hapettuminen ympäristön vaikutuksesta.
Puhallusrae	Kiinteä aine, jota käytetään raepuhalluksessa.
Sykloni	Raskaammat partikkelit erotetaan kevyemmistä voimakkaassa pyörimisliikkeessä keskipakoisvoiman avulla.

1 Johdanto

Toimeksiantajayrityksessä valmistetaan vaativiin olosuhteisiin suunniteltuja kiskokalusto- ja konepajatuotteita. Tällä hetkellä kaikki tuotteet esikäsitellään raepuhaltamalla käsin. Käsin tehty raepuhallus on ihmiselle raskasta, kuluttavaa ja riskialtista. Yrityksessä on mietitty raepuhalluksen automatisointia. Tavoitteena on tehdä selvitys siitä, onko automatisoitu raepuhallus soveltuva toimeksiantajan käyttöön ja mitä hyötyjä tai haittoja siitä olisi.

Työssä on tarkoitus selvittää mahdollisuus toisen raepuhaltamon automatisointiin robotilla. Tällöin suurikokoisien kappaleiden ja sarjojen puhallus voidaan tehdä robotilla ja toisessa raepuhaltamossa voidaan raepuhaltaa käsin satunnaisia kappaleita. Toimeksiantajayrityksessä mahdollisuus käsin tehtävään raepuhallukseen on välttämätön, sillä raepuhallettavia kappaleita on paljon erilaisia, joista osa tulee raepuhallettavaksi satunnaisesti ja pienissä sarjoissa. Jos raepuhallusta ei voida suorittaa käsin, robotin ohjelmointi satunnaisille raepuhallettaville kappaleille veisi liian paljon aikaa. Raepuhallusrobotilla voidaan myös puhaltaa yksittäisiä kappaleita manipulaattorijolla, eli joystickkeillä ohjaushytistä käsin.

Työssä esitellään toimeksiantajayritys, käydään läpi metallin esikäsitteilyn teoriaa ja eri esikäsitteilymenetelmiä sekä teollisuusrobotiikan historiaa, turvallisuutta ja eri sovelluksia. Työssä määritellään raepuhalluksen nykytila ja selvitetään, onko automatisoitu raepuhallus mahdollista toteuttaa toimeksiantajayrityksessä laitteisto- ja tilavaatimukset huomioiden.

2 Škoda Transtech Oy

Škoda Transtech Oy on Euroopan johtava vaativiin olosuhteisiin suunnitellun kiskokaluston valmistaja ja merkittävä keskiraskaiden konepajatuotteiden sopimusvalmistaja. Yhtiön toimipaikoja ovat Oulun konttori, Otanmäen tehdas sekä Helsingin ja Tampereen kunnossapitoyksiköt. Škoda Transtech Oy on osa Škoda Transportation –konsernia. [1.]

Kiskokalustopuolella Škoda Transtech on erikoistunut matalalattiaraitiovainujen ja kaksikerroksisten matkustajavaunujen valmistamiseen sekä tuottamaan valmistamiensa tuotteiden huolto- toimintoja Helsingin ja Tampereen varikoilla. Konepajatuotteiden osalta Škoda Transtech valmistaa keskiraskaita hitsattuja metallirakenteita, jotka pintakäsitellään, varustellaan ja testataan käyttövalmiiksi tuotteeksi asti Otanmäen tehtaalla. Avainluvut yrityksestä on esitetty alla olevassa taulukossa 1. [1.]

Taulukko 1. Škoda Transtech Oy:n vuoden 2019 avainluvut. [1.]

Liikevaihto (2019)	114,2 milj. €
Kiskokalusto	92,4 milj. €
Konepaja	21,8 milj. €
Henkilöstö (keskim.)	600

3 Metallin puhdistus ja esikäsittely ennen maalausta

Teräksen tila ennen pinnoittamista vaikuttaa merkittävästi pinnoitteen kestävyys, joten teräksen esikäsittely ennen maalin tai vastaavan pinnoitteen levittämistä on todella tärkeää. Jos pinnan esikäsittelyä laiminlyödään ja se ei ole puhdas, pinnoitteen tarttuvuus- ja suojauskyky menetetään ja pinnoitustyö menee hukkaan. Suurimmat pinnoitteen kestävyys negatiivisesti vaikuttavat tekijät ovat pinnan ruosteisuus ja valssihilse, epäedullinen pintaprofiili sekä pinnalla olevat epäpuhtaudet, kuten suolat, pöly, öljyt ja rasvat. [2.]

Pinnan esikäsittelyn tärkeimpänä tavoitteena on saada käsiteltävästä pinnasta puhdas ja mahdollistaa pinnoitteen riittävä tartunta teräkseen. Esikäsittely auttaa vähentämään korroosiota aiheuttavia epäpuhtauksia. [2.]

3.1 Rasvan ja lian poisto

Ennen ruosteenpoistoa ja maalausta käsiteltävästä pinnasta täytyy poistaa lika ja rasva. Tarkoitus on poistaa pinnalta ruosteenpoistoa ja maalausta hankaloittavat epäpuhtaudet, joita voi tulla kappaleen pinnalle edellisten työvaiheiden ja varastoinnin yhteydessä. [3, s. 405.] Konepajateollisuudessa yksi yleisimmistä epäpuhtauksista on koneistusneste, joka täytyy pestä huolellisesti pois kappaleen pinnalta ennen maalausta.

3.2 Esikäsittelymenetelmän valintaperusteita

Esikäsiteltävän pinnan kunto, vaatimukset ja valittu maaliyhdistelmä määrittävät esikäsitteilyasteen ja sen mukaan käytettävän esikäsitteilymenetelmän. Menetelmän valintaan vaikuttaa myös se, esikäsitelläänkö koko pinta vai vain osa siitä. Pinnan esikäsitteilyn kustannuksia voidaan suoraan verrata puhtausasteeseen, joten esikäsitteilyaste on valittava käyttötarkoituksen ja maaliyhdistelmän asettamien vaatimusten mukaan. [2.].

Teräspinnan kunnossa voi olla suuria eroja ennen esikäsitteilyä ja maalausta. Pinta voi olla ennestään maalattu, mikä vaikuttaa oleellisesti esikäsitteilyyn verrattaessa maalaamattomaan teräspintaan. Vanhan maalipinnan laatu, olemassa olevan maaliyhdistelmän kestävyys, mahdollisten vaurioiden laajuus ja tuotteen tuleva käyttöympäristö sekä maaliyhdistelmä vaikuttavat esikäsitteilyn laajuuteen. [2.]. Esikäsitteilyasteet on kuvattu alla olevassa taulukossa 2. [4, s.8.]

Taulukko 2. Teräspinnan esikäsitteilyasteet. [4, s. 8.]

P1	Kevyt esikäsitteily: ei esikäsitteilyä tai vain mahdollisimman vähäinen esikäsitteily on tarpeen ennen maalin levittämistä.
P2	Perusteellinen esikäsitteily: suurin osa virheellisyyksistä on poistettu.
P3	Erittäin perusteellinen esikäsitteily: pinnalle ei ole merkittäviä näkyviä virheellisyyksiä.

3.3 Raepuhallus

Raepuhalluksessa (ts. raesuihkupuhdistus) puhalletaan tai singotaan puhallusrakeet suurella paineella esikäsiteltävään pintaan. Se on tehokkain mekaaninen pinnan esikäsitelymenetelmä ja siitä syystä laajalti käytössä. Raepuhallus mahdollistaa nopean tuotannon, ja laitteisto voi olla siirrettävä tai kiinteä ja sitä voidaan muuntaa erilaisiin käyttötarkoituksiin. Menetelmänä sitä voidaan soveltaa eri teräspinnan tyypeille ja muodoille sekä sillä voidaan saada aikaan eri esikäsitelyasteita ja pintaprofiileita. Raepuhalluksella on myös mahdollista poistaa esimerkiksi ainoastaan vaurioitunut pinnoite ja jättää kunnossa oleva alue koskemattomaksi. Raepuhalluksessa syntyy kimmokkeita eli hukkaroiskeita, jotka mahdollistavat muutoin saavuttamattomien pintojen puhdistamisen, esimerkiksi kotelorakenteissa. [2.] Teräspinnan suihkupuhdistusasteet on taulukossa 3. [5, s. 12.]

Taulukko 3. Teräspinnan suihkupuhdistusasteet. [5, s. 12.]

Sa 1 Kevyt suihkupuhdistus	Pinnalla ei saa näkyä paljain silmin tarkastellessa rasvaa, likaa, öljyä tai heikosti kiinni tarttunutta valssihilsettä, ruostetta, maalia tai muita vieraita aineita.
Sa 2 Huolellinen suihkupuhdistus	Pinnalla ei saa näkyä paljain silmin tarkastellessa rasvaa, likaa tai öljyä. Valssihilsettä, ruostetta, maalia tai vieraita aineita saa olla vain vähän, ja jäljelle jääneiden epäpuhtauksien tulee olla tiukasti tarttuneita.
Sa 2½ Hyvin huolellinen suihkupuhdistus	Pinnalla ei saa näkyä paljain silmin tarkastellessa rasvaa, likaa, ruostetta, maalia tai vieraita aineita. Jäljelle jääneet epäpuhtaudet täytyy esiintyä vain lievinä raitamaisina tai pistemäisinä tahroina.
Sa 3 Suihkupuhdistus metallin puhtaaksi	Pinnalla ei saa näkyä paljain silmin tarkastellessa rasvaa, likaa, ruostetta, maalia tai vieraita aineita. Pinnan täytyy olla kauttaaltaan metallin värinen.

3.4 Puhdistus koneellisesti ja käsityökaluilla

Käsityökaluilla ja koneellisesti tehty puhdistus ovat kumpikin hyviä esikäsittelymenetelmiä, joita ovat esimerkiksi teräsharjaus ja hionta. Yleensä niillä ei päästä yhtä hyvään pinnan puhtausasteeseen kuin raepuhalluksella, mutta ne soveltuvat erityisen hyvin niihin tilanteisiin, joissa raepuhallus ei ole sallittua tai sitä ei voida toteuttaa. Jos vaaditaan samankaltaista pinnan puhtausastetta kuin raepuhalluksella, tarvitaan yleensä useampaa kuin yhtä työkalua ja konetyyppiä, mikä tekee puhdistuksesta monimutkaista, aikaa vievää ja usein kalliimpaa.

Koneellinen puhdistus on usein tehokkaampi kuin käsityökaluilla tehty puhdistus, ja sillä saadaan parempi tartunta-alusta pohjamaalille ja maalin kestävyydelle. Käsityökaluilla tehty puhdistus vaatii yleensä pohjamaalin, jolla on hyvät pinnankostutusominaisuudet. [2.].

4 Teollisuusrobotit

Robottien kehitys on ollut viimeisten vuosikymmenten aikana nopeaa, ja ne ovat nykyään ihmisille hyvinkin arkipäiväinen asia monella eri alalla. Palvelurobotit ovat mullistaneet oman alansa, ja teollisuusrobotit ovat tärkeä osa teollisuusyritysten kansainvälistä kilpailukykyä.

4.1 Robotti

Robotti määritellään uudelleenohjelmoitavaksi, vähintään kolme niveltä omaavaksi mekaaniseksi laitteeksi, joka on suunniteltu liikuttamaan erilaisia kappaleita, osia tai työkaluja ohjelmoitavin liikkein eri teollisuuden sovelluksissa. Yksinkertaisesti selitettynä robotti on mekaaninen laite, joka liikuttaa halutulla tavalla työkalun kiinnityslaippaa. [9. s. 13.] Kuvassa 1 ABB IRB 140 -teollisuusrobotti.



Kuva 1. ABB IRB 140 teollisuusrobotti. [20]

4.2 Robottien historiaa

Robotti-käsite on saanut alkunsa vuonna 1920, jolloin Josef Capek keksi robotti-sanan veljensä Karel Capekin näytelmään Rossum's Universal Robots (R.U.R) kuvaamaan keinotekoisia työntekijöitä. Termi on peräisin tšekinkielisestä robota-verbistä, jolla tarkoitetaan pakotettua työn tekemistä. [10, s. 138.]

Robotit ovat aina olleet ihmisiä kiehtovia laitteita, ja ne ovat olleet suosittuja tietokirjallisuuden aiheita kautta aikojen. Monelle voivat olla tuttuja Isaac Asimovin robotisointikertomukset 1930-luvulta, joissa roboteille määritellään eettisiä toimintanormeja. Näiden normien mukaan robottien täytyy totella niille annettuja käskyjä eivätkä ne saa vahingoittaa ihmisiä. Asimovin robottilain mukaan robottien täytyy pystyä säilyttämään oma olemassaolonsa ja toimintakuntonsa kaikissa olosuhteissa. Robottien käyttö ja soveltaminen todellisuudessa on kuitenkin hyvin kaukana tietiselokuvien muokkaamista ajatuksista ja käsityksistä. [10, s. 138.]

Unimation-yhtiö suunnitteli ensimmäisen teollisuusrobotin autoteollisuuteen vuonna 1962. Robotti kantoi nimeä Unimate, ja se toimi apuna valukappaleiden käsittelyssä kuumissa olosuhteissa. [6.]. Unimate-robotti on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Unimate-teollisuusrobotti [7.]

Alun perin oli tarkoitus suunnitella yksi robottityyppi, joka soveltuisi kaikkiin teollisuuden tehtäviin. Unimationin vuonna 1978 suunnittelema PUMA-robottikäsi (Programmable Universal Machine for Assembly) yleistyi teollisuuden käyttöön parhaiten. Kokemuksen karttuessa kävi ilmi,

että eri tehtäviin olisi hyvä suunnitella omanlaisensa robotit, jotka palvelisivat kyseistä tehtävää parhaiten. [6.]

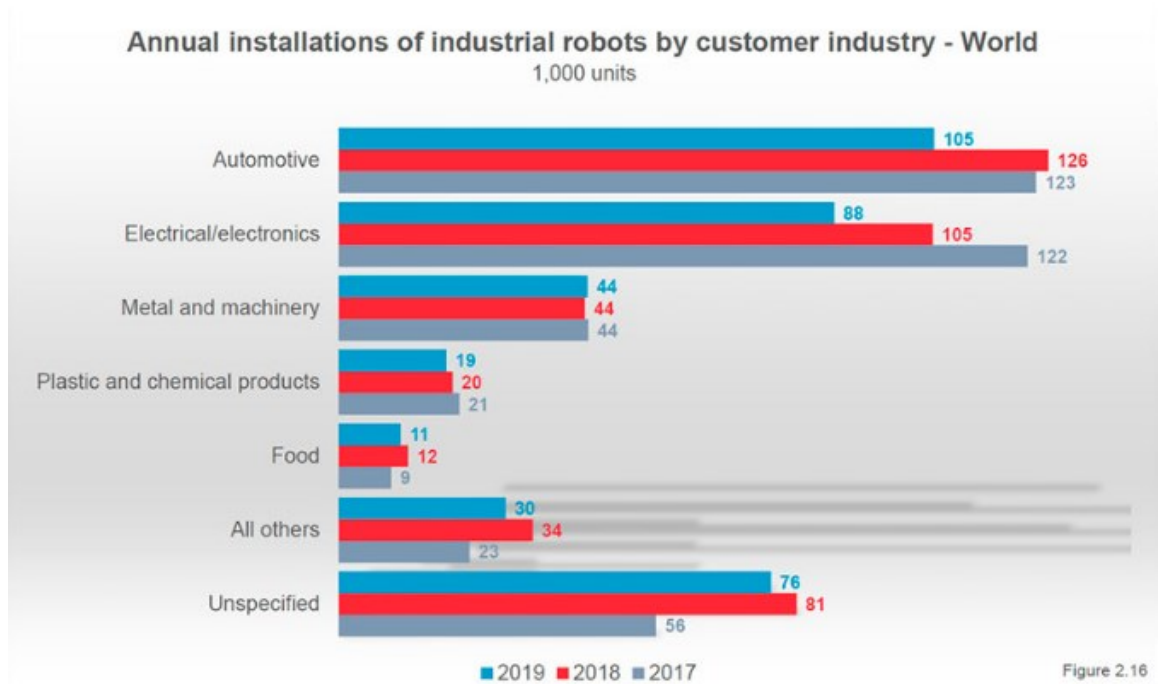
1970-luvulla robotit mullistivat autoteollisuuden, kun markkinoille tuli ASEA (nykyään ABB), saksalainen KUKA ja japanilaiset yritykset sähköisillä roboteilla. Teollisuusrobottien tekninen huippu saavutettiin 1990-luvun alkuun mennessä, kun niihin kehitettiin vaihtovirtaservomoottorit. Kun robottien menekki kasvoi koko ajan, niiden hinnat puolittuivat 2000-luvuun alussa siitä, mitä ne olivat kymmenen vuotta aiemmin. [8.]

Robottien kehityksen alkuaikoina ne olivat kalliita ja epäluotettavia. Robotit oli usein suunniteltu tiettyyn työtehtävään, ja toimenkuvan muuttaminen oli hankalaa. Niiden ohjelmointi oli hankalaa ja työlästä, mikä ei tehnyt niistä kovin joustavia ja esti niiden hyödyntämisen piensarjatuotannossa. [10, s. 139]

4.3 Robotit nykypäivänä

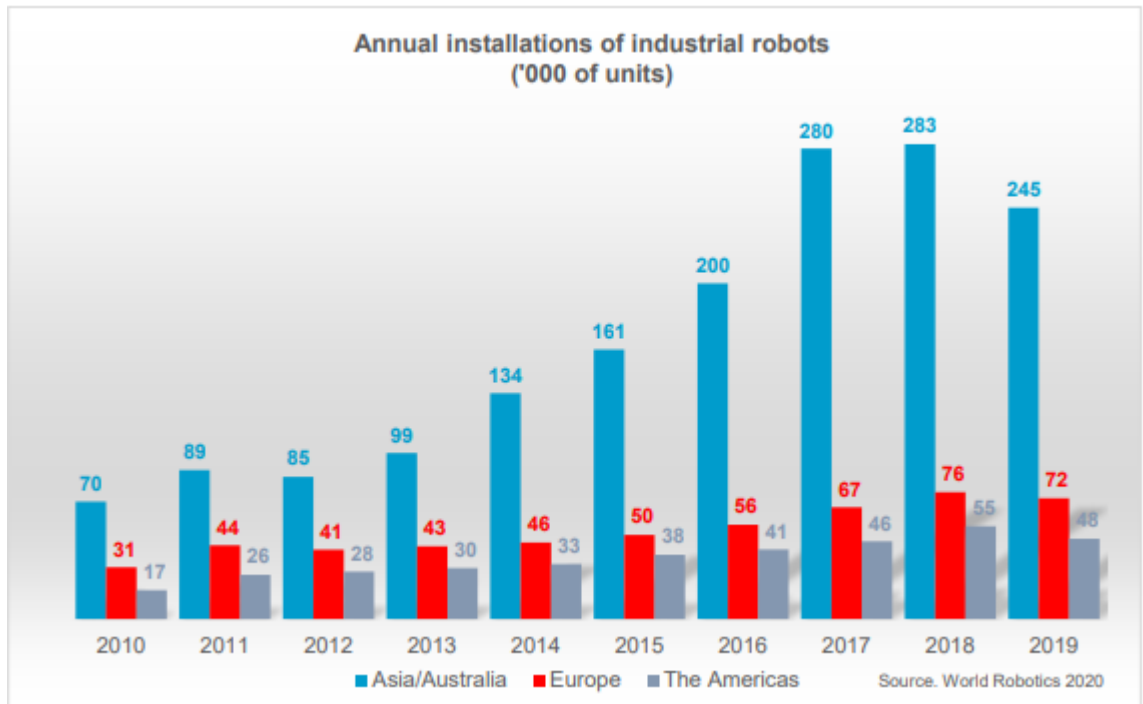
Nykyään robottien luotettavuus ja käyttövarmuus ovat hyvät ja niiden ohjelmointi on kehittynyt kovaa vauhtia. Ohjelmointikielien yksinkertaisuus ja helppous nopeuttavat robottien ohjelmointia huomattavasti. Robottien käytön entistä vaativimmissa sovelluksissa mahdollistavat erilaiset älykkäät anturipäät, joiden avulla robotti sopeutuu ja reagoi muuttuvissa olosuhteissa. Nykyään robotteja käytetään osana laajempaa joustavaa automaattista tuotantojärjestelmää eikä vain yksittäisissä toiminnoissa. [10, s. 140.] Nykyaikaisessa konepajassa automatisointi on suunniteltu kokonaisvaltaisesti ja robotit on kytketty osaksi tuotantojärjestelmää.

Teollisuusrobottitilastojen mukaan vuonna 2019 otettiin käyttöön maailmanlaajuisesti 373 240 teollisuusrobottia, joka on 12 % vähemmän kuin edellisellä vuonna. Vähentyminen johtuu pääasiassa auto- ja elektroniikkateollisuuden vähentyneistä investoinneista. Autoteollisuus onkin tärkein teollisuusrobottien käyttäjä, sillä se kattaa jopa 28 % kaikista käytössä olevista teollisuusroboteista. [12.] Kuvassa 3 on esitetty vuosittaiset teollisuusrobotti-investoinnit eri tuotantoaloilla.

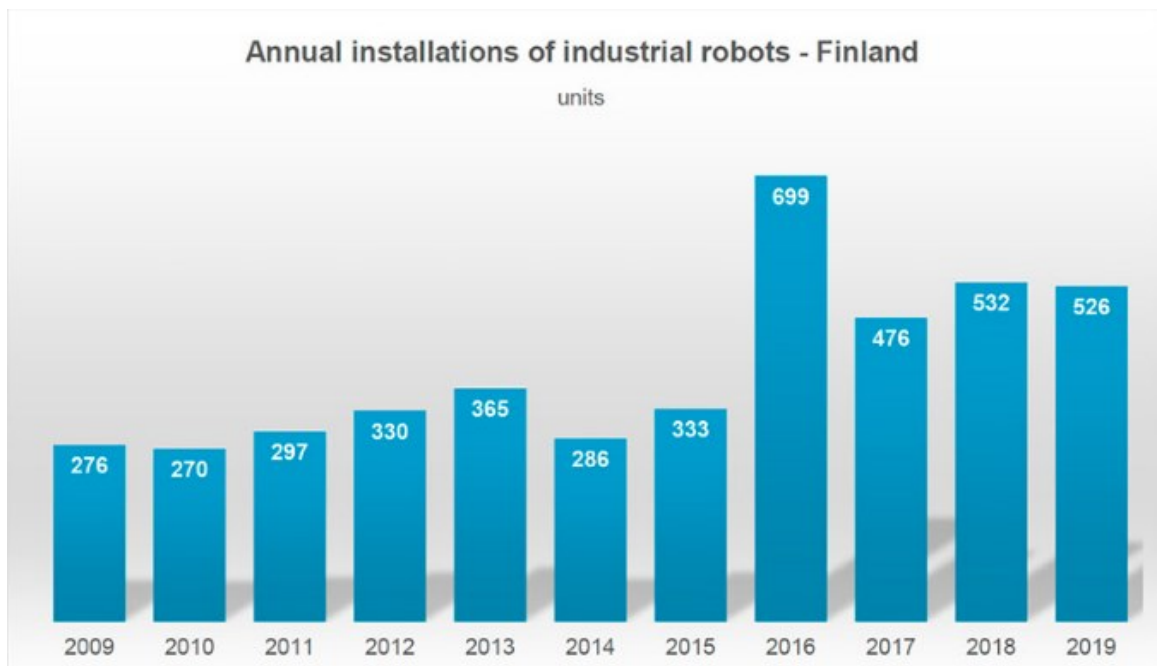


Kuva 3. Vuosittaiset teollisuusrobotti-investoinnit eri tuotantoaloilla. [12.]

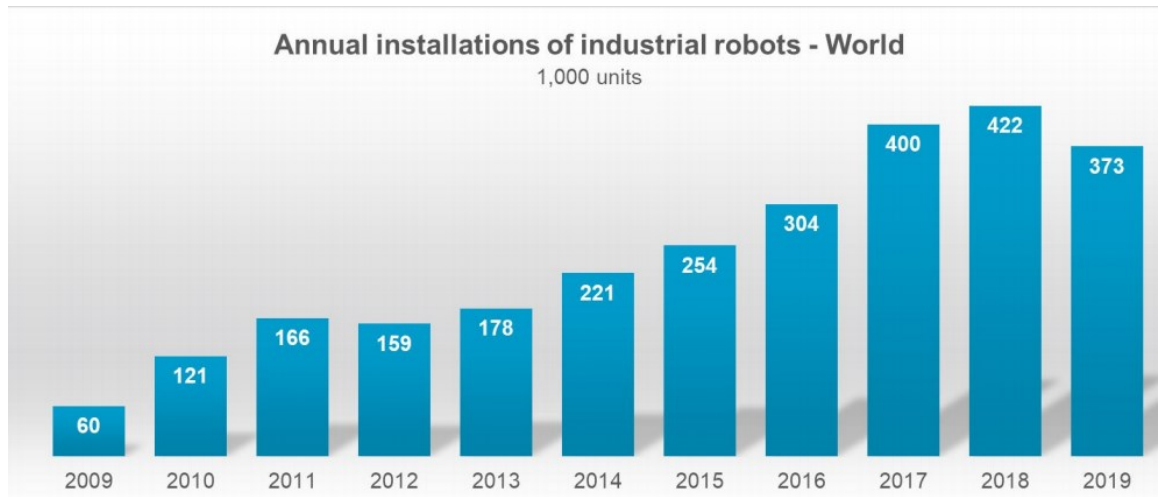
Teollisuusrobottimarkkinat ovat suurimmillaan Aasian maissa, joista Kiina ylivoimaisimpana. Kiinassa robotiikka kasvaa koko ajan ja 38 % kaikista roboteista on investoitu sinne vuodesta 2013 lähtien. [12.] Kuvassa 4 näkyvät teollisuusrobottien investoinnit alueittain, kuvassa 5 on esitetty teollisuusrobottien investoinnit Suomessa 2010-luvulla ja kuva 6 näyttää niiden maailmanlaajuisen kasvun.



Kuva 4. Teollisuusrobottien investoinnit alueittain. [12.]




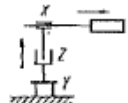


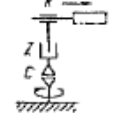




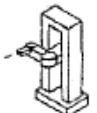
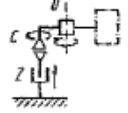


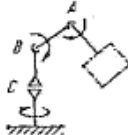


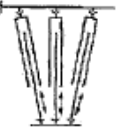

Kuva 5. Teollisuusrobottien investoinnit Suomessa 2010-luvulla. [13.]



Kuva 6. Teollisuusrobottien maailmanlaajuinen kasvu. [14.]

4.4 Teollisuusrobottityypit

Teollisuusrobottivalmistajat tuovat valikoimiinsa koko ajan uusia robottimalleja. On kuitenkin olemassa tietyt vakiintuneet robottimallit, jotka ovat esillä kuvassa 7. Nämä robottimallit ovat peräisin standardista ISO 8373, jossa ne esitetään niiden rakenteen, kinemaattisen kaavion ja työalueen mukaan. [9, s. 12.] Alla olevassa kuvassa 7 on esitetty yleisimmät robottityypit. [9, s. 12]

Nimitys pääakseleiden mukaan	Rakenne	Kinemaattinen kaavio	Työalue
Suorakulmainen robotti			
Sylinterirobotti			
Napa-koordinaatirobotti			
Scara-robotti			
Kiertyvänivelinen robotti			
Rinnakkaisrakenteinen robotti			

Kuva 7. Yleisimmät robottityypit [9, s. 12]

4.5 Robotin käyttökohteita

Nykypäivänä eniten käytössä olevia teollisuusrobotteja valmistaa mm. ABB, Kuka, Motoman, Fanuc, Denso ja Kawasaki. Robotteja käytetään monilla eri teollisuuden aloilla, kuten esimerkiksi metalli-, muovi- ja elintarviketeollisuudessa. [8.] Konepajateollisuudessa robotteja käytetään useissa työtehtävissä. Yleisimpiä robotisointisovelluksia konepajoissa ovat hitsaustyöt, erilaiset kappaleiden siirtotehtävät, viimeistelytyöt, panostukset, pinnoitukset, tarkastukset, kokoonpano- ja lavaustyöt sekä hionta, kiillotus ja jäysteenpoisto. [10, s. 154.]

4.6 Automatisoitu raepuhallus

Automatisoidussa raepuhalluksessa on sama periaate kuin käsin tehdyssä raepuhalluksessa, mutta se tehdään erilaisilla manipulaattoreilla tai roboteilla täysin automaattisesti. Raepuhallusmanipulaattoreita on olemassa monenlaisia. Yksinkertaisimmillaan puhallussuutin liikkuu ainoastaan yhden akselin suhteen, mikä vaatii yleensä puhallettavan kappaleen pyörittämistä, jotta kappaleen koko pinta saadaan puhallettua. Monimutkaisempia kappaleita saadaan helpommin puhallettua, kun suutin liikkuu kahden akselin suhteen. Kolmen akselin manipulaattorilla voidaan suorittaa geometrialtaan vielä monimutkaisempien kappaleiden puhalluksia, jolloin työn jälki on tasalaatuista. Manipulaattori voidaan sijoittaa erilliseen raepuhalluskammioon tai pienemmässä mittakaavassa puhalluskaappiin. Manipulaattorien etuina on tasalaatuisuus, suuri kapasiteetti ja niiden yksinkertainen rakenne, joten ne ovat helppoja ohjelmoitavia. [15.] Kuva 8 on yksinkertaisesta x-y-liikkeisestä raepuhallusmanipulaattorista.



Kuva 8. Raepuhallushuoneessa oleva manipulaattori, jolla voidaan suorittaa puhallus x-y-liikkein [15].

Teollisuusrobotia käytetään myös raepuhalluksessa. Robotin käsivarteen integroidulla raepuhallussuuttimella voidaan puhalltaa monimutkaisia ja suuria kappaleita tehokkaasti. Kuten robotin työskennellessä yleensäkin, on myös raepuhallusrobotin työn jälki tasalaatuista kappaleesta toiseen. [15.]

Kun raepuhallusprosessi automatisoidaan, ennen puhallusta tehnyt ihminen voi siirtyä operaattorin rooliin raepuhalluskammion ulkopuolelle valvomaan prosessia. Työ kevenee ja turvallisuus sekä viihtyvyys paranevat.

Kuvassa 9 on esimerkkinä Blastman B20S -raepuhallusrobotti. Kyseessä on gantry-tyyppinen robotti, joka liikkuu puhalluskammion seinällä olevia vaakapalkkeja pitkin. Pystysuuntaiset liikkeet toteutetaan teleskooppipuomilla ja loput liikkeet robotin käsivarren nivelien avulla. [16.]



Kuva 9. Blastman B20S -raepuhallusrobotti. [16.]

4.7 Robotisoinnin hyötyjä

Nykyajan konepajatuotannossa pienet sarja- ja eräkoot sekä sekatuotanto vaativat tuotantolaitteistolta joustavuutta ja mukautumiskykyä. Robotisointihanke on kallis investointi, jonka tavoitteena on yleensä tehdä robottisolusta miehittämätön, jolloin robotin käyttöaste saadaan maksimoitua.

Yksi tärkeimmistä perusteista robotisoinnille on raskaiden työtehtävien rationalisointi ja eliminointi. Monissa yrityksissä on raskaita työtehtäviä, jotka voivat aiheuttaa ajan kuluessa nivelvaurioita ja rasitusvammoja. Näihin työtehtäviin robotisointi tuo suuren avun, sillä robotit soveltuvat todella hyvin korvaamaan kuluttavan ja raskaan käsityön. Robotti on omiaan likaisiin ja yksitoikkisiin työtehtäviin, jolloin työntekijät vapautuvat niistä ja voivat tehdä mielekkäämpiä ja fyysisesti kevyempiä töitä. Tällöin myös työhyvinvointi ja -turvallisuus paranevat. Robotti ei myöskään väsy, joten se voi tehdä työtä tauoitta ympäri vuorokauden ja viikonloppuisin. Robotin avulla materiaalihukka on optimaalista ja tuotteiden laatu on tasaista, sillä se tekee työn aina samalla tavalla. Tuotannosta saadaan myös joustavampaa, sillä robotti voidaan ohjelmoida tekemään monta eri tehtävää samaan aikaan. Robotit soveltuvat hyvin myös vaarallisiin olosuhteisiin, joissa

tapahtuu esimerkiksi altistumista erilaisille kemikaaleille tai säteilylle. Robotti ei tarvitse suoja-vaatetusta, valaistusta ja ilmanvaihtoa kuten ihmiset. Yleensä robotin avulla tuotannon määrä saadaan kasvamaan ja kustannukset pienentymään. Robotisointi kasvattaa yrityksen kilpailukykyä ja parantaa imagoa. [10, s. 151–152.]

4.8 Robotisoinnin kustannukset

Robotisointiprojektia suunnitellessa on hankkeesta tehtävä tarkat investointilaskelmat teknisten määrittelyjen tueksi. Robotin kannattavuus on selvitettävä ja robotisointihankkeen taloudelliset kustannukset kannattaa jakaa investointi- ja käyttökustannuksiin. [10, s. 165.]

4.8.1 Investointikustannukset

Robottia investoitaessa kustannukset koostuvat robotisoinnin suunnittelukustannuksista ja robotin hankintakustannuksista. Robottijärjestelmästä saadaan toimiva, kun sen ympäristö ja oheislaitteet on suunniteltu huolellisesti ja turvallisuusasiat on otettu huomioon. Järjestelmä vaatii tarkan suunnittelu- ja selvitystyön lisäksi myös aina lisä- ja oheislaitteita. Tästä syystä pelkät suunnittelu- ja oheislaitekulut voivat olla itse robotin hankintahintaa suuremmat. [10, s. 165.]

Robotin investoinnissa selkein kustannus on itse robotin hankintakustannus eli ostohinta, johon sisältyvät myös sovellukseen vaadittavat ominaisuudet ja lisävarusteet. Hankintakustannuksen lisäksi syntyy suunnittelu- ja käyttöönottokustannuksia. Kustannuksia luo myös tuotantolinjan rakennus tai mahdollisesti vanhan linjan muutostyöt robottia varten. Kun suunnittelu- ja asennustyöt on tehty, täytyy robotti ohjelmoida ja ottaa käyttöön, josta syntyy myös kustannuksia.

Robottisovelluksesta riippuen se voi vaatia työvälineitä ja oheislaitteita, kuten erilaisia tarraimia, syöttölaitteita, paletteja ja kuljetinratoja. Jotta robotin toimintaympäristöstä saadaan turvallinen, vaatii se myös turva-aitoja, kytkimiä ja valoverhoja. [10, s. 165–166.]

4.8.2 Käyttökustannukset

Robotin käytöstä syntyy välittömiä ja välillisiä palkkakustannuksia, huolto- ja kunnossapitokustannuksia sekä energia- ja koulutuskustannuksia.

Välilliset palkkakustannukset syntyvät robotin käyttäjien, yleensä robottioperaattorin palkkakustannuksista. Välittömiä palkkakustannuksia kerryttää järjestelmää tukevien henkilöiden kuten ohjelmoijan ja työnjohdon palkat. Robottia täytyy huoltaa säännöllisesti, jotta se pysyy toimintakuntoisena. Huolto- ja kunnossapitokustannukset ovat yleensä noin 10 % hankintakustannuksista. Robotti kuluttaa myös sähköä, mutta se on hyvin pieni kuluerä verrattaessa muihin kustannuksiin. Työntekijän kouluttaminen robotin käyttöön ja huoltoon vie myös aikaa, joten se tuo lisäkustannuksia. [10, s. 166–167.]

5 Teollisuusrobotin turvallisuus

Robotisointia suunniteltaessa on ensiarvoisen tärkeää ottaa huomioon myös turvallisuusasiat eikä mennä ainoastaan tuotantotavoite edellä. Vaikka robotilla voidaan tehdä ihmiselle vaarallisia työtehtäviä ja suojella näin työntekijöiden terveyttä, voi se silti olla vaaraksi ympärillä oleville ihmisille, jos turvallisuutta ei ole huomioitu tarpeeksi.

Timo Malmi on tehnyt robotteihin liittyvän tapaturmatutkimuksen, jonka mukaan vuosittain sattuu 33 työtapaturmaa, joissa teollisuusrobotti on mukana. Nämä ovat olleet enimmäkseen lieviä tapaturmia. Vakavia robottitapaturmia oli sattunut 25 kpl, joista 23 johtui puristuksiin joutumisesta. Kuolemaan johtaneita tapaturmia, joissa teollisuusrobotti on ollut mukana, on sattunut kolme. [17.]

5.1 Vaarat ja niiden tekijät

Robottitapaturmat voidaan luokitella neljään eri luokkaan [18]:

1. Isku- tai törmäysonnettomuudet. Syitä voi olla robotin käsivarsien tai oheislaitteiden ennakkoimattomat liikkeet, erilaiset toimintahäiriöt ja onnettomuuden uhrin tietämättömyys ohjelmamuutoksista.
2. Puristumisonnettomuudet. Henkilön raaja tai ruumiinosa voi jäädä puristuksiin robottikäsivarren tai oheislaitteen väliin.
3. Mekaaninen vikaantuminen. Robotti ja sen komponentit ja oheislaitteet voivat vikaantuessaan aiheuttaa onnettomuuden. Esimerkiksi käsiteltävä kappale voi irrota tarttujasta ja aiheuttaa onnettomuuden.
4. Muut syyt. Lattialla olevat laitteet ja virtajohdot voivat aiheuttaa kompastumisvaaran. Korkeapaineiset hydraulikkaletkut voivat rikkoontuessaan aiheuttaa leikkaantumis- ja piiskausvaaran. [18.]

Teollisuusrobotit voivat olla todella voimakkaita ja nopeita liikkeissään. Robotin iskut, puristuminen, takertuminen ja leikkaantuminen ovat tavallisimpia robotteihin liittyviä turvallisuusriskejä. Roboteille ilmoitetaan niiden maksimikantokyky, jonka rajoissa ne pystyvät tekemään liikkeitä niin tarkasti kuin on luvattu. Vaikka robotin kantokyky olisi esimerkiksi 10 kg, se voi kyetä liikuttamaan helposti yli 100 kg taakkaa. Kantokyky ei siis suoranaisesti kerro robotin voimia, ja näin ollen robotilla ei pystytä välttämättä pysäyttämään ihmisvoimin vaaratilanteessa. Robotilla voi olla käytössään myös terävä tai leikkaava työkalu, ja robotin ja sen oheislaitteiden välille voi muodostua leikkaus- ja puristuskohtia. Tällöin voimien ei tarvitse olla kovinkaan suuria aiheuttaakseen vakavan tapaturman. [19, s. 13–14.]

Robotti voi liikkeessään aiheuttaa myös välillisiä vaaroja. Robotin käsittelemä kappale voi esimerkiksi pikaliikkeen aikana irrota tarttujasta, jolloin kappale voi sinkoutua robotin toiminta-alueen ulkopuolelle. Myös robotin törmäminen esimerkiksi pinottuihin tuotteisiin voi aiheuttaa pinon sortumisen ihmisen päälle. [19, s. 13–14.]

Robotin liikeradat ovat laajoja, ja niitä voi olla hankala arvioida ihmisen silmin. Robotti pyrkii valitsemaan lyhimmän mahdollisen reitin ohjelmoitujen pisteiden kautta, joten pienikin ohjelma-muutos voi muuttaa sen liikerataa huomattavan paljon. Robotin lähellä oleva ihminen voi olla vaarassa, jos hän ei tiedä ohjelmamuutoksesta mitään ja luottaa omaan muistikuvaan vanhasta liikeradasta. Robotin asentoantureissa voi esiintyä myös häiriöitä, jotka voivat aiheuttaa arvaamattomia liikkeitä. [19, s. 15–16.]

Robotit ovat nopeita liikkeissään, sillä niiden nopeus voi olla jopa 3–4 m/s. Pysähtymismatka sen sijaan voi olla hyvinkin pitkä, varsinkin jos robotilla on suuri nopeus ja painava taakka tarraimessa. Nopeasti reagoivan ihmisen reaktioaika on 0,3–1 s, joten ihmisen painaessa esimerkiksi hätäpysäytyspainiketta on maksiminopeudella liikkuva robotti ehtinyt liikkua jopa neljä metriä. [11.]

5.2 Riskialttiit työtehtävät

Robotin käyttöön sisältyy turvallisuusriskejä jo asennus- ja käyttöönottovaiheesta saakka. Robotin ohjelmointia ei usein tehdä offline-tilassa, vaan erillisellä kannettavalla ohjelmointilaitteella, jolla robotti opetetaan liikkumaan pisteestä toiseen työtehtävän vaatimalla tavalla. Kannettavalla laitteella ohjelmoitaessa ohjelmointia suorittava henkilö on yleensä samassa tilassa robotin kanssa, johon sisältyy riski tulla robotin kolhimaksi. Ohjelmointi kuuluisi tehdä tuotantonopeutta alhaisemmalla nopeudella, jolloin robotin mahdolliseen virheliikkeeseen keretään reagoida paremmin. Robottia ohjelmoitaessa sen liikkumista voidaan rajoittaa toiminnolla, jolloin robotti voi liikkua ainoastaan ohjelmointilaitteen painikkeita painamalla. Eli liike loppuu, kun sormi nousee painikkeelta. [19, s. 8–9.] Jos vahingossa ohjelmoidaan virheellinen liike tai robottiin tulee esimerkiksi anturihäiriötä, voi robotti osua ihmiseen. Tällöin sormen nostaminen painikkeelta katkaisee robotin liikkeen.

Normaalissa tuotantoajossa ihmisen ei yleensä tarvitse olla robotin kanssa samassa tilassa, jolloin robotti ei ole vaaraksi kenellekään. Robottia huoltaessa ihminen on kuitenkin lähes poikkeuksetta robotin kanssa samassa tilassa, jolloin robotti täytyy olla pysäytettynä. Suuren osan robottionnettomuuksista aiheuttavat nimenomaan turvallisuusohjeiden ja -ratkaisujen laiminlyöminen. [19, s. 12.]

5.3 Turvallisuussuunnittelu

Tapaturmariskien vähentämiseksi robottijärjestelmän turvallisuussuunnitteluun on kaksi pääperiaatetta [9, s. 166]:

- Poistetaan vaaravyöhykkeellä läsnäoloa vaativat tehtävät.
- Poistetaan tai vähennetään vaara-alueella työskentelyn vaaroja turvalaitteiden avulla.

Yleinen turvallisuussuunnittelun tapa on kartoittaa ja eristää robotin toiminta-alue niin, ettei sinne pääse ulkopuolisia henkilöitä. On tärkeää, että aluetta rajattaessa otetaan huomioon robotin maksimitoiminta-alueen lisäksi myös rajattu toiminta-alue sekä turvalaitteiden valvoma alue. On huomioitava myös se, että alueen rajat voivat muuttua robotin käytettäessä eri työkaluja ja käsiteltäessä erilaisia kappaleita. Jos robotin toiminta edellyttää käsityövaiheita tai ihmisen läsnäoloa vaara-alueella, on varauduttava korvaaviin turvajärjestelyihin. Korvaavat turvajärjestelyt eivät kuitenkaan saa muodostua rutiiniksi, sillä siinä piilee potentiaalinen vaara tapaturman syntymiselle. Turvalaitteiden käyttö ei tietenkään yksinään riitä varmistamaan täyttä turvaa, vaan on myös hyvin tärkeää noudattaa yleisiä työturvallisuusohjeita sekä mahdollisia muista turvamenetelyistä annettuja ohjeita. [9, s. 166.]

6 Robotisoinnin suunnittelu

6.1 Vaihtoehdot robotin hankinnassa

Robottia hankkiessa voidaan käyttäjän ja toimittajan välinen vastuu jakaa kolmella tavalla. Näitä ovat avaimet käteen -toimitus, laitteiden hankkiminen itse ja asennuttaminen toimittajalla sekä laitteiden osto ja asennus itse. [10, s. 163.]

Kun robotisointi toteutetaan kokonaistoimituksena avaimet käteen -periaatteella, on vastuun jakaminen toimittajan ja käyttäjän välillä selkeä sekä toimitukseen liittyvät tekniset seikat ja kaupan ehdot ovat helppoja määritellä toimitussopimuksessa. Robottijärjestelmä saadaan kyseisellä tavalla myös nopeasti käyttöön, jolloin robotti pääsee tehostamaan tuotantoa ja maksamaan itseään takaisin mahdollisimman pian. Huono puoli kokonaistoimituksessa voi olla robottitoimittajan rajallinen tietämys prosessista, johon robotti tulee. Ongelmaksi voi koitua myös yrityksen oma tietotaidon puute, jolloin robottisolun kehittäminen voi koitua hankalaksi. Tiivis yhteistyö toimittajan ja käyttäjän välillä on tärkeää robottijärjestelmän ylläpidon, kehityksen ja optimoinnin kannalta. [10, s. 163–164.]

Vaihtoehtona yrityksellä on myös hankkia robotti ja siihen kuuluvat oheislaitteet itse ja antaa ulkopuolisen yrityksen hoidettavaksi järjestelmän asennustyö ja käyttöönotto. Kyseinen tapa on yleistä käytettyä robottia hankittaessa. Yrityksellä täytyy kuitenkin olla tietoa robotisoinnista ja käsitys siitä, onko robotti soveltuva haluttuun käyttötarkoitukseen. (10, s. 164.) Kyseisellä tavalla toimiessa asennus ja käyttöönotto on mahdollista kilpailuttaa ja luotettavan toimijan löytyessä lopputulos on usein hyvä. Kolmas vaihtoehto yrityksellä on hankkia ja asentaa robottijärjestelmä alusta loppuun itse. Järjestelmähankinta kokonaisuudessaan itse toteutettuna on melkoinen riski, ja se vaatii yritykseltä osaamista ja tietotaitoa tuotannon automatisoinnista. Projektin onnistuminen ja järjestelmän käyttö sekä kehitys vaativat realistisen toteutusaikataulun lisäksi riittävää panostusta henkilöstön koulutukseen ja taloudelliseen resursointiin. [10, s. 164.]

6.2 Lähtötilanteen analysointi

Robotisointi on perustuttava aina tuotannon todelliseen rationalisointitarpeeseen. Kun robotisointia suunnitellaan, täytyy alkuvaiheessa selvittää myös vaihtoehtoisten automaattisten toimilaitteiden ja manipulaattoreiden käyttömahdollisuudet. Lähtövaiheessa kiinnitetään huomiota seuraaviin seikkoihin: [10, s. 164]

- Kappaleiden tila
- Kappaleiden siirrot
- Oheislaitteiden sijoittelu
- Työvaiheiden looginen eteneminen
- Liittyminen muuhun tuotantoympäristöön
- Miehitys
- Ympäristöolosuhteet

7 Nykytilanteen määrittäminen

7.1 Raepuhaltamo

Tällä hetkellä raepuhallus tapahtuu kahdessa vierekkäisessä raepuhaltamossa käsin. Kuva 10 on puhaltamosta, johon automatisointia suunnitellaan. Puhallettavat kappaleet kulkevat raepuhaltamoissa kiskoilla rullaavien telien (kuva 11) päällä. Telejä liikutetaan kiskoon integroidun vaijeritoimisen kuljettimen (kuva 12) avulla, jota ohjataan puhaltamon ulkopuolella olevasta ohjauspöydästä käsin. Puhaltamot ovat 28000 mm pitkiä ja 7000 mm leveitä. Suurin mahdollinen kappalekoko on 4500 x 4500 x 26000 mm.

Puhaltamon kummallakin seinällä on työtasot (kuva 13), joilla voidaan liikkua sivuittais-, pysty- ja syvyysuunnassa. Tasot liikkuvat seinillä olevilla kiskoilla. Työtasoissa on omat raepuhalluspistoolit, joiden lisäksi kappaleiden alapuolelta voidaan puhalttaa puhaltamon lattialla olevalla raepuhalluspistoolilla.



Kuva 10. Raepuhaltamo.



Kuva 11. Teli, jonka päällä puhallettava kappale on puhalluksessa. Telejä on erikokoisia erilaisille kappaleille.



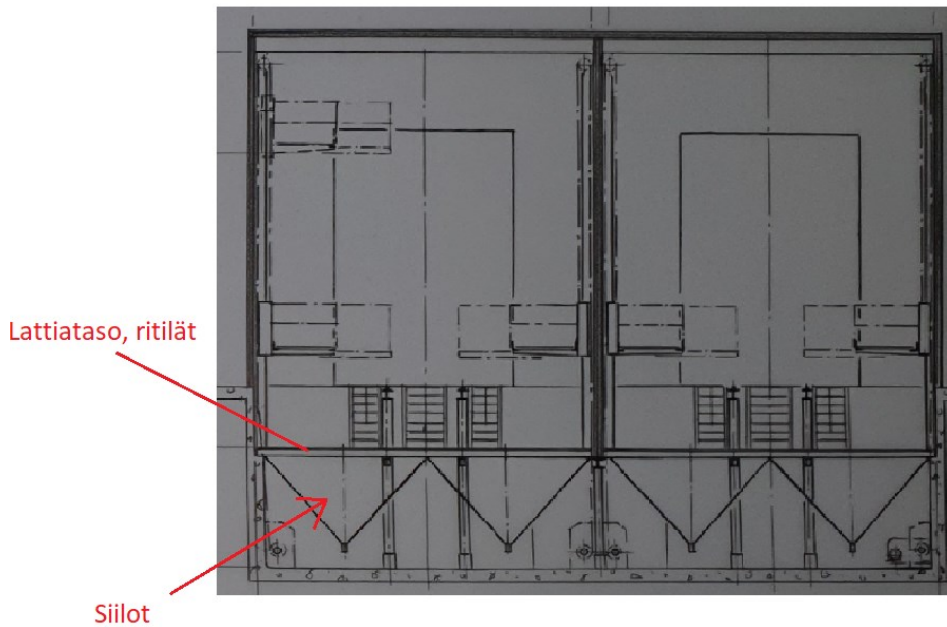
Kuva 12. Vaijeritoiminen kuljetin, jonka avulla kiskoilla olevia telejä liikutetaan.



Kuva 13. Liikkuva työtaso.

7.2 Raepuhalluslaitteisto ja rakeen kierrätys

Raepuhalluksessa käytettävä rae kierrätetään uusiokäyttöön. Raepuhaltamon lattia on kauttaaltaan ritilää, jonka alla on kahdessa rivissä seitsemän siiloa. Lattian taso ja siilot on havainnollistettu kuvassa 14. Raepuhallukseen käytetty rae putoaa ritilän läpi siiloihin, joista se kulkeutuu puhdistettavaksi raepuhaltamon katolla olevaan sykloniin (kuva 15). Syklonissa rakeen seasta erotetaan karkeampi pöly ja rikkoutunut rae. Syklonin jälkeen uudelleen käytettävä rae putoaa raepuhaltamon katolla olevasta pöntöstä (kuva 16) raepuhaltamon alla oleviin pyttyihin (kuva 17), joista se menee uudelleen käyttöön. Syklonin jälkeen ilmasta erotetaan vielä hieno pöly, jonka jälkeen ilma uudelleen kierrätetään ja siitä otetaan lämpö talteen.



Kuva 14. Kuva puhaltamosta, johon merkitty siilot ja lattiaritilä.



Kuva 15. Sykloni, jossa rakeen seasta erotetaan pöly, rikkoutunut rae ja muut ehjää rietta kevyemmät epäpuhtaudet.



Kuva 16. Pönttö, johon uudelleen käytettävä rae menee raepuhaltamon katolla puhdistuksen jälkeen.



Kuva 17. Raepuhaltamon alla olevat pytyt, joista puhdistettu rae lähtee uusiokäyttöön. Pyttyjen päällä on ritilä, joka erottaa mahdolliset painavat rakeen mukana tulleet roskat, kuten koneistuslastut.

Syklonissa erotetut epäpuhtaudet ja pöly kulkeutuvat raepuhaltamon seinän vieressä olevaan astiaan, joka näkyy kuvassa 18. Ilman seasta erotettu hieno pöly kulkeutuu myös puhaltamon seinän vieressä oleviin kannellisiin astioihin (kuva 19).



Kuva 18. Astia, johon syklonissa erotettu tavara tulee puhaltamon katolta.



Kuva 19. Näihin astioihin erotetaan ilmasta hieno pöly.

8 Raepuhallus käsin vai robotilla

Paineilma-avusteisessa raepuhalluksessa raesuihku ohjataan suurella nopeudella kohti puhallettavaa pintaa manuaalisesti käsin tai robotin avulla. [3.] Merkittävimmät riskit raepuhalluksessa liittyvät siitä aiheutuvaan pölyyn ja epäpuhtauksiin. Osa pölyn seassa olevista epäpuhtauksista voi olla myös syöpävaarallisia. Pääasiassa pölyä vapautuu työilmaan puhallettavasta pinnasta ja puhallusrakeiden rikkoutumisesta. Suurella todennäköisyydellä pölyä pääsee leviämään työilmaan myös puhalluskammiota avattaessa ja huoltotoimenpiteissä. Puhallettava rae voi sisältää raskasmetalleja, ja vanhoja maalattuja pintoja puhailtaessa pinnasta voi irrota esimerkiksi nikkeliä ja lyijyä. [21.] Käsin puhailtaessa on ensiarvoisen tärkeää käyttää työtehtävään suunniteltuja ehjiä ja puhtaita suojavälineitä.

Käsin puhaltaminen on fyysisesti raskas ja riskialtis työtehtävä. Toimeksiantajayrityksessä kappaleen puhaltaminen suoritetaan lähes poikkeuksetta siten, että kappaleen alapuoli puhalletaan kammion lattialla olevalla letkulla ja sivut sekä yläpuoli puhalluskammion seinillä olevista työtaisoista käsin. Puhalluksen aikana joudutaan vaihtamaan useaan otteeseen puhallusletkua ja -paikkaa. Puhalluksessa syntyvä pöly ja puhalluskypärän lasin nopeasti kuluva muovinen kertakäyttösuoja heikentävät näkyvyyttä kammiossa ja luovat suuren loukkaantumisriskin liikuttaessa puhalluksen aikana.

Robotilla puhailtaessa robotti sijaitsee puhalluskammiossa ja sen operaattorina toimiva työntekijä omassa suljetussa ohjaamossaan. Operaattori voi seurata robotin työskentelyä ja ohjata sitä ohjaamosta käsin. Tällöin kenenkään ei tarvitse olla samassa tilassa, jossa raepuhallus tapahtuu. [22.]

Raepuhallusrobotti on väsymätön työkaveri ja jaksaa tehdä aina työtä ympäri vuorokauden tasalaatuisesti. Suuria kappaleita käsin puhailtaessa puhaltajan väsymys luo entistä suuremman työturvallisuusriskin ja puhalluksen laatu voi myös huonontua. Robotisoimalla raepuhallus työturvallisuus paranee ja työhyvinvointi lisääntyy samalla, kun raepuhalluksen laatu ja tehokkuus paranevat.

9 Laitteiston ja tilan vaatimukset

Robotin täytyy kyetä liikkumaan raepuhaltamon pituussuunnassa koko matkalla, ja sen täytyy pystyä raepuhaltamaan vähintään samankokoisia kappaleita, joita tällä hetkellä raepuhalletaan käsin. Robotilla täytyy olla myös erinomainen ulottuvuus erilaisiin aukkoihin robotin käsivarren koko huomioon ottaen. Robottilaitteisto täytyy pystyä integroimaan jo nykyisen olemassa olevan raepuhaltamon sähkö-, paineilma- ja rakeenkierrätysjärjestelmään. Automaattipuhalluksen lisäksi robotilla täytyy pystyä puhaltamaan myös manuaalisesti käsiajolla yksittäisiä kappaleita ja pienempiä sarjoja, joille ei ajankäytön takia ole järkevää tehdä automaattiohjelmia. Robottijärjestelmän tulee myös mahtua nykyiseen raepuhaltamoon ilman suurennustöitä.

10 Raepuhallusrobottivalmistajia

10.1 Blastman Robotics Oy

Blastman Robotics Oy on maailman johtava luotettavien ja kehittyneiden raepuhallusjärjestelmien valmistaja. Yritys on valmistanut jo yli 30 vuoden ajan asiakkaille räätälöityjä raepuhallusrobotisovelluksia. Blastman-robotit voidaan räätälöidä mihin tahansa pintakäsittelylinjaan parhaan mahdollisen laadun ja optimoidun tuotannon saavuttamiseksi. [23.]

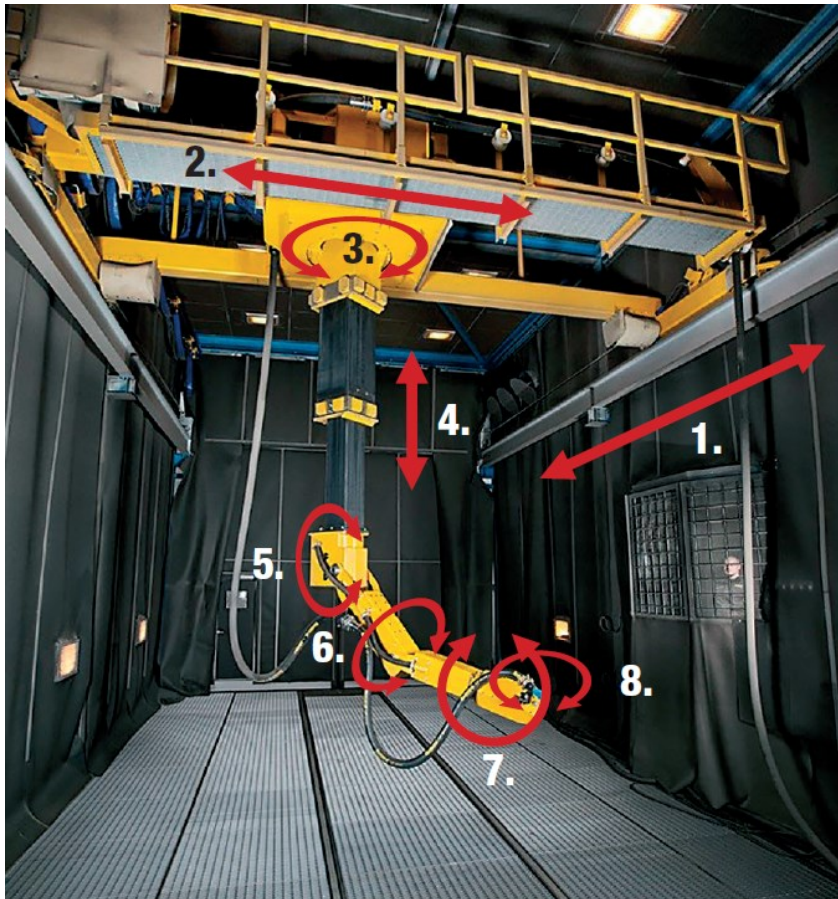
Toimeksiantajayrityksen puhaltamoon B20S-mallinen raepuhallusrobotti olisi toimiva vaihtoehto. Kyseessä on 8-akselinen gantry-tyyppinen robotti, joka roikkuu katosta alaspäin ja liikkuu vaakapalkkien päällä. Blastman B20S -robottia käytetään paljon junavaunujen ja suurien teräskappaleiden puhalluksessa. Kymmenien metrien toimintasäteen ja monien nivelien ansiosta se kattaa koko puhalluskammion, sekä sillä voidaan puhaltaa vaikeita paikkoja, kuten rautatiekaluston sisäpintoja ikkunoiden kautta. [16.]

Blastman B20S -robotin liikkeet tapahtuvat sähkömoottoreilla, ja paineilmaa käytetään ainoastaan raepuhallukseen. Sillä voidaan puhaltaa jopa 200 m²/h, ja se tuottaa painetta 4–11 bar. Puhallussuuttimia voi olla yksi tai kaksi kappaletta, ja niiden koko 13–19 mm. Kotelointiluokka robotissa on IP65. [16.] Robotin käsivarren akselien tarkemmat tiedot on kuvattu taulukossa 4 ja siihen liittyvä kuva 20 taulukon alapuolella.

Blastman B20S vaatii suljetun raepuhalluskammion, jossa on ilmastointi ja automaattinen puhallusrakeen kierrätys. Robotin toimintaa valvotaan puhaltamon välittömään läheisyyteen sijoitusta ohjaamosta ja sen ohjelmointi voidaan tehdä tietokoneella tai käsiohjaimella. [16.]

Taulukko 4. Blastman B20S -raepuhallusrobotin akselit ja niiden ominaisuudet. [16]

Akseli		Max. ulottuvuus / liike	Max. nopeus
1	Rungon liike pituussuunnassa	5–100 m	0,3 m/s
2	Robotin jalustan liike sivuttaissuunnassa	3–35 m	0,25 m/s
3	Teleskooppipuomin kääntö	360°	18,7 °/s
4	Teleskooppipuomin pystyliike	2–6 m	0,26 m/s
5	Vaakapuomi 1 kierto	175°	21,5 °/s
6	Vaakapuomi 2 kierto	225°	19,9 °/s
7	Vaakapuomi 3 kierto	360°	180 °/s
8	Suuttimen kierto	270°	215 °/s



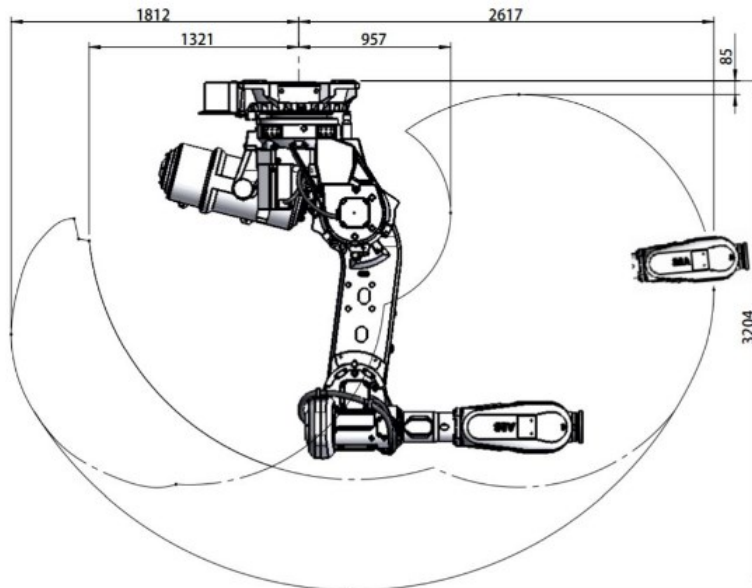
Kuva 20. Havainnollistava kuva Blastman B20S -raepuhallusrobotista ja sen akselien liikkeistä, joista tarkemmin yllä olevassa taulukossa 4. [16]

10.2 Clemco Danmark A/S

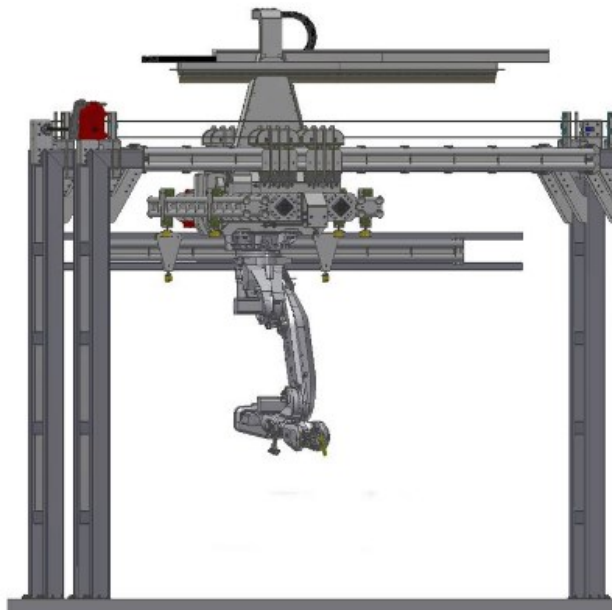
Clemco Danmark A/S on tanskalainen teollisuusrobotiikkaan keskittynyt yritys, joka tarjoaa automatisoituja ratkaisuja avaimet käteen-periaatteella teollisuuden eri työtehtäviin, kuten raepuhallukseen ja maalaukseen. [24.]

Clemco Danmarkin valikoimassa on myös toimeksiantajayritykseen soveltuvia gantry-tyyppisiä raepuhallusrobotteja. Standardikokoinen puhallusrobotti pystyy puhaltamaan maksimissaan 12 m x 8 m x 6 m kokoisia kappaleita. Robotin liikealue voidaan kuitenkin räätälöidä aina asiakastarpeen mukaan. Robotit voidaan varustaa joko yhdellä tai kahdella raepuhallussuuttimella. Suuttimien koko voi olla jopa 22 mm ja puhalluspaine 12 bar.

Clemco Danmark käyttää sovelluksissaan ABB IRB 6700-300 -robotteja, joilla maksimiulottuvuus on 3 m. Ulottuvuudet ovat näkyvissä kuvassa 21. IRB 6700 voidaan toimittaa 360° kääntyvillä aksleilla, joita raepuhallusrobottiin on saatavilla 8. Robotit voidaan ohjelmoida helposti ABB RobotStudio -ohjelmalla. Kuvassa 22 on esimerkki Clemco Danmarkin gantry-tyyppisestä raepuhallusrobotista. [25.]



Kuva 21. ABB IRB 6700-300 ulottuvuudet gantry-tyyppisessä ratkaisussa.



Kuva 22. Clemco Danmarkin gantry-raepuhallusrobotti. [25]

11 Kapasiteettivertailun tulokset

Sain opinnäytetyöhöni apua Blastman Robotics Oy:lta, jonka ohjelmointitiimi simuloi työssä käytettävän esimerkkikappaleen STEP-mallista robottipuhallukseen kuluvan ajan. Simulaatiossa on otettu huomioon toimeksiantajayrityksen raepuhalluskammion mitat, linjassa oleva 7 bar paine, käytettävä raetyyppi ja -koko sekä kappaleen vaadittu pinnankarheus- ja puhdistusaste.

Raepuhallus on tärkeää suorittaa mahdollisimman lyhyessä ajassa, sillä raepuhalluksen kustannukset ovat suoraan verrannollisia puhallukseen käytetyn ajan kanssa. Työssä käytettävä raepuhallettava kappale on suuri ja siinä on paljon aukkoja, ulokkeita ja erilaisia muotoja. Tällä hetkellä kappaleen käsin tehtävään raepuhallukseen kuluu aikaa 10 h. Simuloinnin tulos oli yllättävä: yhdellä suuttimella raepuhallusaika on 4,5 h ja kahdella suuttimella 3 h. Kahdella suuttimella varustetulla robotilla raepuhallusaika lyhenee 70 %, joka on todella suuri kustannussäästö. Taulukossa 5 on laskelma havainnollistamassa tilannetta.

Taulukko 5. Raepuhalluksen nopeutuminen robotilla.

	Käsin	Robotilla (1 suutin)	Robotilla (2 suutinta)
Kappaleen puhallusaika [h]	10	4,5	3
Säästö puhallusajassa robotilla		55 %	70 %

12 Jatkoehdotukset

Tämän opinnäytetyön jatkoksi ehdotan investointilaskelmien tekemistä ja tarkkaa tuotannon kapasiteettitarkastelua, jossa otetaan huomioon robotin käyttöaste pitkällä aikavälillä. Robottijärjestelmän kannattavuus ja takaisinmaksuaika ovat tärkeää selvittää mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, koska ne ovat ratkaisevia tietoja hankkeen toteutumiselle. Investoinnissa selkein kustannus on itse robotin ostohinta, mutta sen lisäksi on selvitettävä pintakäsittelylinjaan tehtävien muutostöiden kustannukset sekä järjestelmän suunnittelu- ja käyttöönottokustannukset.

13 Yhteenveto

Raepuhalluksen robotisoinnilla saadaan poistettua raskas ja riskialtis työtehtävä. Kun raepuhallus robotisoidaan, työntekijä toimii operaattorina ilmastoidussa ja melusuojatussa kopissa raepuhaltamon välittömässä läheisyydessä, josta on suora näköyhteys raepuhaltamoon. Tällöin ihmisen ei tarvitse olla raepuhalluskammiossa, eikä näin ollen altistu melulle, pölylle ja muille epäpuhtauksille. Tapaturmariski myös pienenee. Raepuhallusrobotti parantaa työhyvinvointia ja –turvallisuutta. Robotti voi tehdä töitä ympäri vuorokauden aina samalla tavalla väsymättä, jolloin tuotteiden raepuhalluksen laatu on tasaista, tuottavuus lisääntyy ja yrityksen kilpailukyky sekä imago paranevat.

Opinnäytetyössä esiteltiin kaksi raepuhallusrobottitoimittajaa, jotka ovat Blastman Robotics Oy ja Clemco Danmark A/S. Molemmat toimittajat lupaavat asiakkaan tarpeisiin räätälöidyn robottijärjestelmän, joten toimeksiantajayrityksen raepuhaltamon robotisointi on mahdollista.

Blastman Robotics Oy simuloi toimeksiantajayrityksen esimerkkituotteelle raepuhallukseen kuluvan ajan robotilla. Raepuhalluksen ajaksi saatiin yhdellä suuttimella 4,5 h ja kahdella suuttimella 3 h, joten robottipuhalluksella voidaan säästää jopa 70 % raepuhallukseen kuluvaan aikaan.

Koska simuloinnissa on otettu huomioon laite- ja tilavaatimukset, raetyyppi sekä tuotteeseen vaadittu pinnankarheus- ja puhdistusaste, sopisi puhallusrobotti erinomaisesti toimeksiantajan käyttöön ja nopeuttaisi raepuhallusprosessia huomattavasti.

Lähteet

- 1 Škoda Transtech Oy nettisivut. Löytyy: <https://www.transtech.fi/>. Hakupäivä 4.12.2020.
- 2 SFS-EN ISO 8504. 2019. Esikäsittelymenetelmät. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.
- 3 Ihalainen, E. 2005. Valmistustekniikka. Helsinki: Otatieto. ISBN: 951-672-333-0
- 4 SFS-EN ISO 8501-3. 2007. Teräspintojen esikäsittely ennen pinnoitusta maalilla tai vastaavilla tuotteilla. Pinnan puhtauden arviointi silmämääräisesti. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.
- 5 SFS-EN ISO 8501-01. 2007. Teräspintojen esikäsittely ennen pinnoitusta maalilla tai vastaavilla tuotteilla. Pinnan puhtauden arviointi silmämääräisesti. Teräspintojen ruostumisasteet ja esikäsittelyasteet. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto.
- 6 Lehtinen, Hannu. Robotit. Suomen automaatioseura ry. Saatavilla: <http://automaatioseura.planeetta.com/index/tiedostot/Robotit.pdf>. Luettu 11.1.2021
- 7 Robotics Online. Unimate – The First Industrial Robot. Saatavilla: <https://www.robotics.org/joseph-engelberger/unimate.cfm>. Luettu 20.1.2020
- 8 Teollisuusrobotti. Saatavilla: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Teollisuusrobotti>. Luettu 21.1.2020
- 9 Aalto, H. & Kuivanen, R. Suomen robotiikkayhdistys. Robotiikka. Helsinki: Talentum 1999.
- 10 Aaltonen, K. & Torvinen, S. 1997. Konepaja-automaatio. Helsinki: WSOY
- 11 Räsänen, S. 2020. Robotiikan opetusmateriaali. Kajaanin ammattikorkeakoulu.
- 12 Kooste robotiikkatilastoista 2020. IFR International Federation of Robotics. Saatavilla: https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive_Summary_WR_2020_Industrial_Robots_1.pdf Luettu 4.2.2021
- 13 Lempiäinen, Juhani. Teollisuusrobottien tilastot 2019. Automaatioväylä -lehti. Saatavilla: <http://www.automaatiovayla.fi/verkkolehti/verkkolehti20205yuighj/#/article/12/page/1-1> Luettu 4.2.2021
- 14 Teollisuusrobotti-investointien vuotuinen kasvu. IFR International Federation of Robotics. Saatavilla: https://ifr.org/downloads/press2018/Worldwide_Installations_2009_2019_WorldRobotics2020_graph.jpg Luettu 4.2.2021
- 15 Raepuhallusmanipulaattorit. Finnblast.fi. Saatavilla: <https://www.finnblast.fi/tuotteet/paineilmatoimiset-raepuhalluskoneet/raepuhallusmanipulaattorit/> Luettu 22.2.2021

- 16 Blastman Robotics Oy. Gantry-tyyppiset puhallusrobotit. Saatavilla: <https://www.blastman.com/products/gantry-type-robots.html> Haettu 23.2.2021
- 17 Malm, Timo. Robottijärjestelmän uudet turvallisuustekniikat. Saatavilla: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2008/RobUudet-Turv.pdf> Luettu 3.3.2021
- 18 OSHA. OSHA technical manual section IV: chapter 4, Industrial Robots and Robot System Safety. Saatavilla: https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_iv/otm_iv_4.html#2 Luettu: 3.3.2021
- 19 Suominen, Jyrki & Kuivanen, Risto. Robottiturvallisuus. Tampere. Työsuojelurahasto. 1992.
- 20 ABB Robotics - Industrial Robots. ABB Robotics. IRB 140. Saatavilla: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-140> Luettu 29.3.2021
- 21 Rae- ja hiekkapuhallus, työterveyslaitos 2018. Saatavilla: https://ttk.fi/files/6454/Rae-ja-hiekkapuhallus_1.5_11102018.pdf Luettu 30.3.2021
- 22 Kuittinen, H & Häkkinen, O. 1989. Korroosionestomaalauksen laitetekniikka. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy.
- 23 Blastman Robotics Oy. Company. Saatavilla: <https://www.blastman.com/company/blastman-robotics-ltd.html> Luettu 26.4.2021
- 24 Clemco Denmark. Verkkosivu. Saatavilla: <https://www.clemcodenmark.com/> Luettu: 27.4.2021
- 25 Clemco Denmark. Gantry-tyyppiset robotit. Saatavilla: <https://www.clemcodenmark.com/robotic-blasting/gantry-for-blasting> Luettu: 27.4.2021

Liitteet

Tila- ja laitevaatimukset raepuhallusrobotille

Robotin täytyy pystyä liikkumaan raepuhaltamon pituussuunnassa koko matkalla
Robotin täytyy pystyä raepuhaltamaan vähintään samankokoisia kappaleita, joita tällä hetkellä raepuhalletaan käsin
Robotilla täytyy olla erinomainen ulottuvuus erikokoisiin aukkoihin robotin käsivarren koko huomioon ottaen
Robottilaitteisto täytyy pystyä integroimaan jo nykyisen olemassa olevan raepuhaltamon sähkö-, paineilma- ja rakeenkierrätysjärjestelmään
Robotilla täytyy pystyä puhaltamaan käsiajolla yksittäisiä kappaleita
Robottijärjestelmän tulee mahtua nykyiseen raepuhaltamoon ilman suurennustöitä